

Univerzitet u Kragujevcu
MAŠINSKI FAKULTET U KRAGUJEVCU
KATEDRA ZA PROIZVODNO MAŠINSTVO
Kragujevac, Srbija



**31. SAVETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA SRBIJE I CRNE GORE
SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM**

*31th CONFERENCE ON PRODUCTION
ENGINEERING OF SERBIA AND MONTENEGRO
WITH FOREIGN PARTICIPANTS*



ZBORNİK RADOVA
PROCEEDINGS

Kragujevac, 19. - 21. septembar 2006.

**31. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA
SRBIJE I CRNE GORE
SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM,
Kragujevac, 2006.**

ISBN: 86-80581-92-5

ZBORNİK RADOVA

Urednici:

Editors:

Prof. dr Bogdan Nedić, dipl. ing.
Prof. dr Milentije Stefanović, dipl. ing.
Prof. dr Miodrag Lazić, dipl. ing.

Izdavač:

Publisher:

Mašinski fakultet
34000 Kragujevac
Sestre Janjić 6

Za izdavača:

For publisher:

Prof. dr Radovan Slavković, dekan Fakulteta

Tiraž:

Circulation:

200 primeraka

Štampa:

Printed by:

Grafički atelje: **SKVER**, Kragujevac

Copyright © Mašinski fakultet, Kragujevac, 2006.

Izdavanje Zbornika radova, organizovanje i održavanje 31. Savetovanja proizvodnog
mašinstva Srbije i Crne Gore podržalo je:

Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije

**31. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA
SRBIJE I CRNE GORE
SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM,
Kragujevac, 2006.**

NOSIOCI ORGANIZACIJE:

ORGANIZING INSTITUTIONS:

Zajednica naučno istraživačkih institucija proizvodnog mašinstva Srbije i
Crne Gore

- Mašinski fakultet, Beograd
- Mašinski fakultet, Niš
- Mašinski fakultet, Kragujevac
- Mašinski fakultet, Podgorica
- Institut za proizvodno mašinstvo FTN, Novi Sad
- Institut za industrijske sisteme FTN, Novi Sad
- Tehnički fakultet, Čačak
- Mašinski fakultet, Kraljevo
- LOLA Institut, Beograd
- Mašinski fakultet, Priština

ORGANIZATOR:

ORGANIZERS:

UNIVERZITET U KRAGUJEVCU
MAŠINSKI FAKULTET
KATEDRA ZA PROIZVODNO MAŠINSTVO
Sestre Janjić 6,
34000 Kragujevac
Tel. +381 (34) 335-990; Fax. +381 (34) 333-192
web: <http://www.mfkg.kg.ac.yu>
email: mfkg@mfkg.kg.ac.yu

MESTO ODRŽAVANJA:

SYMPOSIUM VENUE:

Kragujevac,
Hotel Šumarice
19. - 21. septembar 2006.

POKROVITELJI SAVETOVANJA:

Ministarsvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije
Grad Kragujevac
Zastava automobili, Kragujevac

NAUČNI ODBOR:

1. Prof. dr Milisav Kalajdžić, Mašinski fakultet, Beograd
2. Prof. dr Ljubodrag Tanović, Mašinski fakultet, Beograd
3. Prof. dr Pavao Bojanić, Mašinski fakultet, Beograd
4. Prof. dr Dragan Milutinović, Mašinski fakultet, Beograd
5. Prof. dr Ilija Cosić, Fakultet Tehničkih nauka, Novi Sad
6. Prof. dr Dragoje Milikić, Fakultet Tehničkih nauka, Novi Sad
7. Prof. dr Velimir Todić, Fakultet Tehničkih nauka, Novi Sad
8. Prof. dr Velibor Marinković, Mašinski fakultet, Niš
9. Prof. dr Dragan Domazet, Mašinski fakultet, Niš
10. Prof. dr Milentije Stefanović, Mašinski fakultet, Kragujevac
11. Prof. dr Miodrag Lazić, Mašinski fakultet, Kragujevac
12. Prof. dr Neđić Bogdan, Mašinski fakultet, Kragujevac
13. Prof. dr Slavko Arsovski, Mašinski fakultet, Kragujevac
14. Prof. dr Ratomir Ječmenica, Tehnički fakultet, Čacak
15. Prof. dr Snežana Radonjić, Tehnički fakultet, Čacak
16. Prof. dr Ljubodrag Đorđević, Mašinski fakultet, Kraljevo
17. Prof. dr Ljubomir Lukić, Mašinski fakultet, Kraljevo
18. Prof. dr Miomir Vukasojević, Mašinski fakultet, Podgorica
19. Prof. dr Milan Vukčević, Mašinski fakultet, Podgorica
20. Dr Mirko Đapić, LOLA Institut, Beograd
21. Dr Vladimir Zeljković, LOLA Institut, Beograd

POČASNI ODBOR:

1. Prof. dr Vladimir Milačić, Mašinski fakultet, Beograd
2. Prof. dr Joko Stanić, Mašinski fakultet, Beograd
3. Prof. dr Milenko Jovicić, Mašinski fakultet, Beograd
4. Prof. dr Svetislav Zarić, Mašinski fakultet, Beograd
5. Prof. dr Dragutin Zelenović, Fakultet tehn. nauka, Novi Sad
6. Prof. dr Sava Sekulić, Fakultet Tehničkih nauka, Novi Sad
7. Prof. dr Ratko Gatalo, Fakultet Tehničkih nauka, Novi Sad
8. Prof. dr Predrag Popović, Mašinski fakultet, Niš
9. Prof. dr Branko Ivković, Mašinski fakultet, Kragujevac
10. Prof. dr Branislav Devedžić, Mašinski fakultet, Kragujevac
11. Prof. dr Dušan Vukelja, Mašinski fakultet, Kragujevac
12. Prof. dr Dušan Vukelja, Mašinski fakultet, Kragujevac
13. Prof. dr Sreten Urošević, Tehnički fakultet, Čacak
14. Prof. dr Vucko Mecanin, Mašinski fakultet, Kraljevo
15. Prof. dr Vuko Domazetović, Mašinski fakultet, Podgorica

MEĐUNARODNI PROGRAMSKI ODBOR:

1. Prof. dr Milentije Stefanović, Mašinski fakultet, Kragujevac
2. Prof. dr Bogdan Nedić, Mašinski fakultet, Kragujevac
3. Prof. dr Lazić Miodrag, Mašinski fakultet, Kragujevac
4. Prof. dr Slavko Arsovski, Mašinski fakultet Kragujevac
5. Prof. dr Ratko Mitrović, Mašinski fakultet, Kragujevac
6. Doc. dr Lazić Vukić, Mašinski fakultet, Kragujevac
7. Doc. dr Vesna Mandić, Mašinski fakultet, Kragujevac
8. Prof. dr Žarko Spasić, Mašinski fakultet, Beograd
9. Prof. dr Miloš Glavonjić, Mašinski fakultet, Beograd
10. Prof. dr Miroslav Pilipović, Mašinski fakultet, Beograd
11. Prof. dr Ljubodrag Tanović, Mašinski fakultet, Beograd
12. Prof. dr Miroslav Plančak, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
13. Prof. dr Dragoje Milikić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
14. Prof. dr Velimir Todić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
15. Prof. dr Miroslav Radovanović, Mašinski fakultet Niš
16. Prof. dr Dragan Domazet, Mašinski fakultet Niš
17. Prof. dr Velibor Marinković, Mašinski fakultet, Niš
18. Prof. dr Ljubodrag Đorđević, Mašinski fakultet, Kraljevo
19. Prof. dr Ljubomir Lukić, Mašinski fakultet, Kraljevo
20. Prof. dr Ratomir Ječmenica, Tehnički fakultet, Čačak
21. Prof. dr Snežana Radonjić, Tehnički fakultet, Čačak
22. Prof. dr Milan Vukčević, Mašinski fakultet, Podgorica
23. Prof. dr Miodrag Bulatović, Mašinski fakultet, Podgorica
24. Dr Mirko Đapić, LOLA Institut, Beograd
25. Dr Vladimir Zeljković, LOLA Institut, Beograd
26. Dr Radovan Kovačević, Herman Brown Chair Professor, Southern Methodist University, Dallas, Texas, USA
27. Prof. dr Mirko Sokovic, Faculty of Mechanical Engineering, Ljubljana, Slovenia
28. Prof. dr Ostoja Miletić, Mašinski fakultet, Banja Luka, RS, Bosna i Hercegovina
29. Prof. dr Viktor Taranenko, ITSI Politehnika Lubelska, Lublin, Poljska
30. Prof. dr Himzo Đukić, Mašinski fakultet, Mostar, Bosna i Hercegovina

ORGANIZACIONI ODBOR:

1. Prof. dr Milentije Stefanović, MFK, predsednik
2. Prof. dr Bogdan Nedić, MFK, podpredsednik
3. Mr Slobodan Mitrović, MFK, tehnički sekretar
4. Prof. dr Slavko Arsovski, MFK
5. Prof. dr Miodrag Lazić, MFK
6. Prof. dr Branko Tadić, MFK
7. Prof. dr Goran Devedžić, MFK
8. Doc. dr Vesna Mandić, MFK
9. Doc. dr Srbislav Aleksandrović, MFK
10. Doc. dr Vukić Lazić, MFK
11. Doc. dr Dragan Adamović, MFK
12. Doc. dr Miladin Stefanović, MFK
13. Mr Milan Erić, MFK
14. Mr Nada Ratković, MFK
15. Dr Miljko Kokić, Grupa Zastava vozila

ORGANIZATORI SAVETOVANJA PROIZVODNOG MAŠINSTVA
JUGOSLAVIJE / SRBIJE I CRNE GORE 1965 - 2006.

*ORGANIZER OF CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING OF
JUGOSLAVIA / SERBIA AND MONTENEGRO 1965 - 2006.*

I	Beograd	Mašinski fakultet	1965.
II	Zagreb	Fakultet za strojarstvo i brodogradnju	1966.
III	Ljubljana	Fakultet za strojništvo	1967.
IV	Sarajevo	Mašinski fakultet	1968.
V	Kragujevac	Mašinski fakultet	1969.
VI	Opatija	Fakultet za strojarstvo i brodogradnju Zagreb	1970.
VII	Novi Sad	Fakultet tehničkih nauka	1971.
VIII	Ljubljana	Fakultet za strojništvo	1973.
IX	Niš	Mašinski fakultet	1974.
X	Beograd	Mašinski fakultet	1975.
XI	Ohrid	Mašinski fakultet Skoplje	1977.
XII	Maribor	Visoka tehnička škola	1978.
XIII	Banja Luka	Mašinski fakultet	1979.
XIV	Čačak	Pedagoško - tehnički fakultet	1980.
XV	Novi Sad	Fakultet tehničkih nauka	1981.
XVI	Mostar	Mašinski fakultet	1982.
XVII	Budva	Mašinski fakultet Podgorica	1983.
XVIII	Niš	Mašinski fakultet	1984.
XIX	Kragujevac	Mašinski fakultet	1985.
XX	Beograd	Mašinski fakultet	1986.
XXI	Opatija	Tehnički fakultet Rijeka	1987.
XXII	Ohrid	Mašinski fakultet Skoplje	1989.
XXIII	Zagreb	(nije održano)	1991.
XXIV	Novi Sad	Fakultet tehničkih nauka	1992.
XXV	Beograd	Mašinski fakultet	1994.
XXVI	Podgorica	Mašinski fakultet	1996.
XXVII	Niš	Mašinski fakultet	1998.
XXVIII	Kraljevo	Mašinski fakultet	2000.
XXIX	Beograd	LOLA Institut	2002.
XXX	Čačak	Tehnički fakultet i Viša tehnička škola	2005.
XXXI	Kragujevac	Mašinski fakultet	2006.

DOSADAŠNJI DOBITNICI DIPLOME PROIZVODNOG MAŠINSTVA

Neki od dosadašnjih dobitnika Diplome proizvodnog mašinstva za izuzetni doprinos organizovanju savetovanja proizvodnog mašinstva su:

- ILR Železnik
- MIN Niš
- FRA Čačak
- Jugohat, Novi Sad
- Fabrika vagona, Kraljevo
- ...

DOSADAŠNJI DOBITNICI POVELJE I PLAKETE

"Prof. dr Pavle Stanković"

za 1983. godinu

Prof. dr Rudolf Zdenković, dipl. ing, Strojarski fakultet, Zagreb
Prof. dr Vladimir Šolaja, dipl. ing, Mašinski fakultet, Beograd
Prof. dr Julije Kremer, dipl. ing, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

za 1984. godinu

Prof. dr Janez Peklenik, dipl. ing, Fakultet, Ljubljana
Prof. dr Binko Musafića, dipl. ing, Mašinski fakultet, Sarajevo

za 1985. godinu

Prof. dr Predrag Popović, dipl. ing, Mašinski fakultet, Niš
Prof. dr Vladimir Milačić, dipl. ing, Mašinski fakultet, Beograd

za 1986. godinu

Prof. dr Branko Ivković, dipl. ing, Mašinski fakultet, Kragujevac
Prof. dr Strezio Trajkovski, dipl. ing, Mašinski fakultet, Skoplje

za 1987. godinu

Prof. dr Svetislav Zarić, dipl. ing, Mašinski fakultet, Beograd
Prof. dr Josip Hribar, dipl. ing, Mašinski fakultet

za 1988. godinu

Prof. dr Branislav Devedžić, dipl. ing, Mašinski fakultet, Kragujevac
Prof. dr Elso Kuljanić, dipl. ing, Mašinski fakultet, Rijeka
Prof. dr Zoran Seljak, dipl. ing, Mašinski fakultet, Ljubljana

za 1992. godinu

Prof. dr Jožef Rekecki, dipl. ing, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
Prof. dr Sava Sekulić, dipl. ing, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
Prof. dr Joko Stanić, dipl. ing, Mašinski fakultet, Beograd
Prof. dr Vlado Vujović, dipl. ing, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

za 1994. godinu

Mile Benedetić, dipl. ing, LOLA Institut, Beograd
Prof. dr Vuko Domazetović, dipl. ing, Mašinski fakultet, Podgorica
Prof. dr Milenko Jovičić, dipl. ing, Mašinski fakultet, Beograd

za 1996. godinu

Prof. dr Milisav Kalajdžić, dipl. ing, Mašinski fakultet, Beograd
Prof. dr Dragutin Zelenović, dipl. ing, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

za 1998. godinu

Prof. dr Ratko Gatalo, dipl. ing, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
Prof. dr Vucko Mečanin, dipl. ing, Mašinski fakultet, Kraljevo

za 2000. godinu

Prof. dr Mihailo Milojević, dipl. ing, Mašinski fakultet, Kraljevo
Prof. dr Dragoje Milikić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

za 2002. godinu

Prof. dr Vojislav Stojiljković, dipl. ing, Mašinski fakultet, Niš
Prof. dr Ilija Ćosić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

za 2005. godinu

Prof. dr Pavao Bojanić, dipl. ing, Mašinski fakultet, Beograd
Prof. dr Dragan Domazet, dipl. ing, Mašinski fakultet, Niš



Prof. dr PAVAO BOJANIĆ, dipl. inž.

Dr Pavao Bojanić, dipl. inž. maš., redovni profesor Mašinskog fakulteta u Beogradu, rođen je 16.8.1947. u Šehovcima, opština Mrkonjć Grad, BiH. Osnovnu školu je završio u Jajcu gde je i započeo gimnazijsko školovanje. Zbog preseljenja, prvi razred gimnazije je završio u Banjaluci kao i preostala tri razreda. Kroz osnovno i gimnazijsko školovanje bio je odličan učenik a po završetku gimnazije proglašen je đakom generacije.

Školske 1966./67. godine upisao se na Mašinski fakultet u Beogradu. Kao prvi u svojoj generaciji je diplomirao januara 1971. godine. Školske 1971./72. godine započeo je posledipolomske studije na Mašinskom fakultetu u Beogradu. Magistarski rad je odbranio u aprilu 1974. godine. Tokom 1974. i 1975. godine je bio na odsluženju vojnog roka. Doktorsku disertaciju pod nazivom “Razvoj koncepta sistema za geometrijsku, dimenzionu i tehnološku identifikaciju delova za projektovanje tehnoloških procesa na bazi primene kompjuterske grafike” odbranio je u martu 1981. godine.

Po diplomiranju zaposlio se na Mašinskom fakultetu u Beogradu u zvanju asistenta. U zvanje docenta je izabran 1985. godine, u zvanje vanrednog profesora 1990. godine a u zvanje redovnog profesora 1995. godine.

U proteklom periodu, prof. Bojanć je imao vrlo plodonosne rezultate kako u nastavnom, tako i naučno-istraživačkom radu. Učestvovao je u izvođenju svih oblika nastave. Izborom u nastavničko zvanje, preuzeo je nastavu na Mašinskom fakultetu u Beogradu iz predmeta Proizvodni sistemi I, Proizvodni sistemi II, Tehnička kibernetika a kasnije uspostavio i novi predmet Kompjuterska grafika. U izvođenju nastave na redovnim studijama učestvovao je i u Centrima Mašinskog fakulteta u Kraljevu, Valjevu i Užicu. Na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, na redovnim studijama, postavlja 1985. godine nastavu iz predmeta “Automatizacija postupaka projektovanja”, da bi se nastava od šk. 1987./88. godine odvijala pod njegovim mentorstvom do izbora nastavnika za pomenuti predmet. Na Mašinskom fakultetu u Banja Luci učestvovao je u izvođenju nastave iz predmeta “Automatsko konstruiranje”.

Na poslediplomskim studijama na Mašinskom fakultetu u Beogradu prof. Bojanić je držao nastavu iz “Tehničke kibernetike”, “CAD/CAM sistema” i “CAD/CAM sistemi i integracija projektovanja proizvoda i tehnologije”. Takođe je držao nastavu na engleskom jeziku iz predmeta “CAD systems” poslediplomcima iz

inostranstva na Mašinskom fakultetu u Beogradu. Na Fakultetu tehničkih nauka u Novom sadu, na poslediplomskim studijama postavlja 1985. godine nastavu iz predmeta “CAD tehnologije”.

Tokom svoje naučno-istraživačke delatnosti na Mašinskom fakultetu u Beogradu, prof. Bojanić je imao studijske boravke na nekoliko Univerziteta: Technische Universitat Dresden, Technische Universitat Berlin, University of Manchester UMIST, University of Birmingham, Tokyo University, Universitata di Palermo, MIT Boston.

Učestvovao je na mnogim naučnim skupovima u SAD-u, Engleskoj, Francuskoj, Nemačkoj i Italiji. Takođe je učestvovao u radu mnogih domaćih stručnih i naučnih skupova. Objavio je preko 110 naučno-stručnih radova u zemlji i inostranstvu i učestvovao u realizaciji preko 100 projekta. Kao rukovodilac projekta vodio je devet godina projekte koje je finansiralo Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike Srbije. Bio je mentor tri doktorske disertacije i osam magistarskih teza. Kao mentor vodio više od pedeset diplomskih radova.

Svoj stvaralački opus prof. Bojanić je posvetio u potpunosti oblasti proizvodnog mašinstva posebno primeni kompjuterskih tehnologija u oblasti projektovanja proizvoda i tehnologije izrade.



Prof. dr Dragan Domazet, dipl. inž.

Rođen 5.7.1947. godine u Nišu. Završio je osnovnu školu "Učitelj Tasa" u Nišu i nižu muzičku školu u Nišu (klavir). Maturirao je na matematičkom smeru gimnazije "Stevan Sremac" u Nišu 1966. godine, kada je bio i dobitnik diplome "Mihajlo Petrović Alas". Diplomirao je na mašinskom odseku Tehničkog fakulteta u Nišu 1971. godine, na smeru proizvodnog mašinstva, a na istom fakultetu je magistrirao 1976. i doktorirao 1981. godine. Od 1971. godine radi kao asistent na Mašinskom fakultetu u Nišu, a od 1981. godine, kao docent, vanredni profesor (1997.) i redovni profesor (1991.) na Mašinskom fakultetu u Nišu. Predavao je predmete na proizvodnom mašinstvu, na redovnim i poslediplomskim studijama. Radio je na velikom broju naučnih i industrijskih projekata, a od 1978 do 1990. je radio i kao spoljni saradnik Elektronskog računskog centra EI Niš. Objavio je oko stotinu naučnih i stručnih radova i dve knjige.

U školskoj 1990-91. je boravio u SAD, na Univerzitetu države Illinois u Urbani, gde se bavio istraživanjima u oblasti veštačke inteligencije i razvojem ekspertskih sistema. Od 1994. do 2001. je radio kao viši naučni istraživač u Institutu za proizvodne tehnologije GINTEC u Singapuru, gde je držao i nastavu na poslediplomskim studijama Tehnološkog univerziteta u Singapuru (predmeti Simultano projektovanje tj. Concurrent Engineering, i Baze podataka).

Od 25. januara 2001. godine do 3. marta 2003. nalazio se na funkciji ministra za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije. Sada je profesor na Mašinskom fakultetu u Nišu i na Fakultetu informacionih tehnologija u Beogradu, čiji je osnivač i dekan. Rukovodilac je jednog naučnoistraživačkog projekta koji finansira Ministarstvo nauke i životne sredine i participijenti. Mentor je u pripremi nekoliko doktorskih disertacija. Šef je Katedre za proizvodno-informacione tehnologije i menadžment na Mašinskom fakultetu u Nišu. Izabran je za dopisnog člana Inženjerske akademije Srbije i Crne Gore u 2004. godini. Govori engleski i francuski jezik.

U toku 35 godina svog naučnog rada, Dragan Domazet se bavio razvojem metoda za podršku integralnom razvoju novih proizvoda. U svom stvaralačkom opusu obuhvatio je različite aspekte problematike integralnog projektovanja proizvoda, te je njegov naučni rad bio usmeren na sledećim naučnim temama:

Statička i dinamička analiza nosećih struktura alatnih mašina. Poseban doprinos je dao u oblastima definisanja dinamičke krutosti mehaničkih presa i metoda za njeno računarsko i eksperimentalno određivanje, modelovanju vijčaninih i kliznih veza višedelnih nosećih struktura alatnih mašina primenom metoda konačnih elemenata i analizi njihovog efekta na njihovu krutost, računarskom određivanje optimalnih parametara nosećih struktura hidrauličnih presa primenom metoda nelinearnog

programiranja i metoda konačnih elemenata, a u uslovima korišćenja elemenata za prednaprezanje nosećih struktura (tema doktorske disertacije).

Analiza pogonskih sistema mehaničkih i hidrauličkih presa. Posebno je značajan njegov doprinos u oblastima analize energetske efikasnosti pogonskih sistema mehaničkih i hidrauličkih presa i indentifikacija izvora energetskih gubitaka, računarske analize i simulacije rada presa za zavojnim i krivajnim pogonskim mehanizmima (analiza kinematike, kinetike i dinamike mehanizama), frikcionih spojnica i pogonskih sistema velikih hidrauličkih presa (sila od 300 MN).

Računarsko projektovanje proizvoda i tehnologija njihove izrade primenom tehničkih elemenata i ekspertnih sistema. U drugoj polovina 80-tih i početkom 90-tih godina, Dragan Domazet se bavio razvojem metoda i sistema za integralni razvoj proizvoda primenom računara, te je obuhvatao geometrijsko oblikovanje proizvoda, analizu njegove tehnološkičnosti, automatsku generaciju tehnološkog postupka njegove izradi i automatsku izradu neophodnih programa za alatne mašine sa numeričkim upravljanjem.

Metodi kolaborativnog razvoja proizvoda u uslovima heterogenih računarskih sistema. U svom radu u Singapuru Dragan Domazet je usmerio svoja istraživanja u rešavanju problema u heterogenim računarskim okruženjima i uslovima, te je posebno radio na problemima postavljanja integralnih modela proizvoda i razvoj objektno-orijentisane baze podataka o proizvodu na bazi STEP standarda, razvoju proaktivnih baza podataka o proizvodu koje automatske reaguju na različite događaje u razvojnom ambijentu u kome se nalaze, primeni kolaborativnih agenata, definisao je tzv. poslovne objekte koji automatski prate i usmeravaju tok procesa projektovanja, tj. redosled aktivnosti u skladu sa registrovanim događajima i definisanim pravilima koji određuju uslove za obavljanje pojedinih aktivnosti procesa, razvoju kolaborativnog portala čime je omogućena platforma za zajednički rad inženjera posredstvom Interneta, bez obzira na njihovu lokaciju. Takođe, pored obezbeđenja informacionih servisa i informacija o proizvodu, posebno je razvijana metodologija za upravljanje znanjem inženjera i za predstavljanje i arhiviranje tog znanja.

Stručni rad Dragan Domazeta pratio je njegov naučni rad, te je najveći deo rezultata svog naučnog rada primenjivao u svojoj inženjerskoj praksi. U vreme kada se bavio analizom nosećih struktura presa, računarskom i eksperimentalnom analizom pogonskih mehanizama mehaničkih i hidrauličkih presa, aktivno je učestvovao u razvoju više različitih tipova presa, za potrebe pojedinih proizvođača presa.

Pored razvoja i primene metode konačnih elemenata, sistema za projektovanje proizvoda i tehnologija računarima (CAD/CAPP/CAM), sistema za analizu mehanizama PAM i dr., Dragan Domazet je pružao konsultantske usluge u industriji Singapura, u cilju transfera i primene najsavremenijih proizvodnih i informacijskih tehnologija.

U toku više od 35 godina svog rada, radio je stalno na rešavanju problema u industriji, bilo radeći sa nepunim radnim vremenom (1978-1990, EI Niš), bilo radeći na industrijskim projektima u Srbiji i Singapuru.

PREDGOVOR

Prvo Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije održano je u Beogradu 1965. na inicijativu prof. dr Vladimira Šolaje, kada je i formirana Zajednica naučno-istraživačkih institucija proizvodnog mašinstva, koju su sačinjavali mašinski fakulteti i istraživački instituti iz skoro svih republičkih centara tadašnje države. Zajednicu proizvodnog mašinstva SCG, u vreme pripreme Savetovanja, sačinjavaju: Mašinski fakultet u Beogradu, Mašinski fakultet u Nišu, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Mašinski fakultet u Podgorici, Institut za proizvodno mašinstvo FTN iz Novog Sada, Institut za industrijske sisteme FTN iz Novog Sada, Tehnički fakultet u Čačku, Mašinski fakultet u Kraljevu, LOLA Institut u Beogradu i Mašinski fakultet u Prištini.

31. Savetovanje proizvodnog mašinstva SCG održava se u Kragujevcu, u organizaciji Katedre za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakultet u Kragujevcu. Prethodna Savetovanja u Kragujevcu su održana 1969. (5. Savetovanje) i 1985. godine (19. po redu).

I ovo Savetovanje, kao i nekoliko prethodnih, održava se u vreme intenzivnih društvenih promena, značajnih za šire aspekte proizvodnog mašinstva. Vlasnička transformacija i oživljavanje privrede u proizvodnim oblastima, posebno u metaloprerađivačkoj industriji, na samom je početku. Privatizacija i pokretanje proizvodnje u velikim industrijskim sistemima sprovodi se sporo i necelovito. Prema društvenim planovima, završetak transformacije u ovoj oblasti se najavljuje za kraj 2007., kada bi trebalo očekivati i značajnije pokretanje proizvodnih delatnosti.

Na ovom Savetovanje, organizovanom za samo godinu dana, biće izloženo 120 radova autora iz Srbije i Crne Gore i inostranstva (Ukrajina, Slovačka, Poljska, SAD, Slovenija, Bosna i Hercegovina, Hrvatska, Makedonija). Aktivnosti na Savetovanju će se obavljati u više sekcija, koje obuhvataju sledeće tematske oblasti: Proizvodne tehnologije, obradne sistemi i materijale; Upravljanje proizvodnim sistemima, razvoj proizvoda i CAx tehnologije; Tribologiju, revitalizaciju, reinžinjeriing i održavanje; Menadžment kvalitetom i ekološke tehnologije .

Pored osnovnog zadatka Savetovanja - upoznavanje se trenutnim stanjem istraživanja u oblasti proizvodnog mašinstva, nadamo se da će saopšteni rezultati i diskusija na okruglom stolu, doprineti u definisanju strategije razvoja ove, izuzetno značajne oblasti za dalji privredni razvoj naše države.

Zahvaljujemo se svim domaćim i stranim autorima, članovima recenzetskog tima, kao i institucijama i pojedincima, koji su doprineli kvalitetnoj realizaciji programa Savetovanja.

Kragujevac,
19. 09. 2006.

Predsednik organizacionog odbora 31. SPMSCG
Prof. dr Milentije Stefanović

Predsednik Zajednice PMSCG
Prof. dr Bogdan Nedić

PREFACE

The first Conference of Production Engineering of Yugoslavia was held in u Belgrade in 1965 at the initiative of prof. dr Vladimir Solaja, when the Association of scientific-research institutions of productive engineering was founded, which consisted of the faculties of mechanical engineering and research institutes from almost all republic centres of the prior state. At the time of preparing for the Conference, the Association of Productive Engineering of Serbia & Montenegro consists of: the Faculty of Mechanical Engineering in Belgrade, the Faculty of Mechanical Engineering in Nis, the Faculty of Mechanical Engineering in Kragujevac, the Faculty of Mechanical Engineering in Podgorica, the Institute for Productive engineering FTN from Novi Sad, the Institute for Industrial Systems FTN from Novi Sad, Technical Faculty in Cacak, the Faculty of Mechanical Engineering in Kraljevo, LOLA Institute in Belgrade and Faculty of Mechanical Engineering in Pristina.

The 31st Conference of Production Engineering of Serbia and Montenegro will be held in Kragujevac; it will be organised by department for production engineering of the Faculty of Mechanical Engineering in Kragujevac. Previous conferences in Kragujevac were held in 1969 (5th Conference) and 1985 (19th Conference).

This Conference, as well as previous ones, will be held in the period of intensive social changes, significant for wider aspects of production engineering. Ownership transformation and revival of economy in production areas, especially in metal-processing industry, are at the very beginning. Privatisation and activation of production in large industrial systems are slow and incomplete. According to social plans, the completion of transformation in this area has been announced for the end of 2007, when significant activation of production activities should be expected.

At this Conference, organised in one year, 120 papers of authors from Serbia and Montenegro and abroad will be presented (authors from Ukraine, Slovakia, Poland, USA, Slovenia, Bosnia and Herzegovina, Croatia, and Macedonia). Conference activities will be conducted in several sections, which involve following topics: Production technologies, manufacturing systems and materials; production systems management, development of products and CAx technology; tribology, revitalisation, reengineering and maintenance; quality management and ecological technologies.

In addition to the main objective of Conference – introduction to current situation of researches in the area of production engineering – we hope that the obtained results and round-table discussion will contribute to defining of development strategy for this area which is extremely significant for economic development of our country.

We are grateful to all native and foreign authors, members of review team, as well as institutions and individuals who have contributed to the quality organisation of Conference programme.

Kragujevac,
19. 09. 2006

Organisation Board President 31. SPMSCG
Prof. dr Milentije Stefanovic

Association President PMSCG
Prof. dr Bogdan Nedic

MAŠINSKI FAKULTET U KRAGUJEVCU KATEDRA ZA PROIZVODNO MAŠINSTVO

Školovanja na smeru započelo je školske 1962/63, prelaskom na II stepen studiranja prve generacije studenata Mašinskog fakulteta. Naziv, suština i ciljevi smera su se menjali u skladu sa razvojem smera: od Pripremno proizvodnog odseka (1962.), preko Organizaciono-tehnološkog smera (1966.), Smera za proizvodnju i organizaciju (1974.) i Odseka za proizvodno mašinstvo i organizaciju (1980.) do smera za Proizvodno mašinstvo (od 1989. do danas). 2000. započinje školovanje i na Smeru za Industrijski inženjering.

Danas na Katedri za proizvodno mašinstvo radi 23 profesora i saradnika čiji se rad objedinjuje i realizuje kroz nastavni proces na:

- *akademske studijama za smerove Proizvodno mašinstvo i Industrijski inženjering i*
- *strukovnim studijama za smerove Proizvodno inženjerstvo, Održavanje tehničkih sistema i Industrijski inženjering.*

U okviru naučno istraživačke jedinice Katedri pripadaju laboratorije za:

- » *obradu metala i tribologiju (LOMT) i*
- » *obradu metala deformisanjem i mašinske materijale.*

Iz istraživačkih i razvojnih aktivnosti Katedre razvijeni su Centri za

- terotehnologiju
- kompjuterom integrisano poslovanje (CIM centar)
- tribologiju
- kvalitet
- revitalizaciju industrijskih sistema
- integrisani razvoj proizvoda i procesa i inteligentne sisteme
- reciklažu dotrajale PC opreme
- zavarivanje.

U oblasti naučno-istraživačkog rada članovi katedre su dali ogroman doprinos. Posebno se ističu projekti rađeni za potrebe mnogih preduzeća kao što su većina fabrika kompanije Zastava - Kragujevac, FAM - Kruševac, Elektroprivreda Srbije, Valjaonica bakra - Užice, Sartid-Smederevo, FRA-Čačak, Metalac - Gornji Milanovac,... Posebno se ističe projekat mašina za unutrašnje i spoljašnje provlačenje koje su proizvele Zastava Mašine, koje su delo prof. dr Svetislava Zahara sa grupom saradnika.

Katedra je organizovala i mnoge naučne skupove i savetovanja, nacionalnog i međunarodnog karaktera, kao što su **Savetovanja proizvodnog mašinstva** (V 1969. i XIX 1985.), Jugoslovenske konferencije o tribologiji - **YUTRIB** (1989. prva, 2005. deveta), **BALKANTRIB** (2005.), **YUMO** (1998.), **Festival kvaliteta** (prvi 2003., treći 2005.) itd.

Časopis "Tribologija u industriji"

Koreni časopisa se protežu na prva saopštenja Laboratorije za obradu metala i tribologiju MFkg pod naslovom "Obrada metala i tribologija". 1979. je pokrenut časopis **Tribologija u industriji** kao časopis koji tretira problematiku tribologije, čiji je osnivač i glavni urednik prof. dr Branko Ivković. Od 1996. časopis se izdaje u dve verzije: na srpskom kao **Tribologija u industriji** i engleskom jeziku kao **Tribology in Industry**. Urednici časopisa su prof. dr Branko Ivković i prof. dr Miroslav Babić.

SADRŽAJ

UVODNI REFERATI

INTRODUCTORY PAPERS

- U1 **Љ. Тановић**
ПОКАЗАТЕЉИ ПРИВРЕДНИХ КРЕТАЊА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ
INDICATORS OF ECONOMIC TRENDS IN THE REPUBLIC OF SERBIA 3
- U2 **М. Планчаk**
NOVE PARADIGME U RAZVOJU SAVREMENIH TEHNOLOGIJA
PLASTIČNOG OBLIKOVANJA METALA
*NEW PARADIGM IN THE DEVELOPMENT OF MODERN METAL FORMING
TECHNOLOGIES* 11
- U3 **Д. Домазет**
ЗНАЧАЈ ИНФОРМАЦИОНИХ ТЕХНОЛОГИЈА У ПРОИЗВОДНОМ
ИНЖЕЊЕРСТВУ
*THE IMPACT OF INFORMATION TECHNOLOGY (IT) ON PRODUCTION
ENGINEERING* 31

SEKCIJA A: PROIZVODNJE TEHNOLOGIJE, OBRADNI SISTEMI I MATERIJALI

SECTION A: PRODUCTION TECHNOLOGIES, MANUFACTURING SYSTEMS AND MATERIALS

A1: PROIZVODNE TEHNOLOGIJE - Obrada rezanjem *PRODUCTION TECHNOLOGIES - Cutting*

- A1 **М. Lazić**
EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA U OBRADI METALA REZANJEM
EXPERIMENTAL RESEARCHES IN METAL CUTTING 39
- A2 **Д. Миликић, М. Sekulić, М. Gostimirović**
MODELIRANJE PROCESA BUŠENJA
MODELING OF DRILLING 49
- A3 **Г. Globočki - Lakić, В. Nedić, Р. Dakić, V. Golubović - Bugarski, Д. Čiča**
KOMPLEKSNOST PROBLEMA DEFINISANJA OBRADIVOSTI MATERIJALA
COMPLEXITY OF DEFINING A PROBLEM OF MATERIAL MACHINABILITY 57
- A4 **І. Milutinović, М. Sokić, S. Aksentijević**
ODREĐIVANJE TEMPERATURE REZANJA METODOM KONAČNIH
ELEMENTATA
*CUTTING TEMPERATURE DETERMINATION BY THE FINAL ELEMENTS
METHOD* 65
- A5 **S. Sekulić, В. Nikolić**
ZAVISNOST PARAMETARA FUNKCIJE POUZDANOSTI REZNOG ALATA OD
REŽIMA RADA PRI OBRADI NA STRUGU
*DEPENDENCE RELIABILITY FUNCTION PARAMETERS OF CUTTING TOOLS
AWAY CUTTING CONDITIONS IN TURNING* 73
- A6 **М. Gostimirović, Д. Миликић, М. Sekulić**
UTICAJ VRSTE MATERIJALA ELEKTRODE NA TEHNOLOŠKE
KARAKTERISTIKE ELEKTROEROZIVNE OBRADNE
*THE INFLUENCE OF TYPE MATERIAL ELECTRODE ON THE TECHNOLOGIES
CHARACTERISTIC OF ELECTRO DISCHARGE MACHINING* 78

A7	L. Ivanović, D. Josifović, G. Devedžić OGRANIČENJA PRI IZBORU GEOMETRIJE ALATA ZA PROFILISANJE TROHOIDNOG OZUBLJENJA <i>LIMITS BY THE CHOICE OF THE TOOL GEOMETRY TO PROFILING OF TROCHOIDAL GEARING</i>	82
A8	B. Nedić, N. Vesić, Z. Stošić ANALIZA TROŠKOVA OBRADNE ODVALNIM GLODANJEM <i>ANALYSES OF HOB MILLING EXPENCES</i>	88
A9	M. Radovanović MODEL ZA ODREĐIVANJE TROŠKOVA LASERSKOG SEČENJA <i>MODEL FOR DETERMINATION COSTS OF LASER CUTTING</i>	93
A10	D. Temeljkovski, M. Janković, B. Rančić, S. Nusev NOVI PRISTUP IZRADI MATRICE PRESA ZA PELETIRANJE <i>NEW APPROACH OF MANUFACTURING PRESS DIE FOR PELETING</i>	97
A11	B. Rančić, M. Janković, D. Temeljkovski, S. Nusev PROJEKTOVANJE MERNIH MESTA I DEFINISANJE MERNO-REGULACIONE OPREME MAŠINE ZA PELETIRANJE <i>DESIGN OF MEASURING POINTS AND DEFINING OF MEASUREMENT- REGULATION EQUIPMENT OF PELLETING MACHINE</i>	103
A12	B. Kršljak OBRADA DRVETA REZANJEM SA OBRAZOVANJEM STRUGOTINE KLASIFIKACIJA I OPŠTI POJMOVI <i>PROCESSING WOOD BY CUTTING WITH WOOD CHIP FORMATION CLASSIFICATION AND GENERAL CONCEPTS</i>	109
A13	A. Babić, N. Ilić SAVREMEN KONCEPT PROJEKTOVANJA GLODAČKIH GLAVA U RUDARSTVU I IZRADI PROFILA TUNELA <i>NEW CONCEPT OF ROADHEADER DESIGN IN MINING AND TUNNELING INDUSTRIES</i>	114
A2:	PROIZVODNE TEHNOLOGIJE - Obrada plastičnim deformisanjem <i>PRODUCTION TECHNOLOGIES - Forming</i>	
A14	V. Marinković ANALIZA PROCESA VIŠEFAZNOG MASIVNOG DEFORMISANJA <i>AN ANALYSIS OF THE BULK FORMING MULTIPHASE PROCESS</i>	121
A15	D. Vilotić, D. Movrin, M. Plančak, I. Trbojević, M. Kraišnik DEFORMABILNOST MATERIJALA PRI SABIJANJU PUNOG I ŠUPLJEG VALJKA RAVNIM I IZDUBLJENIM PLOČAMA <i>MATERIAL FORMABILITY AT UPSETTING OF CYLINDER BY FLAT AND HOLLOW PLATES</i>	127
A16	M. Nožić, H. Djukić NOVI PRISTUP DIMENZIONISANJU VIŠESTEPENIH ALATA <i>NEW APPROACH TO DIMENSIONING OF MULTISTAGE TOOLS</i>	133
A17	S. Aleksandrović, M. Stefanović ZNAČAJ SILE DRŽANJA U REALIZACIJI UPRAVLJANJA PROCESOM DUBOKOG IZVLAČENJA <i>SIGNIFICANCE OF BLANK HOLDING FORCE IN REALIZATION OF DEEP DRAWING PROCESS CONTROL</i>	139
A18	П. Станковић, М. Шљивић НУМЕРИЧКА СИМУЛАЦИЈА ОБРАДЕ У ЗАТВОРЕНОМ КОВАЧКОМ АЛАТУ <i>NUMERIC FORMING SIMULATION IN CLOSED FORGING TOOL</i>	147

A19	Ž. Babić RAZVLAČENJE TAILORED BLANKS OD MATERIJALA RAZLIČITE DEBLJINE <i>STRETCH FORMING OF DIFFERENT THICKNESS TAILORED BLANKS</i>	153
A20	M. Vilotić, M. Plančak, D. Movrin ANALIZA SUPROTNOSMERNOG ISTISKIVANJA POMOĆU UBET-A <i>BACKWARD EXTRUSION ANALYSIS BY UBET</i>	159
A21	P. Skakun, M. Škunca, M. Plančak, L. Šiđanin, M. Math, D. Vilotić ODREĐIVANJE VELIČINE DEFORMACIJE KOD HLADNOG ISTISKIVANJA ALUMINIJUMSKIH ELEMENATA-EKSPERIMENTALNI I NUMERIČKI PRISTUP <i>STRAIN STATE DETERMINATION IN COLD EXTRUDED ALUMINIUM ELEMENT – EXPERIMENTAL AND NUMERICAL APPROACH</i>	165
A22	D. Adamović, M. Stefanović, M. Živković, V. Lazić UTICAJ RAZLIČITIH PARAMETARA NA SILU IZVLAČENJA PRI DUBOKOM IZVLAČENJU SA STANJENJEM DEBLJINE ZIDA <i>INFLUENCE OF DIFERENT PARAMETERS ON IRONING FORCE DURING IRONING</i>	171
A23	M. Samardžić, M. Stefanović, S. Aleksandrović UTICAJ ISTORIJE DEFORMISANJE NA OBRADIVOST PRI RAZVLAČENJU KAROSERIJSKOG LIMA OD AL-LEGURE <i>THE INFLUENCE OF STRAIN HISTORY ON FORMABILITY IN STRETCH FORMING AL-ALLOY SHET METAL</i>	181
A24	V. Mandić, T. Marinković, M. Živković FE ANALIZA PROCESA ISTISKIVANJA ALUMINIJUMSKIH ŠUPLJIH PROFILA <i>FE ANALYSIS EXTRUSION PROCESS OF HOLLOW SECTION ALUMINIUM PROFILES</i>	187
A25	I. Trbojević, M. Milutinović, O. Lužanin FAZE OBLIKOVANJA PRIPREMKA U PROCESU TOPLOG VALJANJA PRSTENA SLOŽENOG PRESEKA <i>FORMING PHASES OF BILLET FOR HOT RING ROLLING WITH VARIABLE CROSS SECTION</i>	195
A26	M. Milutinović, Đ. Čupković, D. Vilotić, T. Pepelnjak SIMULACIJA PROCESA KOMBINOVANOG HLADNOG ISTISKIVANJA <i>SIMULATION OF COMBINED COLD EXTRUSION PROCESS</i>	201
A27	B. Mišić, V. Pejić, V. Mandić UTICAJ KONTAKTNOG TRENJA NA POJAVU DEFEKATA PRI OBLIKOVANJU CIJEVNIH PRIPREMAKA <i>INFLUENCE OF CONTACT FRICTION ON APEARANCE OF DEFECTS IN FORMING TUBULAR PIECES</i>	207
A28	I. Trbojević ANALIZA PERTLOVANOG SPOJA PLAŠTA SILOSA <i>ANALYSIS OF A LACED JOINT ON SILO MANTLE</i>	213
A3: PROIZVODNE TEHNOLOGIJE - Zavarivanje <i>PRODUCTION TECHNOLOGIES - Welding</i>		
A29	M. Jovanović, R. Čukić, V. Lazić, N. Ratković, M. Mutavdžić TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA REPARATURNOG ZAVARIVANJA I NAVARIVANJA OŠTEĆENIH ZUBA ZUPČANIKA <i>TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF REPARATORY WELDING AND HARD-FACING OF THE DAMAGED GEAR TEETH</i>	217

A30	M. Mutavdžić, V. Lazić, M. Jovanović, R. Čukić, S. Rakić PROIZVODNO I REPARATURNO NAVARIVANJE DELOVA GRAĐEVINSKE MEHANIZACIJE <i>MANUFACTURING AND REPARATORY HARD-FACING OF THE CIVIL ENGINEERING MECHANIZATION PARTS</i>	225
A31	V. Lazić, M. Jovanović, R. Vulović, N. Ratković PREGLED ČELIKA POVIŠENE JAČINE I OCENA NJIHOVE ZAVARLJIVOSTI <i>REVIEW OF HIGH STRENGTH STEELS AND ESTIMATES OF THEIR WELDABILITY</i>	235
A32	V. Lazić, M. Jovanović, R. Vulović, N. Ratković, IZBOR OPTIMALNE TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA CEVI POLUOBLOGE I KUTIJE ZADNJEG MOSTA KAMIONA VATROGASNOG VOZILA <i>SELECTION OF OPTIMUM TECHNOLOGY FOR WELDING OF THE REAR AXLE SEMI-HOUSING AND BOX OF THE FIRE TRUCKS</i>	243
A33	D. Jovanić, S. Stojadinović, D. Steva PROJEKTOVANJE BAZE PODATAKA ATESTIRANIH ZAVARIVAČA <i>DESIGN OF DATABASE OF ATTESTED WELDERS</i>	251
A3: MATERIJALI <i>MATERIALS</i>		
A34	Z. Gulisija, B. Jordović, M. Stefanović, A. Patarić, B. Nedeljković, V. Djordjević MOGUĆNOST PRIMENE NOVOG TEHNOLOŠKOG POSTUPKA LIVENJA ALUMINIJUMSKIH LEGURA <i>THE POSSIBILITY FOR APPLICATION OF NEW PRODUCTION PROCESS FOR CASTING ALUMINUM ALLOYS</i>	257
A35	M. Todić, O. Miletić BIFURKACIJA SLOJEVA KOD DVOSLOJNIH KOMPOZITNIH MATERIJALA <i>BIFURCATION OF LAYERS AT TWOLAYER COMPOSITE MATERIALS</i>	263
A36	O. Miletić, M. Todić ISPITIVANJE ANIZOTROPIJE MEHANIČKIH OSOBINA TRAKE <i>ANISOTROPY EXAMINATION OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF BOUND</i>	269
A37	E. Romhanji, M. Stefanović PRIMENA $Al-Mg$ LEGURA U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI <i>APPLICATION OF Al-ALLOYS IN CAR INDUSTRY</i>	275
A38	S. Baloš, L. Šidanin, D. Rajnović PONAŠANJE GRAFITA U NODULARNOM LIVU PRI ZATEZNOM I PRITISNOM OPTEREĆENJU <i>TENSILE AND COMPRESSION NODULE BEHAVIOUR IN DUCTILE IRON</i>	281
A39	O. Erić, D. Rajnović, L. Šidanin, S. Baloš, PRELAZNA TEMPERATURA NODULARNOG LIVA LEGIRANOG BAKROM U LIVENOM I TERMIČKI TRETIRANOM STANJU <i>TRANSITION TEMPERATURE OF AS-CAST AND AUSTEMPERED COPPER ALLOYED DUCTILE IRON</i>	288
A4: OBRADNI SISTEMI <i>MANUFACTURING SYSTEMS</i>		
A40	D. Milutinović, M. Glavonjić, S. Živanović FUNKCIONALNI SIMULATOR TROOSNIH MAŠINA SA PARALELNO KINEMATIKOM <i>FUNKTIONAL SIMULATOR OF PARALLEL KINEMATICS MACHINES</i>	295

A41	W. Halas, V. Taranenko, A. Świć MODELLING THE ACCURACY OF AXIALSYMMETRIC SHAFT MANUFACTURING <i>MODELIRANJE TAČNOSTI IZRADE OSNOSIMETRIČNIH DELOVA</i>	305
A42	Lj. Savić, R. Janković, S. Kovačević PRIMENA MAŠINE WIRTGEN SM 3500 NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA UGLJA <i>APPLICATION OF MACHINE WIRTGEN SM 3500 AT SURFACE COAL PITS</i>	311
A43	M. Rogić S. Ilinčić <i>SIGURNOST INDUSTRIJSKIH ROBOTA</i> SAFETY OF INDUSTRIAL ROBOTS	317
A44	V. Kopp, V. Taranenko, A. Świć, L. Mazurek OPTIMIZATING PARAMETERS OF MULTITASK CNC MACHINE TOOLS IN FLEXIBLE PRODUCTION SYSTEMS – Part 1 <i>OPTIMIZIRAJUĆI PARAMETRI MULTIOPERACIJSKIH CNC MAŠINSKIH ALATA U FLEKSIBILNIM PROIZVODNIM SISTEMIMA – Deo 1</i>	323
A45	V. Kopp, V. Taranenko, A. Świć, L. Mazurek OPTIMIZATING PARAMETERS OF MULTITASK CNC MACHINE TOOLS IN FLEXIBLE PRODUCTION SYSTEMS – Part 2 <i>OPTIMIZIRAJUĆI PARAMETRI MULTIOPERACIJSKIH CNC MAŠINSKIH ALATA U FLEKSIBILNIM PROIZVODNIM SISTEMIMA – Deo 2</i>	329
A46	R. Đukić MERENJE ISKORIŠĆENJA PROIZVODNIH KAPACITETA METODOM MAKSIMALNE MESEČNE PROIZVODNJE <i>MEASURING THE DEGREE OF THE USE OF PRODUCTION CAPACITIES USING THE METHOD OF THE MAXIMAL MONTHLY PRODUCTION</i>	333

**SEKCIJA B: UPRAVLJANJE PROIZVODNIM SISTEMIMA,
RAZVOJ PROIZVODA I CA_x TEHNOLOGIJE**
*SECTION B: MANAGMENT OF PRODUCTION SYSTEMS,
PRODUCTS DEVELOPMENT AND CA_x TECHNOLOGIES*

B1: UPRAVLJANJE PROIZVODNIM SISTEMIMA
MANAGMENT OF PRODUCTION SYSTEMS

B1	V. Majstorović, T. Šibalija EU / SERBIA MANUFUTURE STRATEGIC RESEARCH AGENDA or manufuture in Serbia?	341
B2	B. Ivković PRODUKTIVNOST RADA I KAPITALA U OBRADNIM SISTEMIMA <i>LABOUR AND CAPITAL PRODUCTIVITY IN MACHINING SYSTEMS</i>	347
B3	M. Kokić KONKURENTNOST I PRODUKTIVNOST DOMAĆIH INDUSTRIJSKIH SISTEMA <i>COMPETITIVENESS AND PRODUCTIVITY OF DOMESTIC INDUSTRIAL SYSTEMS</i>	351
B4	M. Stefanović, M. Erić, S. Mitrović INTEGRACIJA INFORMACIONIH RESURSA U PROIZVODNIM PREDUZEĆIMA KORIŠĆENJEM XML <i>INTEGRATION OF INFORMATION RESOURCES IN PRODUCTION COMPANIES USING XML</i>	357
B5	D. Krstić GLOBALNI TOKOVI U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI <i>GLOBALIZATION EXPENSES IN AUTOMOTIVE INDUSTRY</i>	363

B6	S. Ćurčić, R. Nikolić, A. Dragašević FAZI OCENJIVANJE VIRTUELNOG TIMA ZA PROJEKTE ENERGETSKE EFIKASNOSTI <i>FUZZY EVALUATION VIRTUAL TEAMS FOR POWER EFFICIENCY PROJECTS</i>	369
B1: RAZVOJ PROIZVODA <i>PRODUCTS DEVELOPMENT</i>		
B7	M. Manić, G. Devedžić, M. Stojković ANALIZA TEHNOLOGIČNOSTI PRIMENOM TEHNIČKIH ELEMENATA <i>FEATURE-BASED MANUFACTURABILITY ANALYSIS</i>	375
B8	P. Dašić, R. Ječmenica, B. Nedić EVROPSKA RTD MISIJA U OBLASTI TEHNIČKIH NAUKA <i>EUROPEANS RTD MISSION IN THE FIELDS OF TECHNICAL SCIENTIFIC</i>	385
B9	R. Antić ODREĐIVANJE PRIPREMA POMOĆU FUZZY LOGIKE <i>PROJECTION OF PREPARATION TOOL THROUGH FUZZY LOGIC</i>	397
B10	Z. Marjanović, R. Brzaković MODELIRANJEM I RAČUNARSKOM SIMULACIJOM DO BOLJEG KVALITETA PROIZVODA <i>BETTER QUALITY OF PRODUCTS THROUGH MODELLING AND COMPUTER SIMULATION</i>	401
B11	N. Vesić ZNAČAJ BOJE U TEHNOLOŠKOM LANCU IZRADE PROIZVODA <i>THE COLOR IMPORTANCE IN THE TECHNOLOGICAL CHAIN OF PRODUCTS MANUFACTURING</i>	407
B12	M. Blagojević DVOSTEPENI CIKLOREDUKTOR NOVE KONCEPCIJE <i>TWO STAGE CYCLO SPEED REDUCER WITH NEW CONCEPT</i>	416
B13	D. Krstić MULTIDISPERZIONE KOMPRESIONE BRIZGALJKE GORIVA <i>HOMOGENUOUS CHARGE COMPRESSION IGNITION</i>	420
B2: CAx TEHNOLOGIJE <i>CAx TECHNOLOGIES</i>		
B14	D. Tanikić, M. Manić, G. Devedžić PRIMENA SISTEMA ZASNOVANIH NA VEŠTAČKOJ INTELIGENCIJI PRI MODELIRANJU PROCESA OBRADJE REZANJEM <i>ARTIFICIAL INTELLIGENCE BASED APPROACH IN MODELING OF METAL CUTTING PROCES</i>	425
B15	N. Grujović, N. Milivojević, V. Milivojević, V. Dimitrijević, Đ. Grujović ISKUSTVA U BRZOJ IZRADI PROTOTIPOVA TEHNOLOGIJOM 3D ŠTAMPE <i>EXPERIENCES IN RAPID PROTOTYPING WITH 3D PRINTING TECHNOLOGY</i>	437
B16	Lj. Lukić, S. Ivanović RAZVOJ I CAD/CAM PROJEKTOVANJE ALATA ZA "FORM" AMBALAŽU <i>DEVELOPMENT AND CAD/CAM DESIGN OF TOOLS FOR PAPER PULP MOULDS PACKS</i>	443
B17	D. Krstić CAx TEHNOLOGIJA MREŽNOM KOMUNIKACIJOM „P2P“ U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI <i>CAx TECHNOLOGY VIA PEER-TO-PEER COMMUNICATION</i>	447

B18	O. Lužanin, M. Plančak, D. Vilotić KONCEPT VR-CAD RADNE STANICE ZA PROJEKTOVANJE U POLUIMERZIVNOM OKRUŽENJU <i>CONCEPT OF A SEMI-IMMERSIVE VR-CAD WORKSTATION</i>	453
B19	J. Milovanović, M. Trajanović, M. Stojković PREDNOSTI I NEDOSTACI SLM TEHNOLOGIJE NA PRIMERU IZRADE ALATA ZA VULKANIZACIJU PNEUMATIKA <i>ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF SLM TECHNOLOGY IN MANUFACTURING COMPLEX PART SUCH AS TYRE MOLD</i>	461
B20	D. Erić, Lj. Djordjević, G. Miodragović PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKE BAZE ZNANJA KAO DELA CAPP SISTEMA ZA TEHNOLOGIJE ELEKTROERODIRANJEM <i>DESIGN OF TECHNOLOGICAL DATABASE AS A PART OF CAPP SYSTEM FOR ELECTRIC-ERROSION TECHNOLOGIES</i>	469
B21	S. Vulović, M. Živković, N. Grujović, V. Mandić THE CONTACT PROBLEMS BASED ON THE PENALTY METHOD <i>REŠAVANJE KONTAKTNIH PROBLEMA PENALTI METODOM</i>	474
B22	S. Tabaković, M. Zeljković, R. Gatalo PRIMENA NAPREDNIH KONCEPCIJA RAZVOJA POSTPROCESORA ZA NUMERIČKI UPRAVLJANE MAŠINE ALATKE <i>APPLICATION OF ADVANCED CONCEPTION POSTPROCESSOR FOR MACHINE TOOLS WITH NUMERICAL CONTROL BUILDING</i>	480
B23	I. Maričić, R. Slavković, S. Radonjić PRIMER PROGRAMIRANJA TEHNOLOŠKIH OPERACIJA NA „HAAS“ CNC GLODALICI <i>EXAMPLE OF PROGRAMMING TECHNOLOGY OPERATIONS ON HAAS” CNC MILL</i>	486
B24	L. Dejan, V. Todić, M. Milošević AUTOMATIZACIJA PROJEKTOVANJA TEHNOLOŠKIH PROCESA IZRADE TIPSKIH DELOVA ALATA ZA BRIZGANJE PLASTIKE <i>AUTOMATION OF PROCESS PLANNING FOR MANUFACTURING OF TYPE PARTS FOR PLASTIC INJECTION MOLDS</i>	492
B25	I. Trbojević, O. Lužanin, M. Milutinović SOFTVER ZA AUTOMATSKO PROJEKTOVANJE FAZA OBLIKOVANJA PRIP- REMKA U PROCESU TOPLOG VALJANJA PRSTENA SLOŽENOG PRESEKA <i>PROCESS PLANNING SOFTWARE FOR HOT RING ROLLING WITH VARIABLE CROSS SECTION</i>	498

SEKCIJA C: TRIBOLOGIJA, REVITALIZACIJA, REINŽENJERING I ODRŽAVANJE

SECTION C: TRIBOLOGY, REVITALISATION, REENGINEERING AND MAINTAINING

C1: TRIBOLOGIJA *TRIBOLOGY*

C1	M. Soković, J. Kopac, L.A. Dobrzanski, J. Mikula, K. Golombek, D. Pakula CUTTING CHARACTERISTICS OF PVD AND CVD-COATED CERAMIC TOOL INSERTS <i>REZNE KARAKTERISTIKE PVD I CVD PREVLAKA NA KERAMIČKIM PLOČICAMA</i>	505
----	--	-----

C2	S. Zeković, R. Kovačević MODELING OF LASER-BASED DIRECT METAL DEPOSITION <i>MODELIRANJE DEPOZICIJA BAZIRANIH NA LASERSKOM NANOŠENJU</i>	511
C3	M. Babić, R. Ninković, S. Mitrović, I. Bobić UTICAJ TERMIČKE OBRADNE NA TRIBOLOŠKO PONAŠANJE Zn-AI LEGURA <i>INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON TRIBOLOGICAL BEHAVIOR OF Zn-AI ALLOYS</i>	519
C4	D. Kakaš, B. Škorić, T. Novakov, L. Kovačević, A. Miletić TRIBOLOŠKE KARAKTERISTIKE TiN PREVLAKE SA NANOINTERFEJSOM PRIMENJENE KOD ALATNOG ČELIKA ZA RAD NA HLADNO <i>TRIBOLOGICAL CHARACTERISTIC OF TiN COATING WITH NANOINTERFACE APPLIED AT COLD WORKING TOOL STEEL</i>	527
C5	B. Škorić, D. Kakaš, A. Miletić THE MODIFICATION OF DUPLEX COATINGS WITH NITROGEN ION IMPLANTATION <i>MODIFIKACIJA DVOSTRUKIH PREVLAKA POMOĆU AZOTNO-JONSKE IMPLANTACIJE</i>	533
C6	A. Vencl, S. Avramović, A. Marinković PREVLAKA NA BAZI GVOŽĐA NANETA NA OSNOVU OD AI LEGURE PLAZMA SPREJ POSTUPKOM U ATMOSFERSKIM USLOVIMA <i>FERROUS-BASED COATING DEPOSITED ON AI-ALLOY SUBSTRATE BY ATMOSPHERIC PLASMA SPRAYING (APS)</i>	539
C7	S. Mitrović, M. Babić, I. Bobić TRIBOLOŠKE KARAKTERISTIKE KOMPOZITA SA OSNOVOM OD ZA 27 LEGURE OJAČANE ČESTICAMA GRAFITA <i>TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF ZA 27 ALLOY COMPOSITES REINFORCED WITH GRAPHITE PARTICLES</i>	547
C8	S. Mitrović, M. Babić, I. Bobić TRIBOLOŠKE KARAKTERISTIKE KOMPOZITA SA OSNOVOM OD ZA 27 LEGURE OJAČANE ČESTICAMA Al ₂ O ₃ <i>TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF ZA 27 ALLOY COMPOSITES REINFORCED WITH Al₂O₃ PARTICLES</i>	554
C9	M. Petrović, B. Nedić, V. Mandić KOEFIČIJENT KONTAKTNOG TRENJA PRI VUČENJU NEKIH OBOJENIH METALA <i>COEFFICIENT OF CONTACT FRICTION AT DRAWING SOME COLOURED METALS</i>	561
C2:	REVITALIZACIJA, REINŽINJERING, ODRŽAVANJE <i>REVITALISATION, REENGINEERING AND MAINTAINING</i>	
C10	М. Булаговић, Ј. Шушић PRIMJENA ENDOSKOPIJA U TEHNIČKOJ DIJAGNOSTICI BRODSKIH MAŠINA <i>APPLICATION OF ENDOSCOPY ON TECHNICAL DIAGNOSTICS OF A SHIPS ENGINE</i>	567
C11	P. Todorović, B. Jeremić, I. Mačuzić PREGLED METODA BALANSIRANJA ROTACIONIH MAŠINA <i>ROTATING MACHINERY BALANCING METHODS; A SURVEY</i>	573
C12	D. Knežo, D. Šebo, Z. Kimáková APPLICATION OF THE THEORY OF REGENERATION TO MACHINE PRODUCTS AND EQUIPMENT <i>PRIMENA TEORIJE REGENERACIJE NA MAŠINSKE PROIZVODE I OPREMU</i>	583

C13	T. Latinović, R. Zrilić, M. Šljivić FAZI EKSPERTNI SISTEM ZA DIJAGNOSTIKU PLC KONTROLISANIH SISTEMA U INDUSTRIJI DUVANA BANJALUKA <i>A FUZZY REAL-TIME EXPERT DIAGNOSTIC SYSTEM FOR PLC CONTROLLED MANUFACTURING SYSTEMS IN TOBACCO INDUSTRY BANJALUKA</i>	587
C14	D. Jovanović, B. Nedić REGENERACIJA POVRŠINA UNUTRAŠNJE TRASE CEVI STRELJAČKOG ORUŽJA <i>SURFACE REGENERATION OF BARREL INTERIOR LINE OF SMALL ARMS</i>	593
C15	V. Komadinić, M. Jevtić, V. Vukićević UPRAVLJANJE ODOBRENJIMA ZA IZVOĐENJE RADOVA ODRŽAVANJA <i>WORK CLEARANCE MANAGEMENT</i>	599
C16	A. Marić, Lj. Đorđević REINŽENJERINJER PROIZVODNIH LINIJA U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI U FUNKCIJI NIVOVA FLEKSIBILNOSTI I KVALITETA PROIZVODA <i>PRODUCTIVE LINE REENGINEERING IN FOOD INDUSTRY IN FUNCTION OF FLEXIBILITY LEVEL AND PRODUCT QUALITY</i>	604
C17	S. Marković, D. Josifović, S. Tanasijević, R. Ćirić POBOLJŠANJE EKSPLOATACIONIH KARAKTERISTIKA PODEONOG APARATA REKONSTRUKCIJOM <i>IMPROVEMENT OF EXPLOITATION PROPERTIES OF DIVISION DEVICE BY RECONSTRUCTION</i>	610
C18	Z. Pešić, B. Nedić, S. Perić PROMENE FIZIČKO HEMIJSKIH KARAKTERISTIKA MENJAČKOG ULJA TOKOM EKSPLOATACIJE SA ASPEKTA DIJAGNOSTIKE STANJA I ODRŽAVANJA TRIBOMEHANIČKOG SISTEMA <i>CHANGES OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF TRANSMISSION OIL FROM THE ASPECT OF CONDITION DIAGNOSTICS AND TRIBO- MECHANICAL SYSTEM MAINTENANCE</i>	615
C19	B. Krstić ANALIZA UZROKA I MANIFESTACIJA OTKAZA MOTORA SUS SA ASPEKTA NJEGOVOG HABANJA <i>ANALYSIS OF CAUSES AND MANIFESTATION OF ICE ENGINES FAILURE FROM THE ASPECT OF WEAR</i>	622

**SEKCIJA D: MENADŽMENT KVALITETOM I
EKOLOŠKE TEHNOLOGIJE**
SECTION D: MANAGAMENT QUALITY AND ECOLOGICAL TECHNOLOGIES

D1:	MENADŽMENT KVALITETOM <i>MANAGAMENT QUALITY</i>	
D1	S. Arsovski KVALITET – POKRETAČ I ISHODIŠTE REGIONALNOG RAZVOJA <i>QUALITY – ACTIVATOR AND OUTSOME OF REGIONAL DEVELOPMNET</i>	631
D2	M. Đapić KORIŠĆENJE EVIDENCIONIH MREŽA U INTEGRACIJI METODA PROJEKTOVANJA <i>EVIDENCE NETWORK USING IN THE DESIGN METHODS INTEGRATION</i>	637
D3	M. Lazić SPOSOBNOST PROCESA OBRADE METALA REZANJEM <i>PROCESS' ABILITY OF METAL CUTTING</i>	641

D4	S. Cvetković, B. Pejović STRATEGIJA UPRAVLJANJA RAZVOJEM PREDUZEĆA <i>THE STRATEGY MENAGEMENT OF ENTERPRISES DEVELOPMENT</i>	647
D5	D. Obradović, V. Srećković TIMSKI RAD KAO ORGANIZACIJSKI MODEL ZA BRZE PROMENE <i>TEAM WORK AS AN ORGANIZATIONAL MODEL FOR QUICK CHANGES</i>	652
D6	B. Krstić ANALIZA MOGUĆNOSTI ZADOVOLJENJA HOMOLOGACIJSKIH PROPISA PRI PROIZVODNJI MOTORNIH VOZILA <i>ANALYSIS OF POSSIBILITIES FOR SATISFYING HOMOLOGATION REGULATIONS IN MOTOR VEHICLES MANUFACTURE</i>	657
D7	B. Najdanović METODOLOŠKI POSTUPAK IZBORA NAZIVA NOVOG MODELA AUTOMOBILA NA PRIMERU MODELA «ZASTAVA FLORIDA» <i>METHODOLOGICAL PROCEDURE IN CHOOSING OF NEW AUTOMOBILE MODEL NAME - EXAMPLE «ZASTAVA FLORIDA»</i>	663
D8	O. Peković MOGUĆNOST AUTOMATIZACIJE PRORAČUNA ZAVRŠNE KARIKE MERNIH LANACA <i>POSSIBLE AUTOMATION OF CALCULATION OF THE FINAL LINK IN A MEASUREMENT CHAIN</i>	669
D2:	EKOLOŠKE TEHNOLOGIJE <i>ECOLOGICAL TECHNOLOGIES</i>	
D9	D. Šebo, D. Knežo, M. Jadroňová THE THEORY OF RISKS AND ITS APPLICATION ON ENVIRONMET <i>TEORIJA RIZIKA I NJENA PRIMENA U OKRUŽENJU</i>	673
D10	H. Verebová, J. Šebo EVALUATION OF AGGREGATE INFLUENCES OF THE WORKING ENVIRONMENT FACTORS <i>EVALUACIJA UTICAJA AGREGATA NA RADNE FAKTORE U OKRUŽENJU</i>	678
D11	R. Mitrović, B. Tadić, D. Tadić EKONOMSKA OPRAVDANOST RECIKLAŽE RAČUNARSKOG OTPADA U SRBIJI <i>ECONOMICAL VALIDITY OF RECYCLING PROCEDURE IN TERRITORY OF SERBIA</i>	682
D12	R. Vulović INFORMATIKA U ZAŠTITI ŽIVOTNE SREDINE I PRIMENA VIDEOKONFERENCIJE <i>INFORMATION IN OF PROTECT LIFE AND VIDEOCONFORATION</i>	688
D13	J. Milivojević, A. Kokić-Arsić EKO-INDUSTRIJSKI PARK I NEGOVA ULOGA U KONCEPTU ČISTIH I ZELENIH GRADOVA <i>EKO-INDUSTRIAL PARK AND HIS ROLE IN CLEAN AND GREEN CITIES CONCEPT</i>	694
D14	М. Шљивић, З. Јањуш МОГУЋНОСТ КОРИШТЕЊА РЕЦИКЛИРАНОГ ТЕРМОПЛАСТА <i>POSSIBILITY OF USED RECYCLING POLYMER MATERIALS</i>	699
D15	S. Radonjić, P. Kovač МЕХАНИЧКО РЕЦИКЛИРАЊЕ ПЛАСТИКЕ <i>MECHANICAL RECYCLING OF PLASTIC</i>	704

D16	M. Jevtić, V. Zeljković, D. Ilić ISTRAŽIVANJE MOGUĆNOSTI KOMPACTIRANJA METALNOG OTPADA ELEKTROMAGNETNOM IMPULSNOM TEHNOLOGIJOM <i>RESEARCH OF APPLICATION OF ELEKTRO-MAGNETIC IMPULSE TECHNOLOGY FOR COMPACTING METAL WASTE</i>	710
D17	M. Jevtić, V. Zeljković, D. Ilić ISTRAŽIVANJE PRIMENE ELEKTROHIDRAULIČNE TEHNOLOGIJE ZA KOMPACTIRANJE METALNOG OTPADA <i>RESEARCH OF APPLICATION OF ELECTRO-HYDRAULIC TECHNOLOGY FOR COMPACTING METAL WASTE</i>	715
D18	R. Drobnjak, B. Kovačević, P. Drobnjak, V. Marjanović UTICAJ RAZLIČITIH SUPSTANCIJA NA ZAGAĐIVANJE PRIRODE I MERE ZAŠTITE <i>INFLUENCE OF DIFFERENT SUBSTANCES ON NATURE POLLUTION AND PROTECTIVE MEASURES</i>	720
D19	R. Biočanin, B. Amidžić, R. Rakić MENADŽMENT KVALITETA U ZAŠTITI OD ZRAČENJA U ŽIVOTNOJ SREDINI <i>MANAGEMENT QUALITY DEFENCE IN THE HUMAN ENVIRONMENT</i>	724
D20	B. Davidović, D. Rajković EKOLOŠKI ASPEKTI REINŽENJERINGA LANCA SNADBEVANJA <i>ECOLOGICAL ASPECTS OF SUPPLY CHAIN REENGINEERING PROCES</i>	736
D21	Д. Јовановић EKOLOŠKE KARAKTERISTIKE ŽELEZNIČKOG SAOBRAĆAJA <i>ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF RAILROAD TRAFFIC</i>	742
D22	J. Jevtić, R. Gligorijević, Đ. Borak ENERGETSKA EFIKASNOST DOMAĆIH TRAKTORSKIH DIZEL MOTORA U ODNOSU NA EVROPSKE <i>FUEL EFFICIENCY OF DOMESTIC DESIGN TRACTORS DIESEL ENGINES IN RELATION TO EUROPEAN ONES</i>	748
D23	R. Marjanović, R. Biočanin, D. Jokić EKOLOŠKI MENADŽMENT U TOTALNOM KVALITETU OBRAZOVANJA U OSNOVNIM I SREDNJIM ŠKOLAMA <i>ECOLOGICAL MANAGEMENT IN TOTAL QUALITY OF EDUCATION IN PRIMARY AND SECONDARY SCHOOLS</i>	756
D24	J. Đukić, R. Đukić ZNAČAJ UVOĐENJA EMS U PRIVREDNIM SUBJEKTIMA SA SOPSTVENIM VOZNIKOM <i>SIGNIFICANCE OF THE INTRODUCTIONS OF EMS IN ORGANIZATIONS THAT USE THEIR OWN MEANS OF TRANSPORT</i>	765
A47	S. Đurić, D. Ječmenica, M. Radovanović PRILOG IZUČAVANJU MOGUĆNOSTI PRIMENE SEČENJA VODENIM MLAZOM <i>CONTRIBUTION TO STUDY OF POSSIBILITY OF USE CUTTING BY WATER JET</i>	771
D25	D. Marković, S. Đurić, S. Veselinović PRILOG DOGRADNJI SISTEMA KVALITETA <i>CONTRIBUTION TO IMPROVEMENT OF QUALITY SYSTEM</i>	777

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

UVODNI REFERAT

ПОКАЗАТЕЉИ ПРИВРЕДНИХ КРЕТАЊА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ

Љ. Тановић¹⁾

Резиме. У раду је дат пресек спољнотрговинске размене индустрије Републике Србије у последње три године са узроцима који су довели до спољнотрговинског дефицита. Технолошки ниво већег дела извоза Србије није прилагођен конкуренцији на светском тржишту (квалитет производа, цена, истраживање тржишта) због недовољне иновативне активности у предузећима и ниског нивоа СДИ (страних директних инвестиција).

У контексту светске привреде и интеграција у њу, наша индустрија и компаније се морају припремити за то: постојеће компаније је потребно реструктурисати и покушати створити европску компанију путем интеграција или припајања, променити филозофију управљачке структуре компанија и спроводити континуалну едукацију свих запослених.

INDICATORS OF ECONOMIC TRENDS IN THE REPUBLIC OF SERBIA

The paper gives the overview of foreign trade of the Republic of Serbia in the last three years with causes that have led to the foreign trade deficit. The technological level of the most part of Serbian exports is not adapted to the competition in the international market (product quality, price, market research) due to the insufficient company innovation activities and a low level of FDI (foreign direct investment).

In the context of international economy and integration into it, our industry and companies must prepare for it: existing companies should restructure and attempt to create European style companies through mergers or acquisitions, change their management structure philosophy and carry out permanent education programs for all their employees.

1. УВОД

Данас смо суочени са веома интензивним променама у технологији, глобализацијом тржишта, законској регулативи и променама у домену радне снаге. Упоредо са овим променама мења се и начин на који роба стиже до купца, место где се организује и реализује производња, продају и купују производи.

¹⁾ Проф. др Љубодраг Тановић, Машински факултет, Београд,
ltanovic@mas.bg.ac.yu

Данас свака компанија мора поседовати методологију организованог одустајања од производа и производње које припадају прошлости уз перманентно увођење иновација којима се обезбеђује конкурентност.

Код нас су донедавно, мада је и сада делимично присутно, индустријски радници неизбежно контролисали друштво, политику и тржиште уз тенденцију замене са друштвом у којем приступ пословима зависи искључиво од знања о образовања.

Потребно је нагласити да је процес транзиције наше индустрије праћен са великом емотивном разликом између генерација који битно утичу на функционисање - старији имају искуство грађено на домаћој привреди и млађи који стасавају у европском духу и правилима која су ту успостављена. Европске интеграције привреде треба видети као нове пословне могућности а не као претњу.

2. ЕКОНОМСКИ ИНДИКАТОРИ СРБИЈЕ И МЕЂУНАРОДНОГ ОКРУЖЕЊА

Анализирајући макроекономске показатеље активности Србије у 2005 години, мерење бруто домаћим производом (најважнији макроекономски агрегат) имају раст од 6.5% у односу на 2004 годину што је добар показатељ (Чешка 6%, Мађарска 4.1%, Пољска 3.2%, Словачка 6%, Словенија 3.9%, БиХ 6.5%, Хрватска 3.9%, Македонија 3.6%, Црна Гора 4%).

Раст бруто домаћег производа Републике Србије у I кварталу 2006 године бележи индекс 6.3% у односу на I квартал 2005. године.

Посматрано по секторима највећи раст бележе: трговина, саобраћај и финансијско посредовање уз констатацију да пољопривреда, шумарство, угоститељство и туризам бележе пад у 2005 год.

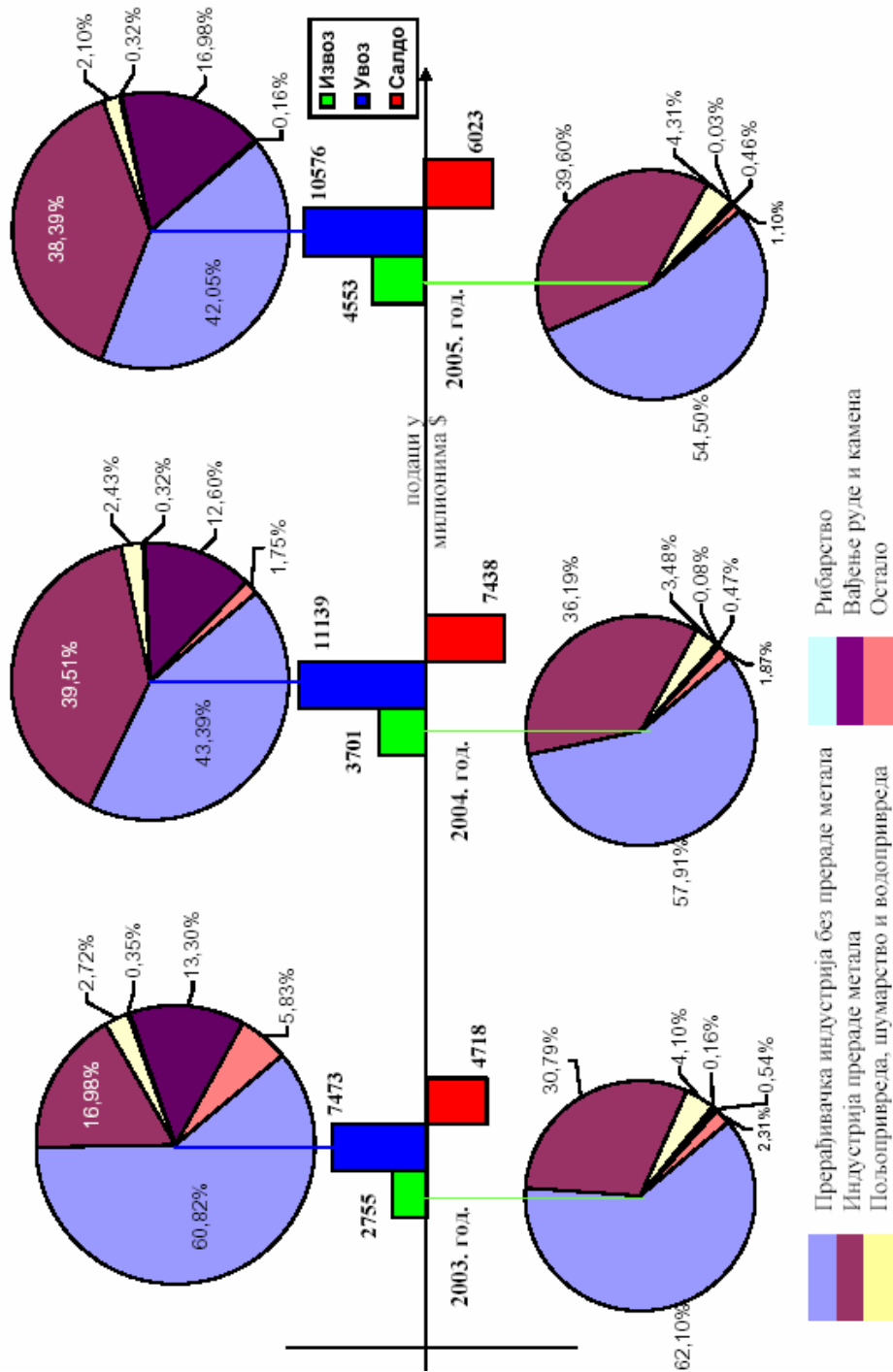
Други показатељ представља изузетно висока стопа инфлације која је у Србији износила у 2005 години 16.2% (Чешка 1.6%, Мађарска 3.5%, Пољска 2.2%, Словачка 2.8% Словенија 2.5%, БиХ 2.9%, Хрватска 3.3%, Македонија 0.6%, Црна Гора 2.5%) и стопа незапослености 20% (Чешка 8%, Мађарска 7.1%, Пољска 17.8%, Словачка 16.4% Словенија 6.5%, БиХ 46%, Хрватска 13.1%, Македонија 37.5%, Црна Гора 28%).

Анализирајући стање привреде Републике Србије кроз економска кретања у протеклом периоду и сада, могуће је констатовати да је карактерише наглашена спорост у увођењу нових производа и технологија а као последица недовољне иновативне активности у предузећима и због ниског нивоа СДИ (страних директних инвестиција). Прилив СДИ има одлучујућу улогу у трансформацији производне структуре привреде и трансфера знања којима се повећава извозни потенцијал земље. Имајући у виду да технолошки ниво већег дела извоза Србије није прилагођен конкуренцији на светском тржишту ни квалитетом производа ни ценом.

3. СПОЉНОТРГОВИНСКА РАЗМЕНА

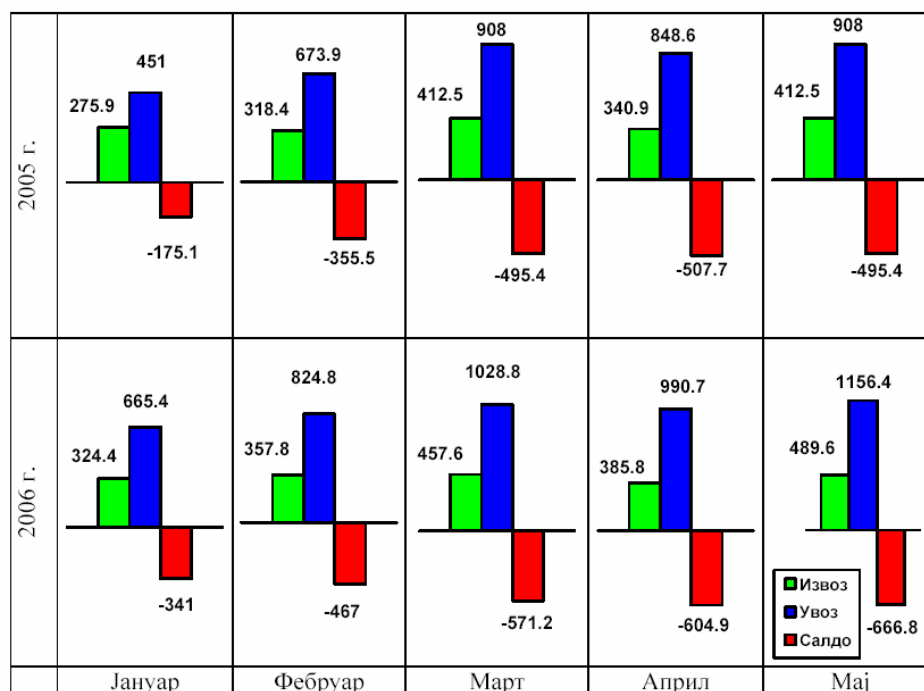
Анализирајући биланс спољнотрговинске размене Републике Србије у последње три године не можемо се њиме похвалити јер је присутан велики спољнотрговински дефицит који је у наведеном периоду достигао ниво од 18 милијарди \$ (слика 1).

Негативан тренд је настављен и у 2006. години са оствареним спољнотрговинским дефицитом на нивоу од 4666.1 милиона \$ у првих пет месеци (слика 2).



Слика 1. Учешће појединих привредних грана у извозу и увозу у периоду 2003 – 2005 године [3], [4], [6]

31. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA SCG



Слика 2. Спољнотрговинска размена у милионима \$, јануар-мај 2006 [3], [4]

Повећање увоза у протеклих пет месеци је последица увоза енергената, руде бакра и гвожђа и раста јавне и личне потрошње (кредита).

Повећање извоза резултат је пораста цена основних метала, суфицита у размени хране (житарице, шећер) и готових текстилних производа (преференцијални статус наших роба).

Прерађивачка индустрија

Анализирајући прерађивачку индустрију Републике Србије која у извозу има учешће на нивоу 94.1% (2005 год.), производња метала и металних производа, производња машина и уређаја, производња саобраћајних средстава и остала прерађивачка индустрија у њој учествује на нивоу 39.6%, а у укупном извозу са 37.2% (табела 1)

Табела 1. Учешће сектора у извозу

Сектор	2003	2004	2005
Производња метала и металних производа	15.68%	22.23%	26.18%
Производња машина и уређаја	6.51%	6.56%	7.58%
Производња саобраћајних средстава	4.83%	3.67%	2.76%
Остала прерађивачка индустрија	3.77%	3.73%	3.08%
Σ	30.79%	36.19%	39.60%

31. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA SCG

Када је реч о увозу у 2005 год, прерађивачка индустрија учествује на нивоу од 80.44% од чега наведене области са 38.39% (таб. 2).

Табела 2. Учешиће сектора у увозу

Сектор	2003	2004	2005
Производња метала и металних производа	6.57%	11.67%	13.00%
Производња машина и уређаја	8.86%	13.89%	13.06%
Производња саобраћајних средстава	6.95%	12.15%	10.38%
Остала прерађивачка индустрија	1.17%	1.80%	1.95%
Σ	16.98%	39.51%	38.39%

Област производња метала и металних производа

У овој области спољнотрговински суфицит је остварен у производњи гвожђа, челика и феролегура (150 мил. \$), производњи цеви, профила и жице (68 мил. \$), производњи и преради обојених метала (25 мил. \$) и ливењу гвожђа, челика и обојених метала /2.5 мил. \$), што се објашњава порастом цена основних метала на тржишту.

Дефицит је реализован у домену производње металних конструкција и производа за грађевинарство (64 мил. \$), производњи цистерни, резервоара, котлова и радијатора (34 мил. \$) и производњи брала и окова (24.5 мил. \$).

Област производње машина и уређаја

Ова област је остварила спољнотрговински дефицит (2005 год.) на нивоу од 820 мил. \$ са реализованим суфицитом у делу наменског програма (31.5 мил. \$) док све остале делатности имају дефицит од чега највећи: производња ел. апарата за домаћинство (121.6 мил. \$), производња раскладне опреме (75.5 мил. \$), производња уређаја за дизање и преношење (55.5 мил. \$), производња алата (44.5 мил. \$), производња алатних машина (50.6 мил. \$), производња машина за пољопривреду (51 мил. \$) и др.

Област производње саобраћајних средстава

Ова област је остварила спољнотрговински дефицит (2005 год.) на нивоу 760 мил. \$ и само је делатност изградње и ремонта бродова и чамаца имала суфицит од 2.5 мил. \$ док су све остале делатности исказале дефицит од чега највећи: производња мотора за м.в., камиона и специјалних возила, аутомобила (564 мил. \$), израда летелица (108 мил. \$), производња каросерија, приколица (32 мил. \$), производња делова и прибора за возила (37 мил. \$).

На увоз нових аутомобила је издвојено око 253 мил. \$, при чему је извезено аутомобила на нивоу 3.2 мил. \$

Област остале прерађивачке индустрије

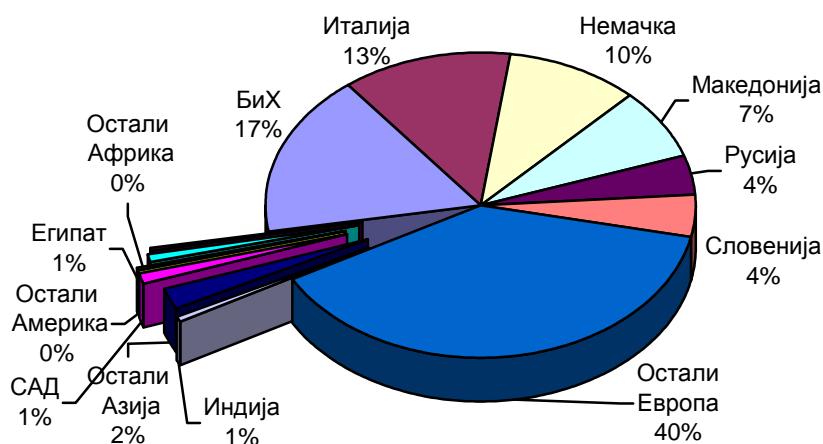
Ова област је имала уравнотежен биланс при чему је производња намештаја исказала суфицит 10 мил. \$ и рециклажа металних и неметалних отпадака 31 мил. \$ а остале делатности дефицит и то: производња музичких инструмената, спортске опреме, играчака, шибица, сунцобрана и кишобрана, итд.

Област производње електричних и оптичких уређаја која овде није разматрана бележи спољнотрговински дефицит на нивоу од око 850 мил. \$ преваходно у домену производње: канцеларијских и рачунарских машина, електронских компоненти, ТВ и радио пријемника.

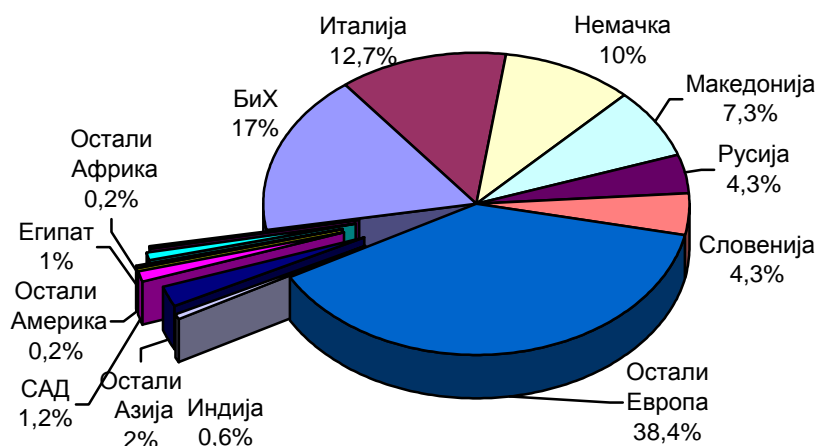
Уколико посматрамо спољнотрговинску размену земаља нашег окружења, Хрватска је у 2005 години остварила дефицит на нивоу од око 2.8 милијарди долара, а Македонија око 1.2 милијарде долара.

Уколико анализирамо извоз, у 2005 години, главни спољнотрговински партнери су земље из Европе (94% (БиХ, Италија, Немачка, Македонија, Руска федерација и Словенија), Азија 2.6% (Израел) и Америка 1.4% (слика 3).

У увозу, у посматраном периоду земље из Европе су учествовале на нивоу 83.6% (Италија, Руска федерација, Немачка, Француска, Словенија), Азије 11% (Кина, Индија) и Америка 5.1%.



а)



б)

Слика 3. Земље са највећим учешћем у извозу (а) и увозу (б) [3], [4]

Упркос тенденцији пораста робног извоза, бројни су проблеми извозника и ограничења са којима се суочавају у извозу, пре свега: високе каматне стопе на домаћем тржишту, банке дају предност кредитирању домаће потрошње, недостатак обртног капитала за финансирање производње и рестриктивна монетарно-кредитна политика.

Друго, економска сарадња је мало заступљена у односу на привреду Србије са иностранством што слаби утицај међународних економских односа.

Треће, прилив СДИ (гринфилд инвестиција) је изузетно мали негде око 180 мил. \$ (у 2005 год.)

Четврто, спроведена приватизација је довела до позитивних ефеката у појединим индустријским гранама, али се они не виде јер део профита одлази изван земље.

3. ЗАКЉУЧАК – ИНТЕГРАЦИЈА ПРИВРЕДЕ ПРИМАРНИ ЗАДАТАК

Период који је пред нама довешће до успостављања нових економских односа у свету у којем треба да нађе простор и индустрија Србије.

Основ конкурентности наше индустрије за инвестирање мора базирати на продуктивности, квалитету, дизајну и маркетингу а не на ниској висини надница наших радника. Опште је познато да у развијеним земљама света, трошкови радне снаге у металопрерађивачкој индустрији се крећу око 15%, аутомобилској до 20%, текстилној до 10% итд. укупних трошкова.

То подразумева да се у оквиру постојећих наших компанија извође производне целине са производима и технологијама који су или могу бити конкурентне на европском тржишту уз сагледавање могућности њиховог повезивања и интеграција у европске компаније.

У компанијама се упоредо са производним активностима морају спроводити осмишљени континуални процеси едукације – учења јер се мора прихатити чињеница да знање оних који не учествују у процесу учења по дефиницији је застарело, јер предуслов технолошког лидерства почива на кадровском потенцијалу највишег нивоа и технолошког знања.

У наредном периоду економски односи ће бити базирани на три трговинска блока Источно-Азијском, САД и Европској унији. Предвиша се да ће привреда 2020 године према вредности друштвеног бруто производа бити рангирана: Кина, САД, Јапан, Индија, Индонезија, Немачка, Кореја, Тајланд, Француска и Тајван.

4. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Deming W.E., Out of the Crisis, Deming Institute, Washington, 1986
- [2] Drucker P.F., Managing for the Future, Truman Talley Books, New York, 1992
- [3] Народна банка Србије, Македоније, БиХ, Словеније, Хрватске
- [4] Републички завод за статистику

- [5] Тановић Љ, Бојанић П., Индустија прераде метала Републике Србије – неопходне промене, Трансфер технологије за европску Србију, Зборник радова, Машински факултет, Београд, 2005, 196-202
- [6] Тановић Љ., Привреда Републике Србије – стање и перспектива, 32. ЈУПИТЕР конференција, Златибор, 2006, ТФ1-ТФ6



UVODNI REFERAT

**NOVE PARADIGME U RAZVOJU SAVREMENIH
TEHNOLOGIJA PLASTIČNOG OBLIKOVANJA
METALA**

M. Plančak¹⁾

***Rezime:** Sve strožiji uslovi na savremenom globalnom tržištu uslovljavaju razvoj i primenu takvih proizvodnih tehnologija koje će kvalitetan proizvod realizovati u što kraćem vremenu po konkurentskoj ceni. U takvoj konstelaciji faza razvoja proizvoda i samog proizvodnog procesa dobija još više na značaju. U prvom delu rada su prikazane metode brze uzrade prototipova (RP) koje pružaju nove mogućnosti i daju novi kvalitet fazi razvoja. Drugi deo rada posvećen je savremenim tehnologijama plastičnog oblikovanja metala. Prikazan je jedan broj karakterističnih tehnologija koje ilustruju nove trendove u ovoj oblasti.*

***Ključne reč:** Nove paradigme, proizvodne tehnologije, plastično oblikovanje metala.*

**NEW PARADIGM IN THE DEVELOPMENT OF
MODERN METAL FORMING TECHNOLOGIES**

***Abstract:** Highly competing world market has been the origin for the development of production technologies which create products of high quality in short time and at acceptable price. In the production chain the development phase becomes the most important step as it determines in very significant way all the following production activities. First part of the current paper illuminates the technologies of Rapid Prototyping. Further on new trends and concepts in modern Metal Forming technologies are discussed. Exemplarily, a number of concrete solution in this field are presented.*

***Key words:** New paradigm, production technologies, metal forming*

1. UVOD

Novi uslovi na savremenom globalnom tržištu uslovljavaju paradigmatične promene u svim domenima privređivanja pa i u proizvodnom mašinstvu. Promene se odnose ne samo na poboljšavanje postojećih i kreiranje novih rešenja nego i u samom konceptijskom pristupu pri postavljanju i rešavanjanju problema. Sa tog stanovišta uočljiva je svojevrsna evolucija u okviru mašinske tehnike i industrije u celini, koja permanentno traje od početka industrijske revolucije (od 1700 godine na dalje).

¹⁾ Prof. dr Miroslav Plančak, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka,
Novi Sad, Srbija, plancak@uns.ns.ac.yu

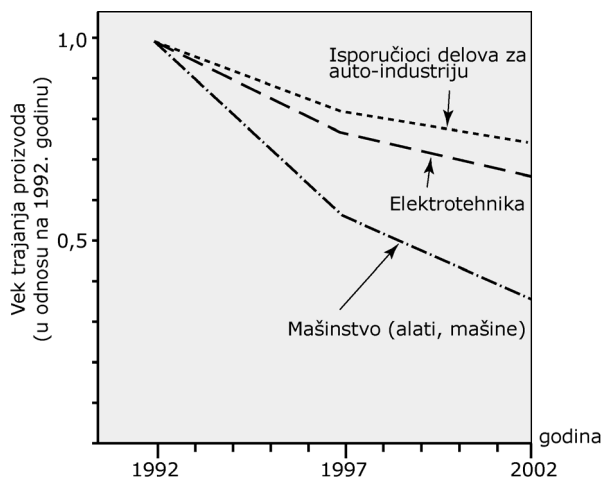
U prvoj fazi razvoja mašinstva, na početku industrijske revolucije, osnovni zahtev /izazov koji se postavljao pred proizvod bio je da proizvod ispravno funkcioniše. To je vreme James Watt-a (1736-1819) i njegove parne mašine (Glasgow 1765), vreme Ramsden-a (1735-1800) i prvog struga za struganje metalnih navoja itd.

Kasniji razvoj doveo je do novih zahteva od kojih je bio dominantan taj da proizvod bude što dugotrajniji. Tipični primeri iz tog perioda (tridesete godine prošlog veka) su npr. »Singer« šivaća mašina, »Dijamant« bicikli pa i prvi tipovi Volkswagenovih automobila iz tog perioda.

Ekonomski aspekt (profit), kao dominantni kriterijum uvodi se nakon drugog svetskog rata a u poslednjih 20-tak godina pojavljuje se novi kriterijum – ekološka opravdanost procesa proizvodnje ali i samog proizvoda koji u tom procesu nastaje.

Sve probirljiviji zahtevi kupaca usloveli su u poslednjih desetak godina uvođenje najnovijih postulata u domenu proizvodnog mašinstva od kojih su karakteristični sledeći:

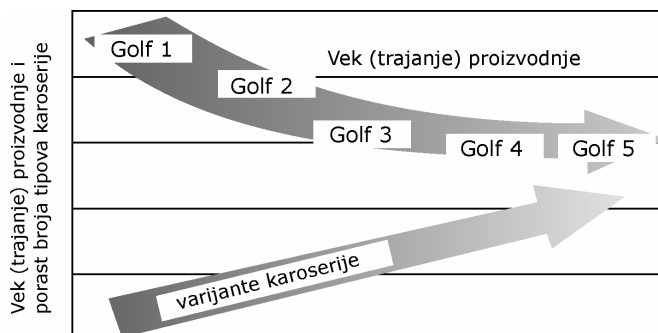
- a.) Individualizacija proizvoda. Jedan proizvod nudi se tržištu u više varijanti kako bi kupac imao utisak da kupuje svoj "individualni" proizvod. Tipičan primer je auto-industrija gde se jedan tip automobila može isporučiti u više različitih verzija.
- b.) Smanjenje veka trajanja proizvoda. Proizvodi se tako koncipiraju i proizvode da im je vek trajanja kraći od veka trajanja istih proizvoda prethodne generacije.



Slika 1. Skraćenje vremena trajanja proizvoda

Ova činjenica najuočljivija je u oblasti kompjuterske tehnike, mobilne telefonije, automatike, auto-industrije. Prema tvrdnjama vodećih privrednih i marketinških institucija koje se bave istraživanjem tržišta u dužem vremenskom intervalu, vreme u kome jedan proizvod donosi dobit na tržištu se u poslednjih dvadesetak godina prepolovilo. Ovaj proces skraćivanja vremena trajanja (korišćenja) jednog proizvoda na tržištu iznosi oko 5% godišnje (slika 1). Taj trend skraćivanja vremena različit je u različitim oblastima tehnike, kako se to vidi na datoj slici.

Aktuelni primer koji potvrđuje tezu o sve kraćem veku trajanja proizvodnje jednog proizvoda i koji je prikazan na slici 2 i potiče iz poznatog svetskog koncerna za proizvodnju automobila VW – Volkswagen. Prikazan je životni vek pojedinih tipova automobila Golf. Uočava se sa slike da je početni (prvi) tip, Golf 1, imao znatno duži životni vek nego kasniji, noviji Golf - tipovi. Na istoj slici je takođe prikazan i porast broja različitih varijanti pojedinih tipova karoserija automobila Golf.



Slika 2. Vek proizvodnje pojedinih tipova automobila Golf

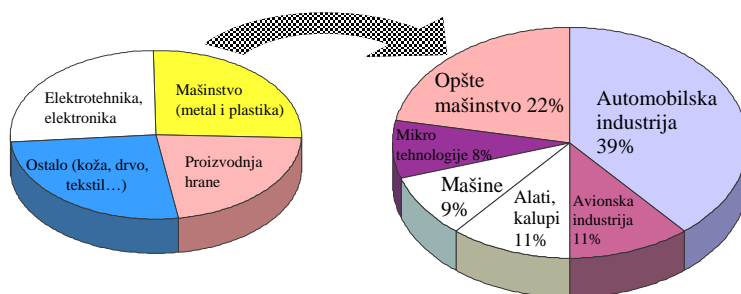
Smanjenje veka trajanja proizvoda ima i svoju ekonomsko-socijalnu dimenziju i delimično je uslovljeno potrebom osiguranja radnih mesta u industriji.

Navedene faze u industrijskoj evoluciji, čiji je kratki prikaz dat u predhodnom tekstu, nisu striktno vremenski razgraničene niti isključuju jedna drugu nego se često preklapaju i dopunjuju (npr. ekonomski aspekt je uvek prisutan). Sa druge strane neke faze su okarakterisane suprotnim zahtevima/kriterijumima (npr. »što dugoročniji proizvod« i »smanjenje veka trajanja proizvoda«).

Značaj kojeg proizvodne tehnologije imaju sa šireg, ne samo tehničkog nego i socio-ekonomskog stanovišta, može se ilustrirati sledećim podacima, preuzetim iz /35/. Prema tom izvoru sve proizvodne tehnologije se mogu podeliti u 4 velike oblasti:

- a.) oblast mašinstva (metal, plastika)
- b.) oblast elktrotehnike, elektronike i informacionih tehnologija
- c.) oblast proizvodnje hrane
- d.) ostalo (koža, drvo, tekstil...)

Ukupni godišnji promet (» turnover «) navedenih proizvodnih tehnologija u Evropi iznosi oko 4.000 milijardi Eu. Direkto je u njima zaposleno 40 miliona ljudi a indirektno još 80 miliona. Udeo pojedinih grupa tehnologija, kao i specifikacija udela pojedinih grana u okviru mašinskih proizvodnih tehnologija dat je na slici 3. Uočava se da je auto industrija najznačajnija industrijska grana u okviru mašinskih proizvodnih tehnologija.



Slika 3. Proizvodne tehnologije

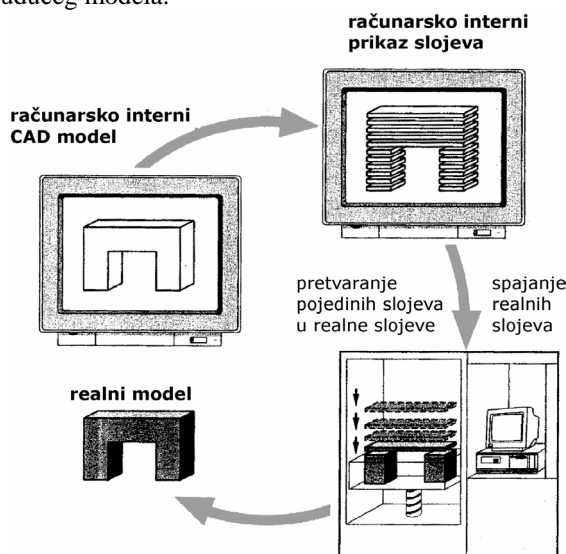
U ovom radu dat je prikaz nekih novih trendova u oblasti proizvodnog mašinstva sa težištem na tehnologijama plastičnog oblikovanja metala. Dominantna faza u savremenom procesnom lancu je razvoj proizvoda i samog proizvodnog procesa. U toj fazi tehnologije brze izrade alata (Rapid Prototyping), koje su prikazane u prvom delu

rada, predstavljaju savremena rešenja koje pružaju veoma značajne mogućnosti. Drugi deo rada posvećen je jednom broju novih rešenja u oblasti plastičnog deformisanja metala koja su ili u fazi razvoja ili se već implementiraju u industrijskoj praksi.

2. BRZA IZRADA PROTOTIPOVA I ALATA (RAPID PROTOTYPING & RAPID TOOLING)

Najnoviji pravci razvoja, čiji je pregled dat u uvodnom delu, uslovili su suštinske promene u samoj pripremi i realizaciji proizvodnje. Centralno mesto zauzima razvoj proizvoda koji treba da je što kraći (brži) i što fleksibilniji kako bi vreme od prve ideje do lansiranja proizvoda na tržište (tz. »time to market«) bilo što kraće.

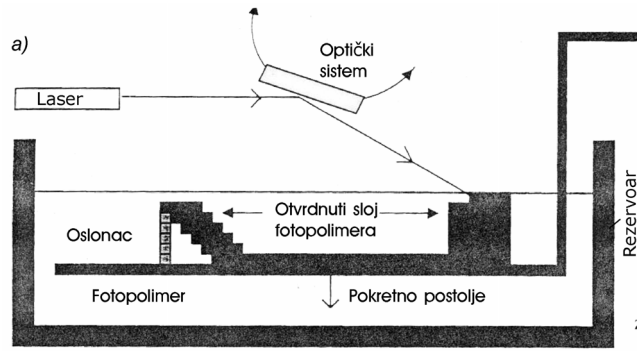
U cilju efikasnijeg i bržeg razvoja novog proizvoda koriste se prototipovi raznih nivoa detaljisanja kojima se vizueliziraju i ispituju različite karakteristike budućeg proizvoda: estetika, funkcionalnost, pogodnost za montažu i demontažu i dr. Od vitalnog je značaja skratiti vreme izrade fizičkih prototipova. U tu svrhu razvijene su tz. tehnologije brze izrade prototipova (RP - Rapid Prototyping) koje na bazi postojećeg 3D CAD modela budućeg proizvoda omogućuju fizičku izradu prototipa u vrlo kratkom vremenu (od nekoliko sati do 1-2 dana za kompleksnije oblike i oblike većih dimenzija). Osnovni princip generisanja fizičkog modela iz 3D CAD modela prikazan je na slici 4. Računarski 3D CAD model tretira se posebnim softverom pri čemu se, između ostalog, model deli na pojedinačne horizontalne slojeve. Ti slojevi se u kasnijoj fazi procesa i fizički realizuju generišući na taj način realni, fizički model. U procesu generisanja fizičkog modela nezaobilaznu ulogu igra laser. Pomoću laserskog zraka realizuju se pojedini slojevi budućeg modela.



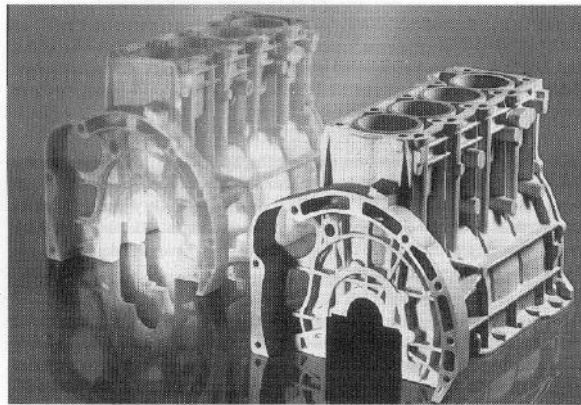
Slika 4. Princip generisanja fizičkog modela iz CAD modela

Iako je razvijen ili je još u fazi razvoja veći broj različitih varijanti RP, najveći broj bazira na aditivnom principu (»sloj po sloj«). Među pojedinim varijantama RP tehnologije postoje značajne razlike u pogledu materijala koji se koristi za izradu prototipova, brzine izrade, kvaliteta i tačnosti izrade, cene opreme i samog izvođenja procesa i dr.

Od postojećih etabliranih RP tehnologija svakako je najrasprostranjenija Stereolitografija (Stereolithography). Stereolitografijom je moguće dobiti model kompleksnih oblika i visoke tačnosti u x-y ravni za relativno kratko vreme. Pojednostavljen prikaz jednog Stereolitografskog postrojenja dat je na slici 5. Na slici 6 prikazan je RP model izrađen stereolitografskim postupkom i realan deo jednog bloka motora.



Slika 5. Principijelna šema stereolitografskog postrojenja



Slika 6. Blok motora – RP model i realan deo

Na slici 7 prikazani su modeli automobila Peugeot i Citroen u razmeri 1:18, izrađeni RP tehnologijom koji se primenjuju u istraživanjima vezanim za otpor vazduha u toku kretanja automobila.



Slika 7. Modeli automobila Peugeot i Citroen

U prvoj fazi razvoja, pod RP se podrazumevala izrada prototipa koji je identičan produktu u kasnijoj proizvodnji, dakle izrada „pozitiva”. Međutim, i „negativi” mogu biti urađeni sa RP. To su alati, gravure, kalupi, koji se koriste za izradu realnih komada („pozitiva”) za predserije ili male serije. Takvi “negativi” u ovom kontekstu nazivaju se “meki alati” (*soft tools*). U tom slučaju reč je o Rapid Toolingu (RT). Prema tome, Rapid Tooling je podgrupa Rapid Prototypinga jer se metode i postupci RT suštinski ne razlikuju od RP.

3. VIRTUELNA PROIZVODNJA

Neprestano težeći skraćanju vremena koje je potrebno za razvoj novih proizvoda, moderna industrijska praksa već duži niz godina pribegava nizu različitih inženjerskih filozofija, kao što su brzi razvoj proizvoda (*Rapid Product Development*), simultani inženjering (*Concurrent Engineering*), brza izrada prototipova (*Rapid Prototyping*) i druge. Bez obzira na međusobne različitosti, ovi prilazi su rezultat želje da se greške, problemi i nedostaci vezani za funkcionalnost i tehnološki budućeg proizvoda uoče što je moguće ranije - pre otpočinjanja proizvodnje.

Zahvaljujući pojavi tehnologije virtualne stvarnosti i značajnom napretku koji je ona ostvarila u poslednjih petnaestak godina, pomenute inženjerske filozofije postepeno konvergiraju ka jednoj novoj koncepciji, koja se u potpunosti zasniva na simulacijama, a koju možemo nazvati virtualna proizvodnja (eng. *virtual manufacturing*).

- Definicija virtualne proizvodnje

Virtualna proizvodnja predstavlja zajednički imenitelj za skup aktivnosti koje se u potpunosti realizuju u računarskom okruženju, sa ciljem da se modelira, vizuelno predoči, simulira i optimizuje postupak za izradu proizvoda. Ovu ideju moguće je formulirati na različite načine, zbog čega se u literaturi mogu pronaći brojne definicije virtualne proizvodnje. Jedna od često citiranih definicija tvrdi sledeće:

„Virtualna proizvodnja je integrisano, artifično proizvodno okruženje koje se u proizvodnom preduzeću koristi za unapređenje procesa odlučivanja i upravljanja na svim nivoima”.

Pridev „artifično” ukazuje na činjenicu da je ovo okruženje računarski generisano, bez mogućnosti da proizvede fizički proizvod. Prema jednoj drugoj definiciji, virtualna proizvodnja predstavlja:

„Računarski sistem koji generiše informacije o strukturi, mogućim stanjima i ponašanju proizvodnog sistema, koje bi se dobile i posmatranjem stvarnog proizvodnog okruženja”.

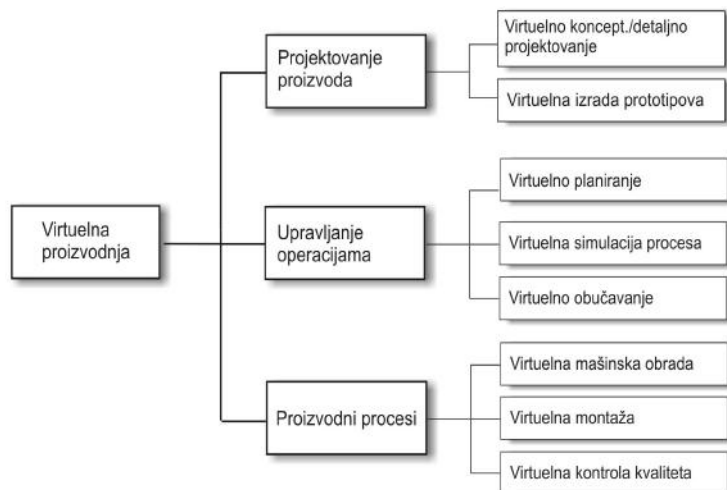
Slično prethodnoj, i ova definicija ukazuje na to da umesto fizičkih materijala i proizvoda, VM generiše informacije o njima.

Ne navodeći brojne druge definicije koje na sličan način interpretiraju suštinu VM, možemo uočiti još neke karakteristike koje ovu vrstu prilaza proizvodnji izdvajaju od ostalih. Virtualna proizvodnja se temelji na računarskom modeliranju i simulaciji. Na taj način se omogućava predviđanje svojstava, ponašanja i međusobne interakcije materijala, alata, mašina, uređaja i ljudi - učesnika u procesu stvaranja proizvoda, a sve to pre otpočinjanja fizičke proizvodnje, tj. u fazi kada se izmene još uvek mogu načiniti uz najmanje troškove.

S tim u vezi, zanimljiv je podatak da u konvencionalnom prilazu razvoja proizvoda, odluke načinjene u ranoj fazi razvoja, uzrokuju oko (65-75)% od ukupnih budućih troškova. Štaviše, praksa pokazuje da, nakon što se alati jednom izrade, modifikacija osnovnog rešenja proizvoda nije samo komplikovana, već je i izuzetno skupa.

- Primena tehnologija virtuelne stvarnosti u proizvodnji

U poslednjih petnaestak godina, napredak u razvoju tehnologije virtuelne stvarnosti doveo je do njene primene u najrazličitijim sferama delatnosti - od vojne, preko zabave i edukacije, do medicine i svemirskih letova. Proizvodno mašinstvo je u virtuelnoj proizvodnji videlo mogućnost da se različiti konstrukcioni i tehnološki problema uoče i otklone, pre nego što do njih, u praksi, zaista dođe. Pored povišenja kvaliteta proizvoda, time se stvaraju i mogućnosti za značajne uštede.



Slika 8. Oblasti primene VR tehnologija u proizvodnji

Primena virtuelne stvarnosti prisutna je u svim fazama životnog veka proizvoda, te su zato uočljiva tri karakteristična domena njene primene u virtuelnoj proizvodnji (slika 8):

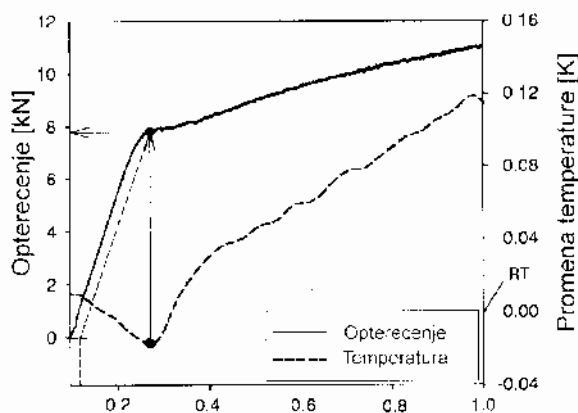
- projektovanje proizvoda
- proizvodni procesi
- upravljanje operacijama.

4. TEORETSKO-EKSPERIMENTALNI POSTUPCI U ISTRAŽIVANJU NAPONSKO-DEFORMACIONOG STANJA

4.1. Termografička metoda određivanja granice tečenja

Pored čisto teoretskih pristupa u određivanju napona tečenja razvijen je i jedan broj eksperimentalnih metoda. Jedan od nestandardnih pokušaja određivanja granice tečenja je i pomoću merenja temperature zone deformisanja u obratku. Naime, detektovan je fenomen da se materijal koji se deformiše hladi prilikom elastične deformacije a zagreva prilikom plastične deformacije. Teoretska elaboracija ovog fenomena, u koju se ovde neće ulaziti, prezentovana je u /24/, /25/.

Shodno ovom zaključku kod deformisanja materijala u elastičnoj oblasti dolazi do pada početne temperature da bi svoj minimum temperatura dostigla na granici tečenja. Od te tačke na dalje (dakle, sa nastavkom deformisanja u plastičnoj zoni) temperatura materijala raste. U /24/ korišćen je ovaj princip za određivanje granice tečenja kod jednoosnog zatezanja epruvete od aluminijuma. Na slici 9 dat je dijagramski prikaz opterećenja u elastičnoj i plastičnoj oblasti i temperature. Uočava se pad temperature do trenutka postizanja granice tečenja a zatim njen relativno nagli rast u plastičnoj oblasti.



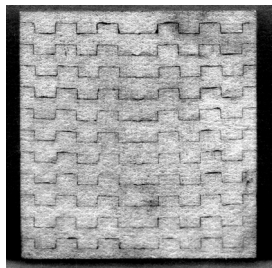
Slika 9. Tok opterećenja i temperature u elastičnoj i plastičnoj oblasti kod jednoosnog opterećenja epruvete od aluminijuma

Treba reći da prikazana termo-grafička metoda, bar za sada, ne predstavlja pouzdanu, realnu mogućnost određivanja granice tečenja čak ni u laboratorijskim uslovima. Teoretska osnova (analitičko rešenje) ove metode samo u kvalitativnom smislu potvrđuje merenja dok se kvantitativni rezultati razlikuju i za ceo red veličina. Tačnost merenja temperature je uvek u ovakvim slučajevima problematična, parametri eksperimenta kao što su npr. brzina, veoma utiču na tačnost rezultata. Ipak, zbog svoje specifičnosti, u jednom broju istraživačkih laboratorija nastavljajući se teoretsko-eksperimentalna istraživanja sa ciljem dovođenja ove metode na nivo realne, praktične primene.

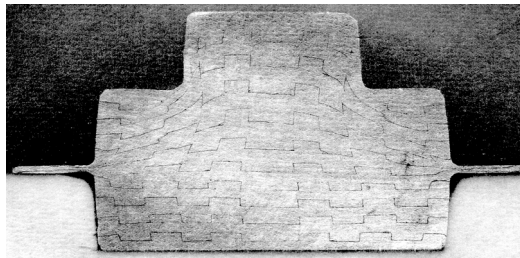
4.2. Određivanje deformacionog stanja metodom fizičke diskreditacije

Prilog istraživanju deformacionog stanja u procesima zapreminskog deformisanja metodom fizičke diskreditacije dat je u [23]. Prema ovom pristupu pripremci se izrađuju od segmenata u obliku žljebastih pločica. Nakon deformisanja vrši se detaljna analiza svakog pojedinačnog segmenta na osnovu čega autor određuje deformacionu sliku u meridijalnoj ravni preseka. Osnovu za određivanje deformacionog stanja čine pomeranja tačaka meridijalnog preseka koja proizilaze iz uporedbe nedeformisanih i deformisanih segmenata. Uočava se, dakle, da se radi o specifičnoj varijanti vizioplastičnosti.

Na slici 10 dat je pripremak sačinjen od pojedinačnih segmenata a na slici 11 poprečni presek deformisanog radnog predmeta. Koristeći ovu metodu autor je odredio kompletno deformaciono stanje u procesu kovanja u otvorenom kalupu .



Slika 10. Pripremak sačinjen od segmenata



Slika 11. Deformisani segmenti u obratku

4.3. Određivanje naponsko-deformacionog stanja metodom merenja veličine zrna

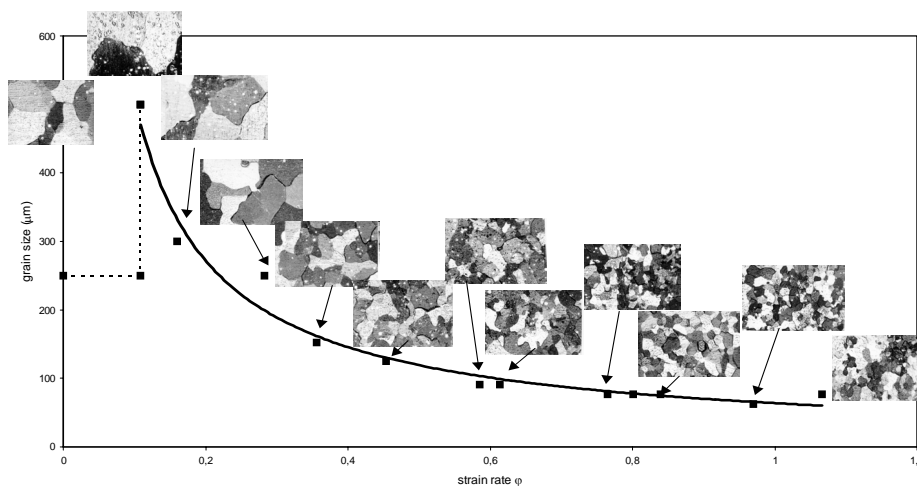
Činjenica da se veličinom deformacije menja i veličina zrna u materijalu koji se plastično deformiše iskorišćena je u [26], [31]...da se pomoću merenja zrna pre i posle deformacije odredi veličina deformacije u posmatranoj tački (tačnije rečeno, na mestu posmatranog zrna u datom preseku). Pomoću ove metode u LTP-FTN, Univerzitet u Novom Sadu vršeno je određivanje deformacije u poprečnom preseku profila zuba kod radikalno hladno istisnutih obradaka.

Prvi korak u primeni ove metode je konstruisanje kalibracione krive tj. krive koja predstavlja zavisnost između veličine rekristalizacionog zrna i veličine deformacije (slika 12). Na osnovu te krive, po proceduri kako je to prikazano u gore navedenim radovima, metodom upoređivanja veličine rekristalizacionog zrna u realnom obratku i veličine zrna na kalibracionom dijagramu moguće je odrediti veličinu deformacije po preseku. Poznajući deformacije, pomoću analitičkog izraza za vezu napon - deformacija moguće je odrediti i efektivne napone po preseku.

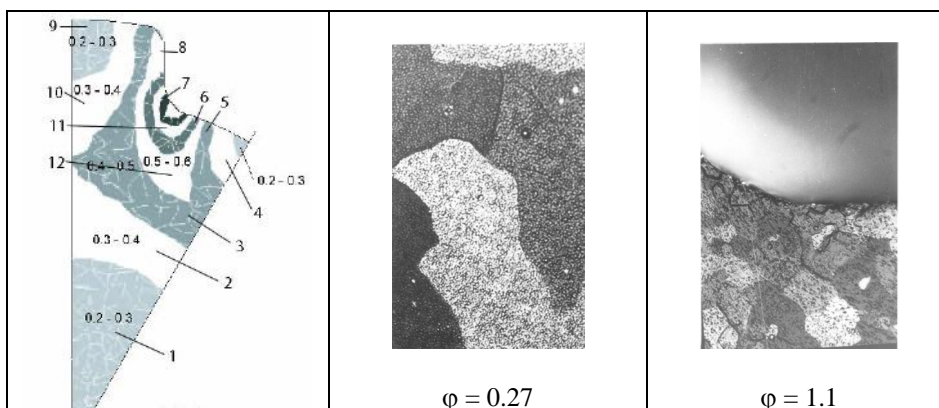
Slika 13 prikazuje polovinu profila zuba istisnutog obratka sa označenim različitim zonama veličine zrna tj. veličine deformacije [26]. Uočava se da je najniži nivo deformacije u zoni koja je blizu ose obradka ($\phi = 0.27$) a najviši u korenu zuba (zona 7, veličina deformacije 1.1).

Istraživanja su pokazala da je za tačnost rezultata od velikog značaja režim rekristalizacionog žarenja. Pri tome je neophodno da uzorci koji se koriste za konstruisanje etalon dijagrama budu žareni sa istim režimom kao i istiskivani uzorak.

Iako je ova metoda relativno složena ona može predstavljati alternativu nekim drugim metodama a u nekim slučajevima (npr. deformisanje sa veoma tankim poprečnim presecima) i jedinu mogućnost eksperimentalnog određivanja naponsko-deformacionog stanja.



Slika 12. Kalibracioni dijagram



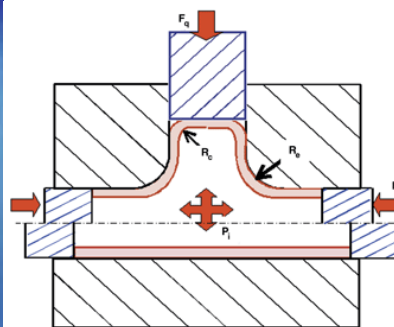
Slika 13. Karakteristične zone po preseku profila

5. HIDROMEKANIČKO DEFORMISANJE CEVI (TUBE HYDROFORMING)

Hidromehaničko deformisanje cevi (THF – Tube Hydroforming) spada u grupu tehnologija čija se industrijska primena najbrže širi. Ovo je zbog toga što se primenom ove tehnologije na relativno jednostavan način mogu dobiti šuplji obradci vrlo različitih geometrija i iz različitih materijala. Pored toga, obradci dobijeni THF odlikuju se veoma povoljnim odnosom težine i krutosti što u modernim konceptima konstruisanja predstavlja posebnu pogodnost. Snažan impuls brzom razvoju ove tehnologije dala je auto industrija. Danas se jedan broj odgovornih delova automobila u modernim autofabrikama izrađuje tehnologijom THF. Tipičan primer je nosač motora za automobil Opel-Astra koji se proizvodi u pogonima u Bochumu (Nemačka) tehnologijom THF-a. Na slici 14 prikazan je taj nosač kao i polufabrika (ravna cev) i dva međufazna oblika.



Slika 14. Nosač motora Opel-Astre izrađen THF tehnologijom



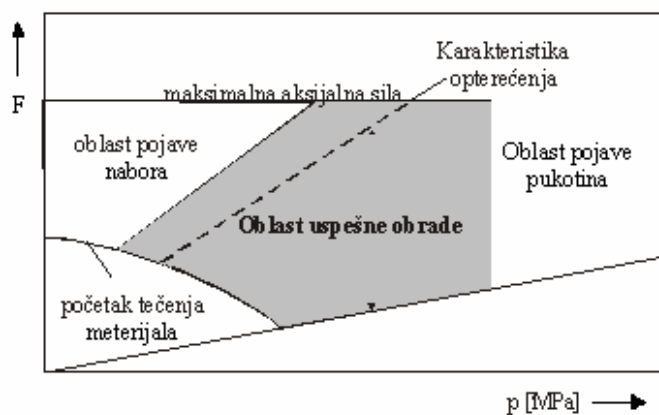
Slika 15. Princip THF tehnologije

Princip THF-a prikazan je na slici 15. Donji deo slike predstavlja početak procesa a gornji završetak. Na cev, postavljenu u zatvoreni alat koji poseduje odgovarajuću šupljinu, simultano deluje mehanička sila sa obe strane preko odgova-

rajućih pritiskivača i pritisak hidraulične tečnosti »pi«. Usled toga cev se deformiše i popunjava šupljinu u alatu i na taj način nastaje obradak.

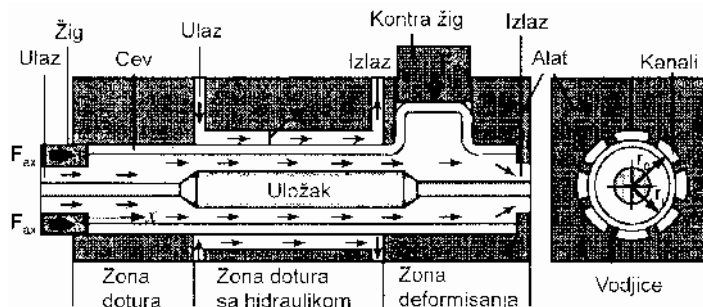
Osnovni parametri procesa su hidraulični pritisak u unutrašnjosti cevi, brzina deformisanja i aksijalna sila. Samo optimalnim projektovanjem svih parametara procesa dobija se kvalitetan proizvod. Od posebne važnosti za uspešnost procesa je kombinacija : pritisak-aksijalna sila. Preveliki hidraulični pritisak uz nedovoljno veliku silu rezultira u nastanku pukotine u zidu cevi a prevelika sila uz nedovoljno veliki hidraulični pritisak uslovljava nastanak nabora na zidu cevi. Optimalna kombinacija ova dva dominantna parametra može se odrediti analitičkim putem a u praktičnoj upotrebi su i tzv. radni dijagrami procesa THF (slika 16). Na tom dijagramu date su različite zone u $p_i - F$ dijagramu koje označavaju (ne)uspešnost procesa. Za dobijanje ispravnog obradka neophodno je da se kombinacija $p_i - F$ nalazi u zoni uspešne obrade.

Uobičajene veličine hidrauličnog pritiska kreću se u dijapazonu od 60- 200 MPa. Ovako visoki pritisci zahtevaju adekvatno zaptivanje između krajeva cevi i pritiskivača.



Slika 16. Radni dijagram $p - F$

Jedan od veoma bitnih parametara procesa je i trenje između spoljnog zida cevi i unutrašnjeg zida alata, posebno ako se radi o dužim cevima. Trenje negativno utiče ne samo na energetske parametre nego i na kvalitet obradka (neravnomernost debljine zida obratka). Jedan od najnovijih pravaca razvoja ove tehnologije usmeren je na smanjenje uticaja trenja primenom toka fluida visoke viskoznosti oko spoljnjeg površine cevi za vreme procesa THF-a. Teoretske postavke koncepta mogu se naci u [10]. Prakticna realizacija ovog koncepta prikazana je sematski na slici 17.



Slika 17. Hidromehaničko deformisanje cevi sa unutrašnjim i spoljašnjim tokom viskoznog fluida

Za razliku od klasičnog procesa THF, kod nove varijante fluid teče u naznačenom smeru u unutrašnjosti ali i po spoljašnjosti cevi koja se obradjuje. U tu svrhu u alatu se nalazi veći broj aksijalnih kanala koji okružuju cev. Naznačeni tokovi visoko viskoznog fluida generisu tangencijalne napone na unutrašnjoj i spoljašnjoj površini cevi. Ovi naponi deluju u suprotnom smeru od tangencijalnih napona usled trenja i olaksavaju relativno kretanje cevi kroz alat ka zoni deformisanja.

Prikazani koncept je u inicijalnoj razvojnoj fazi ali preliminarna teoretsko-eksperimentalna istraživanja su pokazala da se može postići smanjenje negativnog uticaja trenja, posebno kod dugackih polufabrikata (cevi).

6. MIKRODEFORMISANJE (MICROFORMING)

Tehnologija plastičnog oblikovanja metala primenjuje se u veoma širokom dimenzionom opsegu, od obradaka veličine delova milimetra pa do više metara. Radi ilustracije različitih mogućnosti ove tehnologije sa stanovišta dimenzija obradaka, na slici 18 prikazan je najveći alat za deformisanje na svetu i set minijaturnih delova dobijenih mikroistiskivanjem, prečnika od 0.5 mm do 4 mm. Prikazani alat čije su dimenzije 4.2 x 2.3 m služi za izradu kompletne stranice automobila Mercedes Benz.

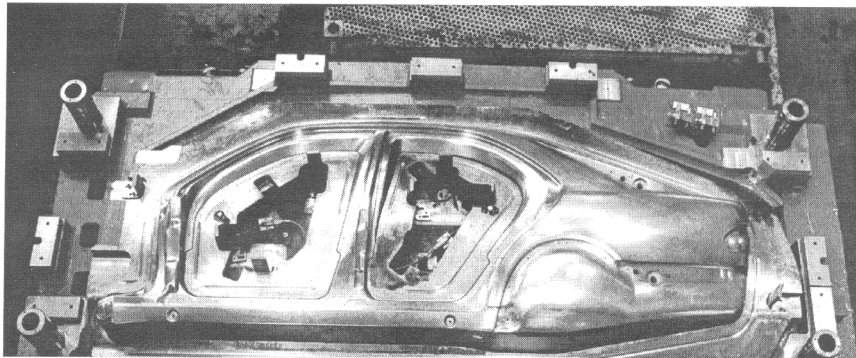
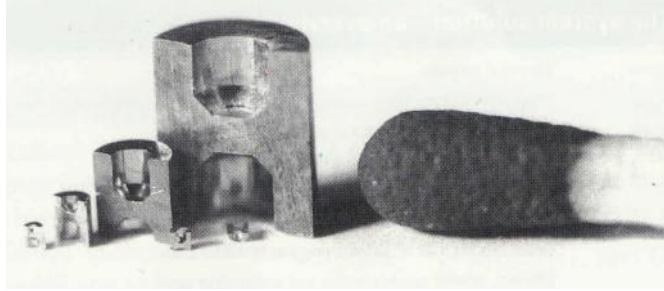
Mehanizmi deformisanja metala u opsegu dimenzija centimetra i milimetra su dobro etablirani i istraživani u okviru proizvodnog mašinstva. U novije vreme deformisane delova u oblasti dimenzija mikrometra i sub-mikrometra – koje se naziva i mikrodeformisanje – dobija sve više na značaju. To je uslovljeno savremenim zahtevima za što kompaktnijim proizvodima u oblasti elektronike, mikro elektromehaničkih sistema ali i delova koji su u međuvremenu postali uobičajeni u svakodnevnom životu (mobilni telefon, mini računari, precizna instrumentacija itd.). Tehnologija plastičnog deformisanja po svojim karakteristikama i mogućnostima veoma je pogodna za masovnu proizvodnju mikrodela. Razloge zašto se takvi delovi još uvek pretežno izrađuju metodama skidanjem strugotine treba tražiti u nedostatku potrebnih teoretskih znanja u oblasti mikrodeformisanja. Tek od nedavno se intenzivno radi na teoretsko eksperimentalnim istraživanjima a dosadašnji rezultati su veoma ohrabrujući.

Jedan od osnovnih problema kod analize i rešavanja problema mikrodeformisanja je taj što se teorijsko praktična saznanja koja postoje u klasičnom makro deformisanju ne mogu jednostavno primenom teorije sličnosti primeniti i u mikrodeformisanju. To je zbog toga što se određeni fenomeni koji se pojavljuju kod plastičnog deformisanja ne ponašaju prema toj teoriji. Tu se misli pre svega na ponašanje materijala (napon tečenja, anizotropija, obradivost...) i procese trenja (odnosi u kontaktu alat materijal). Ovaj problemski kompleks naziva se jednim imenom efekat veličine (size effect).

Efekat povećanog trenja kod mikro uzoraka moguće je objasniti pojavom tzv. otvorenih i zatvorenih džepova (rezervoara) na kontaktnoj površini. U tim džepovima smešteno je ulje za podmazivanje. Ako su takvi džepovi spojeni sa spoljnom površinom (omotačem) uzorka onda su to tzv. otvoreni džepovi a ako nisu onda su to zatvoreni džepovi. Otvoreni džepovi omogućuju mazivu da istekne sa kontaktne površine čime uslovi trenja postaju nepovoljniji tj. raste koeficijent trenja. Zatvoreni džepovi zadržavaju mazivo (ono nema gde da istekne) i time uslovi trenja ostaju povoljniji tokom deformisanja tj. koeficijent trenja je manji. Kod mikro uzoraka relativni udeo otvorenih džepova u odnosu na zatvorene je veći nego što je to kod konvencionalnih uzoraka, odakle proističe zaključak da je koeficijent trenja kod mikro uzoraka veći nego kod konvencionalnih uzoraka.

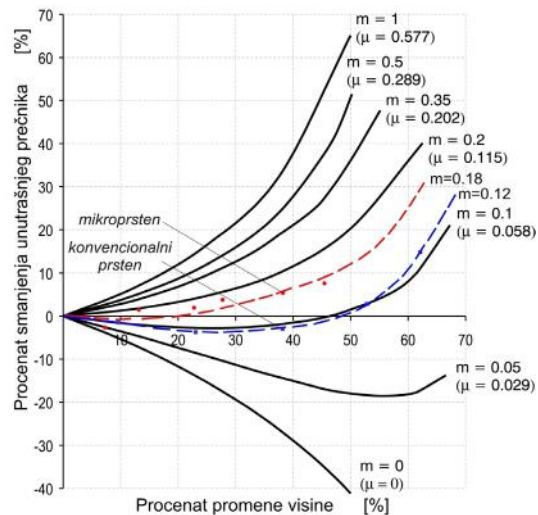
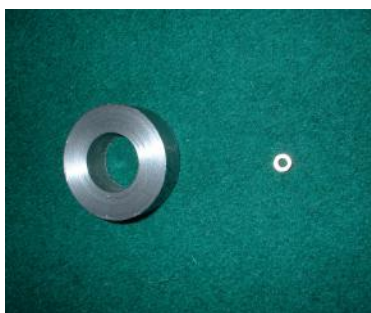
U cilju verifikacije dimenzionog efekta u domenu trenja, u LTP u Novom Sadu koncipirana su i izvedena eksperimentalna istraživanja. Poznatom metodologijom odre-

den je koeficijent trenja na bazi sabijanja prstena različitih dimenzija, uz iste uslove podmazivanja. Rezultati su ukazali da se kod mikroprstena pojavljuje veći koeficijent trenja nego kod konvencionalnog makro prstena, što je u skladu sa efektom veličine.



Slika 18. Delovi dobijeni mikrodeformisanjem (gore) i najveći alat na svetu (dole)

Na slici 19 prikazana su dva prstena različitih dimenzija (razlika dimenzija je u odnosu 1: 6) u polaznom obliku kao i koeficijent trenja u kalibracionom dijagramu.

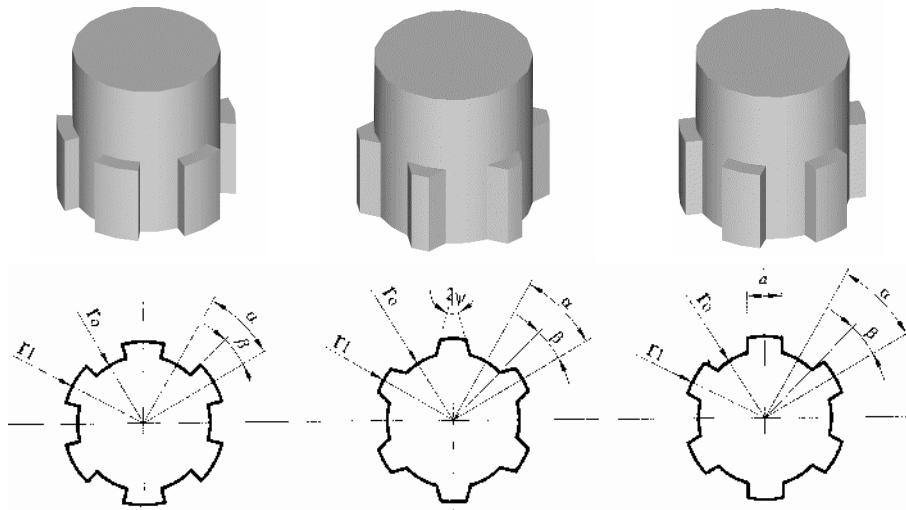


Slika 19. Polazni uzorci i koeficijent trenja kod mikro i konvencionalnog prstena

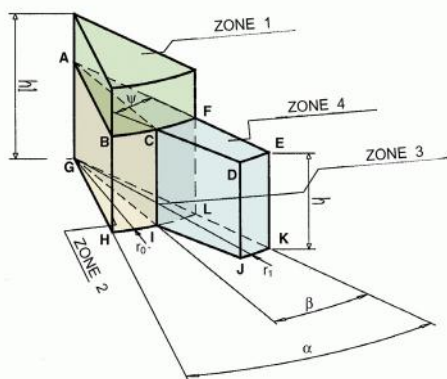
7. OBLIKOVANJE DELOVA BEZ NAKNADNE OBRADNE (NET SHAPE FORMING)

Poseban pravac u primeni i razvoju zapreminskog deformisanja metala je tzv. Net Shape Forming. To su obrade deformisanjem kojima se postižu konačne dimenzije funkcionalnih površina u samom procesu deformisanja, dakle ne zahtevaju naknadnu obradu skidanjem strugotine. Potrebno je napomenuti da je primena ove tehnologije opravdana pre svega u proizvodnji delova kompleksne geometrije u uslovima visokoserijske i masovne proizvodnje. To je najčešće slučaj u autoindustriji.

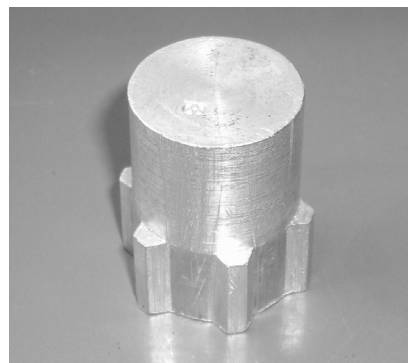
U Laboratoriji za Tehnologiju Plastičnosti (LTP) na FTN-u, Univerzitet Novi Sad, vršena su eksperimentalna istraživanja hladnog istiskivanja nazubljenih elemenata različitih profila i veličina. Teoretskim putem (Upper Bound metoda), numerički (konačni elementi) i eksperimentalno su istraživana tri modela ozubljenih elemenata prikazana na slici 20.



Slika 20. Geometrija istraživanih modela



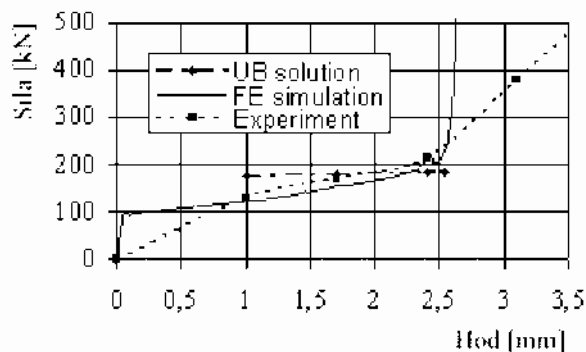
Slika 21. Karakteristične zone polovine profila



Slika 22. Ozubljeni element dobijen eksperimentalno

Prvi korak u gornjograničnoj analizi bio je podela ukupne zapremine na karakteristične zone i definisanje brzinskog polja u svakoj od tih zona. Na slici prikazana je jedna polovina ozubljenja podeljena u karakteristične zone.

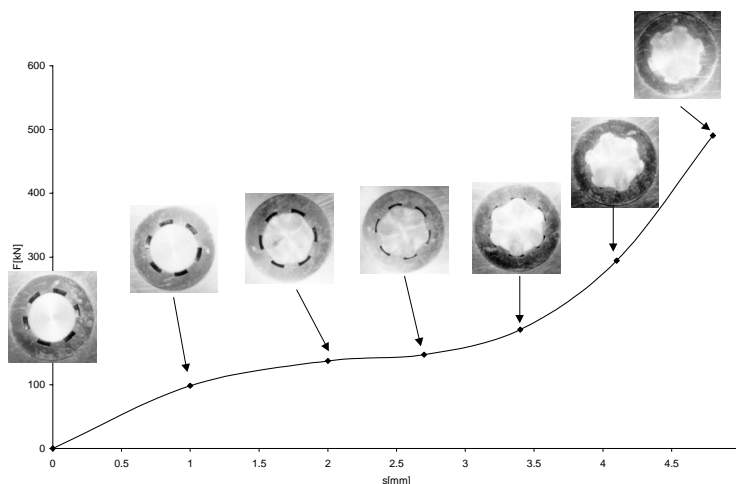
Primenom standardnih postulata gornje granice dobijen je izraz za ukupnu silu, rad i srednji pritisak na alat. Eksperimentalnim putem verifikovani su teoretski dobijeni rezultati. Na slici 23 dat je tok deformacione sile dobijen teoretski (gornja granica – UB), FE simulacijom i eksperimentalno.



Slika 23. Tok deformacione sile – poređenje

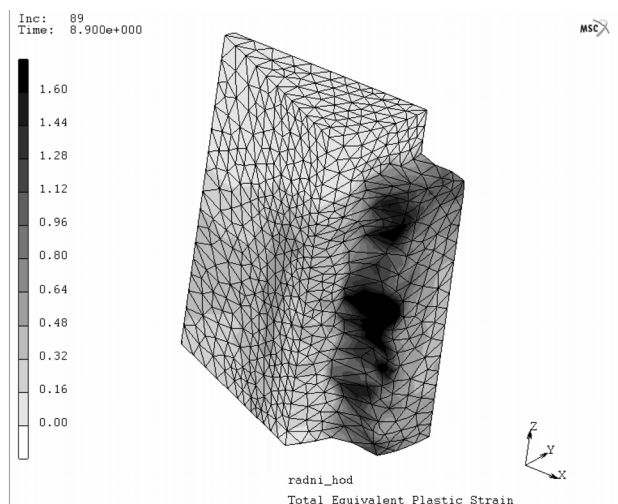
Jedan od signifikantnih pokazatelja uspešnosti NSF-a jeste tzv. »stepen ispunjenosti uglova« (corner filling). Već u zavisnosti od geometrije kalupa, za njegovo ispunjenje (tj. za popunjavanje svih šupljina u kalupu) potrebna je manja ili veća sila. Teoretski aspekt ove završne faze oblikovanja u kalupu (istiskivanje, kovanje...) još nije u potpunosti obrađen. U toj fazi naglo se menja brzinsko polje kao i ostali relevantni uslovi oblikovanja (npr. trenje) što otežava kreiranje jednog plauzibilnog teoretskog rešenja problema.

Eksperimentalnim putem određena ispunjenost kalupa u zavisnosti od sile za dati slučaj radujalnog istiskivanja data je na slici 24.



Slika 24. Ispunjenost kalupa za vreme procesa istiskivanja

Slika 25 ilustruje FEM rešenje za efektivnu deformaciju za dati primer polovine preseka profila (Ovaj segment istraživanja uradjen je u saradnji sa fakultetom Strojstva i Brodogradnje u Zagrebu – profesor M. Math).



Slika 25. Distribucija efektivne deformacije dobijena FE metodom

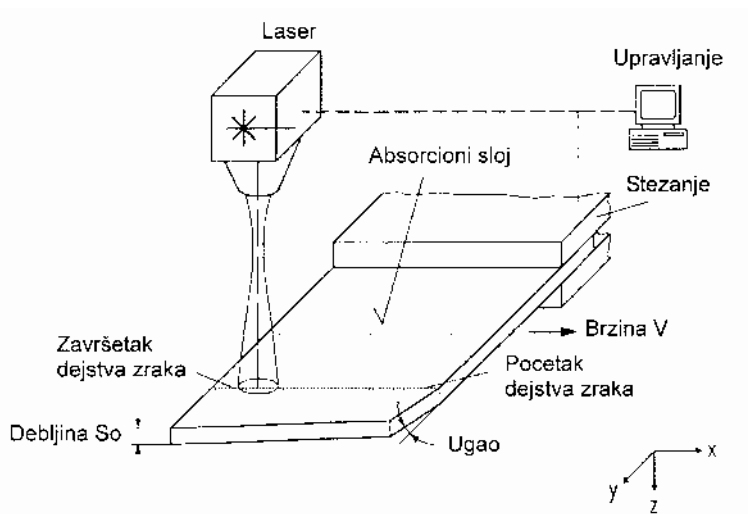
8. PRIMENA LASERA U OBLIKOVANJU METALA

Početak 70-tih godina prošlog veka počela je primena lasera u proizvodnim tehnologijama. Od tog vremena pa do danas razvijene su mnoge praktične primene od kojih su najznačajnije zavarivanje, probijanje i prosecanje, nanošenje prevlaka i, u novije vreme, brza izrada prototipova (RP).

Oblikovanje lima pomoću lasera nije još na nivou praktične industrijske primene ali su u istraživačkim laboratorijama načinjeni značajni koraci u tom pravcu. Najdalje se otišlo u primeni lasera u procesu savijanja lima kao i posebnih vidova dubokog izvlačenja.

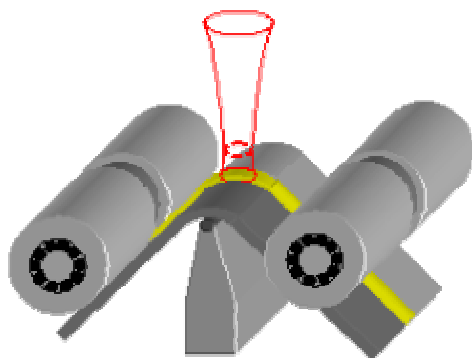
Princip savijanja lima pomoću lasera dat je na slici 26. Lim, koji, radi bolje apsorpcije laserskog zraka, na svojoj površini poseduje odgovarajući absorpcioni sloj, ciljno se zagreva pomoću laserskog zraka po određenoj liniji. Usloveno lokalnim zagrevanjem i kompleksnim međudejstvom između zagrejanih i nezagrejanih slojeva lima dolazi do savijanja lima za određeni ugao. Veličina tog ugla može se regulisati parametrima laserskog zraka, uključujući i dužinu zagrevanja lima. Posebno je ovaj proces efikasan u kombinaciji sa laserskim prosecanjem lima koje predhodi operaciji savijanja.

Laseri se uspešno upotrebljavaju i kod savijanja predhodno iskrojenih limova (Tailor Blanks). Naime, kod klasičnog savijanja ovih limova ugao savijanja je ograničen obzirom na zavar koji predstavlja slabo mesto i na kome kod savijanja često dolazi do pukotine. Prva pukotina se pojavljuje u zoni zateznih napona zavora (šava). Primena lasera u takvoj situaciji svodi se na indukovanje pritisnih napona u kritičnu zonu šava i to pomoću udarnih talasa, generisanih pomoću lasera. Na taj način se u zoni savijanja stvara povoljnije naponsko stanje tj. omogućava se veći stepen deformacije savijanja bez nastanka pukotine. Istraživanja su pokazala da se na taj način može povećati ugao savijanja Tailorovih limova za 40%. (Detalji o mehanizmu generisanja udarnog talasa pomoću lasera mogu se naći u odgovarajućoj literaturi /9/).



Slika 26. Savijanje lima pomoću lasera

Na slici 27. data je šema savijanja Tailorovih limova pod dejstvom udrnog talasa generisanog laserom /9/.



Slika 27. Savijanje Tailorovih limova pod dejstvom lasera

9. FLEKSIBILNO SAVIJANJE LIMENIH PROFILA PROMENLJIVOG PRESEKA

Klasična tehnologija profilnog savijanja limova pomoću valjaka omogućava izradu dugačkih limenih otvorenih i zatvorenih profila. Ova tehnologija se odlikuje velikom produktivnošću, niskim troškovma proizvodnje i visokim kvalitetom profila. Glavno ograničenje je to što se ovom tehnologijom mogu dobiti samo profili konstantnog poprečnog preseka. U cilju prevazilaženja ovog nedostatka na Institutu PtU Darmstadt razvijena je fleksibilna varijanta tehnologije kojom je moguće dobiti otvorene i zatvorene limene profile različitog poprečnog preseka /32/. Novi koncept u odnosu na klasičnu tehnologiju profilnog savijanja sastoji se u tome da se u okviru postrojenja za profilisanje nalaze i nekoliko parova valjaka koja u toku obrade menjaju konstelacije svojih osa, već prema potrebama promenljivog profila. Na taj način ostvaruju se različite deformacije u uzdužnom pravcu a time i različiti poprečni preseki profila.

Na slici 28. prikazan je jedan broj limenih profila različitog preseka kao i jedan primer praktične primene takvih profila u industriji nameštaja.



Slika 28. Profili promenljivog preseka i primer primene

Na Institutu u Darmstadtu ali i na drugim istraživačkim institucija sprovedena su teoretska i eksperimentalna istraživanja kao i FE simulacija procesa fleksibilnog savijanja profila u cilju optimalnog projektovanja alata i samog procesa. Očekuje se da će ova tehnologija sa nivoa laboratorijskih ispitivanja vrlo brzo biti primenjena u praksi.

10. ZAKLJUČAK

Proizvodne tehnologije izložene su novim izazovima globalnog tržišta što izaziva potrebu za razvojem novih koncepata i pristupa u svim fazama jednog proizvodnog procesa. Konkurentnost moderne metalne industrije u velikoj meri zavisi od sposobnosti da se tehničke inovacije, nastale kao rezultat naučno-istraživačkog rada, transformišu kroz jedan proizvodni lanac u praktičan proizvod. U tom smislu neophodno je istaći značaj integracije obrazovanja, istraživanja i razvoja, komunikacionih delatnosti i ostalih aktivnosti koje kao krajnji rezultat imaju konkurentan proizvod.

U ovom radu prikazane su neke nove tendencije razvoja u oblasti proizvodnog mašinstva sa težištem na tehnologijama plastičnog deformisanja metala. Cilj rada nije bio da se detaljno ulazi u problematiku pojedinih elemenata obradnog sistema (alat, mašina, materijal...) nego da se kroz egzemplarne prikaze karakterističnih postupaka ukaže na ono što predstavlja novu ideju, metodu, tehničko rešenje.

Zbog objektivnih ograničenja rad se nije bavio ekološkim aspektima primene tehnologija plastičnog deformisanja, što nikako ne znači da autor toj temi daje manji značaj.

Jedno od osnovnih obeležja savremenog tržišta - potreba za brzim promenama proizvodnog programa u uslovima intenzivne individualizacije proizvoda - uslovilo je pojavu i razvoj novih tehnologija i novih postupaka uz pomoć kojih se značajno povećava kvalitet a skraćuje vreme od prve ideje za proizvod pa do njegove pojave na tržištu (tz. time to market). U radu je prikazana grupa metoda za brzu izradu prototipova i alata koji predstavljaju nezaobilazan korak u savremenom proizvodnom lancu.

Virtuelna proizvodnja osvetljena je takođe u generalnom smislu, s tim što se – imajući u vidu kompleksnost i aktuelnost ove problematike - u radu upućuje na savremenu literaturu iz ove oblasti.

U delu rada koji je fokusiran na klasičnu tehnologiju plastičnog deformisanja metala dat je prikaz nekih metoda za određivanje naponsko deformacionog stanja koje su ređe prezentovane i manje primenjivane u praksi ali koje, u datim uslovima, mogu predstavljati plauzibilnu alternativu etabliranim metodama.

Takođe, dat je kratak prikaz jednog broja savremenih tehnoloških metoda plastičnog deformisanja metala koje su nastale ili na bazi potpuno novih koncepata i principa ili kao rezultat osavremenjavanja već postojećih metoda i koje omogućavaju značajno prošireje primene tehnologije plastičnog deformisanja kao i povećavanje kvaliteta proizvoda i ukupne tehno - ekonomske efekte.

Prezentovani rad, koji ni u kom slučaju ne pretenduje na kompletnosti i celokupnosti prikaza savremenog razvoja proizvodnih tehnologija plastičnog deformisanja, pokušaj je da se ne jednom mestu ilustruju neki novi trendovi razvoja u ovoj oblasti. Baziran je na sopstvenim istraživanjima i istraživanjima saradnika, analizi literature (pre svega svetskih časopisa iz relevantne oblasti), prezentacijama sa svetskih kongresa (npr. ESAFORM, ICTP, Metal Forming, i dr.) i dr.

Dati su iscrpni literaturni izvori koji omogućuju čitaocu da se detaljnije upozna sa pojedinim segmentima rada.

Napomena

Rad je deo regionalnog istraživačkog projekta br.114-451-01267/2006-02 koji je finansiran od strane Pokrajinskog Sekretarijata za nauku i tehnološki razvoj, Novi Sad 2006.

11. LITERATURA

1. Gebhardt, A.: Rapid Prototyping, Carl Hansen verlag Muenchen, 1995.
2. Kochan, D.: Solid Freeform manufacturing, Elsevier, 1993.
3. Plančak, M.: Brza izrada prototipova, modela i alata, FTN Novi Sad, 2004.
4. Grujović, N.: Brza izrada prototipova, WUS, Mašinski Fakultet Kragujevac, 2005.
5. Drstvenšek, I.: Slojevite tehnologije, Maribor 2004.
6. Mandić, V.: Modeliranje i simulacija u obradi deformisanjem, WUS, Mašinski Fakultet Kragujevac, 2005.
7. Stefanović, M., Aleksandrović, S., Mandić, V.: Aktuelni trendovi razvoja tehnologije plastičnog oblikovanja metala, Uvodno predavanje, Zbornik radova, 30. Savetovanja proizvodnog mašinstva SCG, Čačak - Vrnjačka Banja 2006. 57-82.
8. Plančak, M., Luzanin, O.: Uvod u virtuelnu proizvodnju, WUS, FTN Novi Sad, 2006.
9. Vollertsen, F., Niehoff, H.S.: Increase of formability in Bending process of hybrid-blanks through laser shock pulses, Production Engineering, XII/2, 2005.
10. Geiger, M., Vollertsen, F., Bo, P.D.: Improvement of formability in tube hydroforming by reduction of friction with a high viscous fluid flow, Production Engineering, XIII/1 (2006).
11. Plančak, M., Vollertsen, F., Woitschig, J.: Analysis, finite element simulation and experimental investigation of friction in tube hydroforming, Journal of Materials Processing Technology 170 (2005).
12. Vollertsen, F., Plančak, M.: On possibilities for the determination of the coefficient of friction in hydroforming of tubes, Journal of Materials Processing technology 125-126 (2002).

13. Dohmann F.; Hartl Ch.: Hydroforming - a method to manufacture light-weight parts. *J. Mat. Proc. Tech.* 60 (1996), pp.669 – 676
14. Vollertsen F.: State of the art and perspectives of hydroforming of tubes and sheets. *J. of Mat. Sci. & Techn.* 17, 3 (2001), pp.321 – 324
15. Vollertsen F.: Accuracy in process chains using hydroforming. *J. of Mat. Proc. Tech.* 103 (2000), pp. 424 - 433
16. Vollertsen F.: Challenges and chances of hydroforming of aluminum alloys. *Chinese- German Ultralight Symposium. Eds.: O. Hahn, X.-S. Yi, DVS-Berichte Band 218 (2001), pp.71 - 79*
17. Vollertsen F.: Reibung beim Innenhochdruckumformen. *Idee - Vision - Innovation. Hrsg.: F. Vollertsen, M. Kleiner. Meisenbach Bamberg (2001), pp.463 - 672*
18. Lange, K.: *Umformtechnik, Band 1, Springer Verlag, 1984.*
19. Tarnovski V: *Teorija obrabotki metallov davleniem, Moskva 1963.*
20. Bogoyavlenskij K.N., Serjakov E.,I.: *Hidravliceskaja formovka trojnikov i krestovin*
21. Hartl Ch.: *Ein Beitrag zur Flexibilisierung der Innenhochdruckumformung. Dissertation, Universität – GH Paderborn , Verlag Shaker, 1995*
22. Engel, U., Geistdoerfer, S.: *Microforming technology-history and future, ESAFORM 2006, Glasgow.*
23. Janjić, M., Domazetović, V., Vukčević, M., Savičević, S.: *Strain distribution by the method of physical discreditation, Journal for technology of plasticity, Novi Sad, 2005.*
24. Banabic, D., Huetnik, J.: *Determination of the yield locus by means of temperature measurement, ESAFORM, Glasgow.*
25. Mueller, W., Poehland, K.: *New experiments for determining yield loci of sheet metal, Journal for Material Processing Technology 60 (1996), 643-648.*
26. Plančak, M., Vilotić, D., Skakun, P.: *A study of radial gear extrusion, International Journal of forming processis, Volume 6/No.1/2003.*
27. Dean, T. A.: *Proces factors and tooling for precision forging, ICIT 2003, Bled.*
28. Kuzman, K., Tisza, M., Gantar, G., Zoltan, M., Fulop, t.: *An inverse FEM approach for determination of constitutive law parameters for sheet metals, ICIT 2001, Celje.*
29. Mueller, W.: *Beitrag zur Charakterisierung von Blechwerkstoffen unter zweiachsiger Beanspruchung, Diss.Universitet Stuttgart, Springer Verlag, 1996.*
30. Mueller, W., Poehlandt, K.: *New experiments for determination of yield locis in sheet metal forming, Journal of Material processing Technology, 60(1996).*
31. Plančak, M., Šidanin, L.: *Određivanje naponsko-deformacionog stanja po zapremini tela metodom merenja veličine zrna, III Savjetovanje o plastičnosti i otporu deformaciji metala, Igalo, 1982.*
32. Groche, P., Zettler, A., Berner, S.: *Development of a one-step-model for the design of flexible roll-formed parts, ESAFORM 2006, Glasgow.*
33. Shabaik, A., Thomsen, E. G.: *Some additional studies of the mechanics of axisymmetric extrusion by the viscoplasticity method, CIRP Vol.XVI, 1968.*
34. Skakun, P., Skunca, M., Šidanin, L., Plančak, M., Vilotić, M., Math, M.: *Determination of strain distribution in cold extruded aluminium workpiece-experimental and numerical approach, PSU-UNS, 2005, Novi Sad.*
35. Wertheim, R., Harpaz, J.: *Collaboration and globalization of R+D in manufacturing Engineering, ICIT 2003, Slovenija.*

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

UVODNI REFERAT

ЗНАЧАЈ ИНФОРМАЦИОНИХ ТЕХНОЛОГИЈА У ПРОИЗВОДНОМ ИНЖЕЊЕРСТВУ

Д. Домазет ¹⁾

Резиме. У раду је указано на значај информационих технологија (ИТ) и система у савременом производном инжењерству и указано на неопходност школовања будућих инжењера са уравнотеженим знањима из производних технологија, информационих технологија и операционог менаџмента.

Кључне речи: школовање производних инжењера, ИТ у производном инжењерству

THE IMPACT OF INFORMATION TECHNOLOGY (IT) ON PRODUCTION ENGINEERING

Summary. The paper emphasizes the great significance and impact of information technology (IT) and systems on production engineering today. As the result of this fact, it is suggested that new curricula in production engineering should provide a balanced knowledge from three interrelated disciplines: production technology, information technology, and operations management.

Keywords: production engineering education, IT in production engineering

1. ПРИМЕНА ИТ У ПРОИЗВОДНОМ ИНЖЕЊЕРСТВУ

Слика 1 приказује области производног инжењерства у којима је примена информационих технологија (ИТ) тако значајна, да без њих је тешко замислити како би уопште било могуће организовати аутоматизовану и савремену производњу. Производи се пројектују и прорачунавају применом рачунара (CAD/CAE), пројектују се потребни алати, технолошки процеси (CAPP), врши симулација процеса обраде (применом МКЕ), израђују програми управљања алатних машина (CAM) и друге рачунарски управљиве опреме и система. Управљање подацима и процесима је незамисливо, код сложених производа, без примене система са базама података, и који управљају пројектном и другом документацијом, као и конфигурацијом производа (PDM), планирање капацитета ради њеног оптималног коришћења, терминирање производње, симулација рада производног погона у циљу предикције и благовременог уклањања уских грла, интеграције информација о производу и пословних информација, као и

¹⁾ Проф. др Драган Домазет, Факултет информационих технологија Београд,
dragan.domazet@fit.edu.yu,
Машински факултет Ниш, ddomazet@masfak.ni.ac.yu

интегрално управљање целим пословним системом (ERP) – то су само неке од ИТ апликација које користе предузећа које постижу глобалну конкуретност. У области међуорганизацијске срадање присутне су ИТ апликације познате као В2В (business-to-business), SCM (supply change management) и др. које омогућавају реализацију нових облика пословне срадње, кооперација и оперативне интеграција (нпр. концепт виртуалних и проширених предузећа).

**НАЈЧЕШЋЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕ РАЧУНАРА
У ПРОИЗВОДНОМ ИНЖЕЊЕРСТВУ**

1. МАРКЕТИНГ И ПРОДАЈА

- 1.1 Испитивање тржишта
- 1.2 CRM – контакти са купцима
- 1.3 В2С и С2В системи
- 1.4 Подршка купцима
 - 1.4.1 Управљање базом података купаца
 - 1.4.2 Управљање сервисном службом

2. ПРОЈЕКТОВАЊЕ ЗА ПРОИЗВОДЊУ

- 2.1 Пројектовање технолошких процеса
 - 2.1.1 Анализа технолоичности производа
 - 2.1.2 Пројектовања технолошког поступка израде делова
 - 2.1.2.1 Моделирање, анализа и симулација процеса резањем
 - 2.1.2.2 Моделирање, анализа и симулација процеса обраде одвајањем
 - 2.1.2.3 Моделирање, анализа и симулација процеса обраде пластичном деформацијом
 - 2.1.2.4 Моделирање, анализа и симулација неконвенционалних процеса обраде
 - 2.1.2.5 Моделирање, анализа и симулација процеса обраде неметала
 - 2.1.2.6 САРР - Генерисање технолошког поступка израде дела
 - 2.1.2.7 САМ – израда управљачког програма за рачунарски управљање алатне машине, са симулацијом процеса обраде
 - 2.1.2.8 Израда управљачког програма за роботе, манипулаторе и транспортна колица, са симулацијом транспорта
- 2.2 Пројектовање алата (за обраду деформисањем, одвајањем, убрзгавањем полимера и др.)
- 2.3 Интегрално пројектовање производне опреме (алатних машина, производних линија, аутоматских колица, машина за паковање, итд.)
 - 2.3.1 Индустијски дизајн производа
 - 2.3.2 Концепцијско пројектовање производа
 - 2.3.3 САД системи – пројектовање и конструисање производа
 - 2.3.4 САЕ системи – анализа, симулација рада и оптимизација производа (прорачуни)
 - 2.3.5 Пројектовање управљачког система
 - 2.3.6 РДМ системи – управљање конфигурацијом производа и пројектном документацијом
 - 2.3.7 ЛСМ системи – системи за управљање животним веком производа
 - 2.3.8 Визуализација просторних објеката и производа и симулација њиховог коришћења

Слика 1. Најчешће области примене ИТ у производном инжењерству (1. део)

У садашњем глобализованом тржишту, са израженом оштром и конкуренцијом, контакт са купцима и рад за купца је од виталне важности. Апликације као што су CRM (customer relation management) и SPC (supplier-producer-customer) су у многим организацијама кључне апликације за реализацију свог пословања. Да ли то има везе са производним инжењерством? Па за кога раде производни инжењери? Сви, па и они, раде само за једног – купца. Без блиског контакта са њим, не могу да буду квалитетни, да задовољавају његове захтеве, да буду флексибилни и брзи. Купац не мора бити крајњи корисник производа, већ то може бити и следеће предузеће у производном ланцу, какви данас доминирају у свету.

- 2.4 Пројектовање пословних процеса
 - 2.4.1 Моделирање процеса
 - 2.4.2 Побољшавање процеса
 - 2.4.3 Допројектовање процеса
 - 2.4.4 Реинжењеринг пословних процеса
 - 2.4.5 Пројектовање нових пословних процеса
 - 2.4.6 Симулације рада процеса
 - 2.4.7 Управљање токовима посла
 - 2.5 Пројектовање ланца снабдевања
 - 2.5.1 Пројектовање B2B система
 - 2.5.2 Пројектовање SCM (Supply Chain Management) система
 - 2.6 Пројектовање погона и распореда производних ресурса
 - 2.7 Пројектовање радног места и метода рада
- 3. ПЛАНИРАЊЕ И УПРАВЉАЊЕ ПРОИЗВОДЊОМ**
- 3.1 Стратегија и дугорочно планирање производње
 - 3.2 Управљање капацитетом и ресурсима производње
 - 3.3 Планирање и управљање залихама
 - 3.4 Планирање и управљање набавком
 - 3.5 Управљање ланцем добављача
 - 3.6 Планирање и управљање производњом
 - 3.6.1 Терминирање производње (scheduling)
 - 3.6.2 Планирање и управљање капацитетом
 - 3.6.3 Моделирање и симулација производног процеса
 - 3.6.4 Оптимизација коришћења производних капацитета
 - 3.6.5 Мониторинг производње и производних процеса
 - 3.6.6 Управљање у реалном времену производним ресурсима (алатним машинама, роботима, манипулаторима, аутоматским колицима -AGV, транспортним тракама, трансфер линијама, аутоматским производним линијама, машинама за паковање)
 - 3.7 Управљање квалитетом
 - 3.7.1 Статистичка контрола квалитета
 - 3.7.2 Подршка Six Sigma нивоу квалитета пословања
 - 3.7.3 Процесна контрола квалитета
 - 3.7.4 Програмирање рада рачунарски управљаних мерних машина
 - 3.8 Планирање и управљање пројектима
 - 3.9 Планирање и управљање одржавањем
 - 3.10 Анализа трошкова производње

Слика 1. Најчешће области примене ИТ у производном инжењерству (2. део)

Каква би данас било пословање, производња, без наведених ИТ апликација? А навели смо само један део примена ИТ.

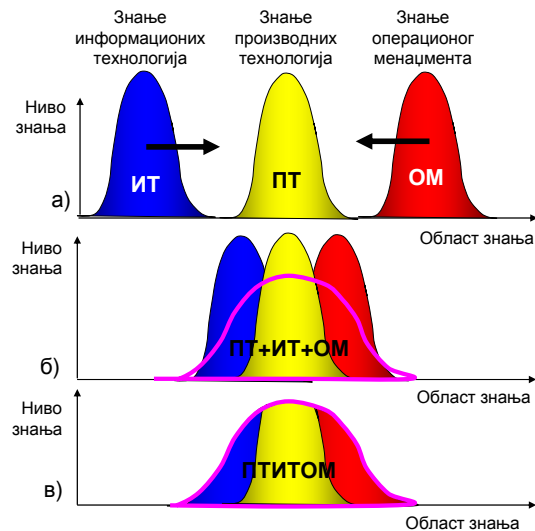
Очигледно је да су савремени производни системи незамисливи без примене информационих технологија, рачунара, Интернета и софтверских система. То није ствар укуса, моде или хтења. Њихова примена је ствар нужности и преживљавања на тржишту. Зашто? Зато што *знатно унапређују ефикасност и продуктивност пословања, унапређују квалитет производа и рада, а у неким стварима, омогућују оно што људи никад не би могли да раде успешно* (масовна и брза обрада података, њихово претраживање и дистрибуција, комуникација, поновљивост у раду и др.).

ТРОЈСТВО ЗНАЊА У ПРОИЗВОДНОМ ИНЖЕЊЕРСТВУ

Као и у многим другим областима, информационе технологије се у тој мери данас примењују заједно са производним технологијама (ПТ), да је данас тешко замисливо какви би данас били производни и пословни процеси, да не постоје рачунари. Савремени производни системи (ПС) су принуђени (све јача глобална конкуренција) да послују ефективно (у складу са захтевима купаца, тј. тржишта) и ефикасно (тј. да што пре лансирају нови производ на тржиште). Да би се то постигло, неопходно је што боље управљати производним системом, тј. неопходна је примена савременог менаџмента. Производни инжењери мора да имају нова и шира знања, јер морају да поседују, до извесног нивоа, и знања из области информационих технологија (ИТ) и знања из операционог менаџмента (ОМ). *Производне и информационе технологије, заједно са операционим менаџментом, данас представљају нераздвојиво тројство знања (ПТ+ИТ+ОМ = ПТИТОМ), које је један од предуслова постизања конкурентности и високе продуктивности* (слика 2). Ако би организација посебно ангажовала специјалисте за информационе технологије и операциони менаџмент, поред специјалиста за производне технологије, могу се јавити два проблема:

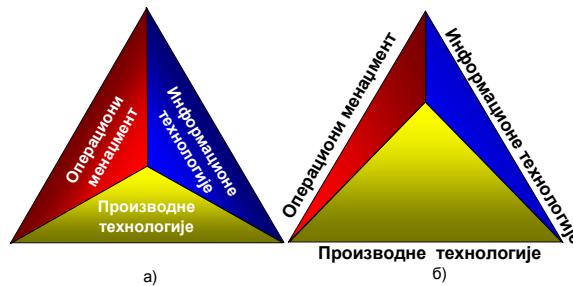
1. *већи трошкови радне снаге*, јер су ангажовани специјалисти из све три наведене области (што само веће организације могу себи да дозволе),
2. *проблем координације и колаборације*, јер је генерално тешко успоставити блиску сарадњу људи који поседују различита знања и имају и различите интересе.

Из наведених разлога, боље је решење ако организација запосли инжењере који у



Слика 2. Неопходна знања савременог производног инжењера

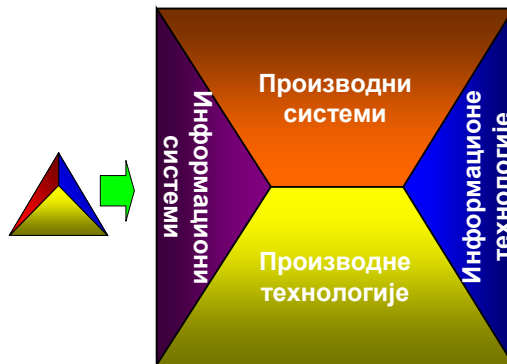
довољној мери имају знања из све три области знања (слика 2). Ово је посебно значајно за мања и средња предузећа, која не могу запослити већи број инжењера. Школовање таквих стручњака, са знањем из све три области је данас изазов за машинске факултете и код нас и у свету. Наравно, немогуће је да у једној особи имамо „три инжењера“, тј. да на пример, производни инжењер поседује иста знања из ИТ и ОМ, као и стручњаци који су школовани искључиво у овим дисциплинама. Зато савремени производни инжењер треба да има уравнотежена знања из ове три дисциплине, уз ипак доминирајуће знање из области производних технологија (слика 2.в). Ово тројство може се изразити и троуглом који симболички представља комбиновано знање из три дисциплине (слика 3.а). Међутим, код производног инжењера треба да доминира знање производних технологија, те троугао на слици 3.б реалније показује учешће ПТ, ИТ и ОМ знања код савремених производних инжењера.



Слика 3. Троугао области знања ПТИТОМ

СИСТЕМСКИ ПРИСТУП У ПРОИЗВОДНОМ ИНЖЕЊЕРСТВУ

Производне и информационе технологије не би давале онакве ефекте какве дају у савременој производњи да нису примењене у оквиру пословних и производних система који омогућавају ефикасност и ефективност. Системско размишљање и системско решавање производних задатака је данас свакодневна пракса. Зато се троугао знања може трансформисати у правоугаоник са четири поља (слика 4), од којих два представљају технолошке области (ПТ и ИТ), а два – системе који су у стварности врло интегрисани (ПС и ИС).



Слика 4. Интегрисане технологије и системи

Слика 5 приказује фонд потребног знања производног инжењера у ове четири области (ПТ, ИТ, ПС, ИС), али категорисаног само до другог нивоа, због недостатка простора. У оквиру припреме новог студијског програма за *производно-информационе технологије и менаџмент* на Машинском факултету у Нишу, овај фонд знања је категорисан до 4. нивоа.

Из свега изнетог, може се закључити да су савремени производни системи постали незамисливи без примене ИТ и ИС, те је то проширило фонд неопходног

знања стручњака који се баве производним инжењерством. Зато, нужност је да образовни програми из производног инжењерства морају да пруже неопходна знања из ПТ, ИТ и ОМ, у складу са овде предложеним ПТИТОМ моделу. Ова мултидисциплинарност омогућава боље разумевање мултидисциплинарног тима, а омогућава и самостално решавање многих проблема од стране инжењера образованог по овде предложеном ПТИТОМ концепту.

<p style="text-align: center;">ФОНД ЗНАЊА У ПРОИЗВОДНОМ ИНЖЕЊЕРСТВУ</p> <p>1. ПРОИЗВОДНИ СИСТЕМИ</p> <p>1.1. Концепт система 1.2. Анализа и пројектовање процеса 1.3. Организација производних система 1.4. Основне функције пословања 1.5. Предузетништво и развој пословања</p> <p>2. ПРОИЗВОДНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ</p> <p>2.1. Материјали 2.2. Обрада метала 2.3. Обрада неметала 2.4. Неконвенционалне обраде 2.5. Технологије превлака 2.6. Технологије спајања и раздвајања 2.7. Интегрално пројектовање производа и производних процеса 2.8. Производна средства 2.9. Управљање производним процесима 2.10. Технологије монтаже 2.11. Технологије паковања 2.12. Технологије брзе израде прототипа и алата 2.13. Технологије рециклаже 2.14. Процесне технологије</p> <p>3. ИНФОРМАЦИОНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ</p> <p>3.1. Структура рачунара 3.2. Алгоритми и структуре података 3.3. Оперативни системи 3.4. Телекомуникације 3.5. Веб технологије 3.6. Веб системи 3.7. Базе података 3.8. Основе програмирања и развоја софтвера</p> <p>4. ИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМИ</p> <p>4.1. Анализа пословања и информација 4.2. Развој информационих система 4.3. Концепти и методологије развоја система 4.4. Алати и технике за развој система 4.5. Планирање апликација 4.6. Пројектовање информационих система 4.7. Имплементација информационих система 4.8. Рад и одржавање ИС 4.9. Развој специфичних ИС 4.10. Интеграција података, апликација и система 4.11. Управљање информационим системима</p>
--

Слика 5 Неопходан фонд знања савременог производног инжењера.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19. - 21. 09. 2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19. - 21. 09. 2006.

UVODNI REFERAT

EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA U OBRADI METALA REZANJEM

M. Lazić¹⁾

Rezime: Obrada metala rezanjem predstavlja inter i multidisciplinarnu nauku koja koristi naučna dostignuća mehanike krutog tela, inženjerske mehanike, nauke o materijalima i metalurgije (građa i struktura materijala, plastičnost itd.), tribologije (trenje, habanje, podmazivanje), termodinamike i transformacije toplote, hemije i fizike. Proces obrade rezanjem je složen fizičko-hemijski mehanizam međusobnog delovanja alata i predmeta obrade u uslovima disperzije osobina i karakteristika elemenata tehnološkog sistema.

U radu je prikazan značaj i deo rezultata kompleksnih eksperimentalnih ispitivanja i istraživanja u obradi metala rezanjem izvedenih u Laboratoriji za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu.

Cljučne reči: Obrada metala rezanjem, Eksperimentalna istraživanja, Mehanika rezanja, Termodinamika rezanja, Tribologija rezanja

EXPERIMENTAL RESEARCHES IN METAL CUTTING

Abstract: Metal cutting is multidisciplinary science that employs achievements of mechanical of rigid objects, engineering mechanics, science about materials and metallurgy (texture and structure of materials, plasticity), tribology (friction, wearing, lubrication) thermodynamics and transformation of heat, chemistry and physics. Metal cutting process is complex physic-chemical mechanism of interconnection between tool and object in conditions of dispersion of characteristics of elements of technology system.

Important part of very complex results of experimental research by Laboratory for metal cutting and tribology, Faculty of Mechanical engineering in Kragujevac, in the field of metal cutting, is presented in this paper.

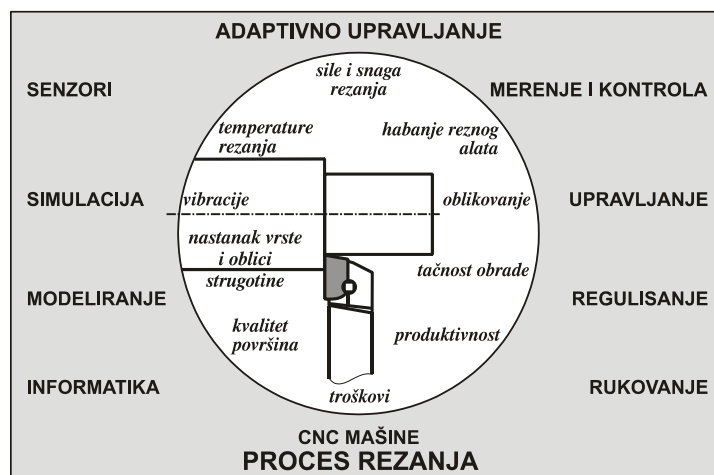
Key words: Metal cutting, Experimental researches, Mechanics of cutting, Thermodynamics of cutting, Cutting tribology

1. UVODNE NAPOMENE

Obrada metala rezanjem je najsloženiji i najkompleksniji deo tehnološkog procesa izrade, obrade i montaže delova različitih konfiguracija. Predstavlja inter i multidisciplinarnu nauku koja koristi naučna dostignuća mehanike krutog tela, inženjerske mehanike, nauke o materijalima i metalurgije (građa i struktura materijala, plastičnost itd.), tribologije (trenje, habanje, podmazivanje), termodinamike i transformacije toplote, hemije i fizike.

¹⁾ Dr Miodrag Lazić, redovni profesor, Mašinski fakultet, Kragujevac, laza@kg.ac.yu

Proces obrade je složen fizičko-hemijski mehanizam međusobnog delovanja alata i predmeta obrade u uslovima disperzije osobina i karakteristika elemenata tehnološkog sistema (slika 1). U zoni rezanja se odigravaju složeni procesi koji utiču na mehanizam nastanka, vrste i oblike strugotine, vibracije, temperaturu, sile i snagu rezanja, habanje reznog alata, rezni elementi alata i obradljivost materijala. U cilju optimalnog upravljanja procesom neophodna je blagovremena dijagnostika i monitoring procesa rezanja, uz potrebna merenja i kontrole. Za teorijsko-eksperimentalno proučavanje procesa koriste se dostignuća različitih naučnih disciplina kao što su sensorika, informatika, tehnike simuliranja i modeliranja procesa itd.



Slika 1. Proces rezanja - unutrašnja struktura, metode upravljanja procesom i metode teorijsko - eksperimentalnog proučavanja

2. KOMPLEKSNE METODE EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA

Kompleksne metode eksperimentalnih istraživanja u obradi metala rezanjem su metode utvrđivanja skupova funkcija obradivosti (slika 2) koje obezbeđuju formiranje baza znanja o mehanici, termodinamici, tribologiji, ekonomici rezanja, kvalitetu obrade itd. Odlikuju ih složena, dugotrajna i skupa ispitivanja, uz veliki utrošak raspoloživih resursa (materijala, vremena ...). Koriste se za sistematska i sistematska ispitivanja usmerena ka izgradnji *tehnoloških baza podataka (TB)* neophodnih za razvoj *računarski podržanih sistema projektovanja tehnologija (CAPP, CAM, ...)* i *sistema monitoringa i upravljanja procesom rezanja* [4, 6, 7, 8].

Kompleksnim metodama utvrđuju se zavisnosti funkcija obradivosti i parametara obrade (postojanost alata T , dubina rezanja a , korak S , brzine rezanja V itd.), kao što su funkcije čiji je osnovni oblik za:

◆ *postojanost alata:*

$$T = \frac{C_T}{a^p \cdot S^q \cdot V^z},$$

- ♦ brzine rezanja:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot a^x \cdot S^y},$$

- ♦ sile rezanja:

$$F_l = C_{kl} \cdot a^{x_l} \cdot S^{y_l},$$

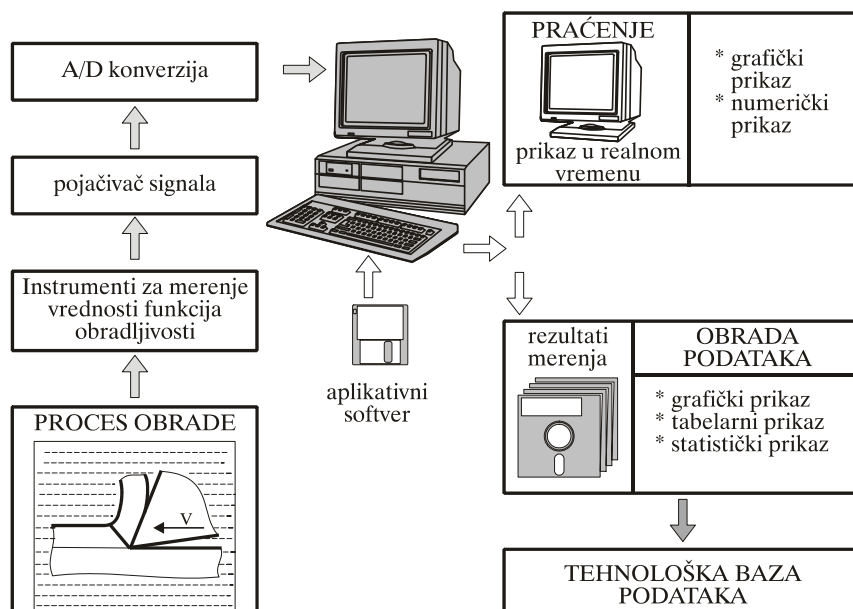
- ♦ temperature rezanja:

$$\theta = C_\theta \cdot a^k \cdot S^m \cdot V^n,$$

- ♦ parametre hrapavosti obrađene površine:

$$R = C \cdot a^x \cdot S^y \cdot V^z \cdot r^u \cdot t^m,$$

itd. Eksperimentalna ispitivanja i merenja izvode se prema pravilima i postavkama teorije planiranja eksperimenata [7].

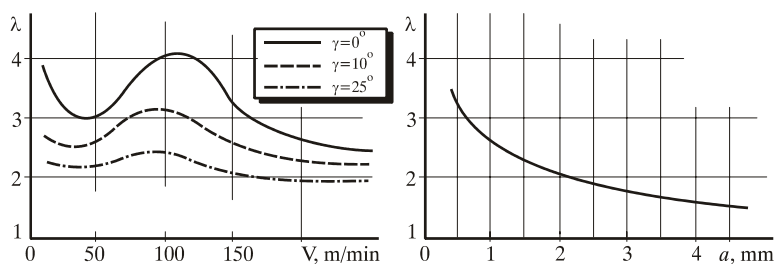


Slika 2. Principijelna šema kompleksnih ispitivanja obradljivosti [7, 8]

3. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA

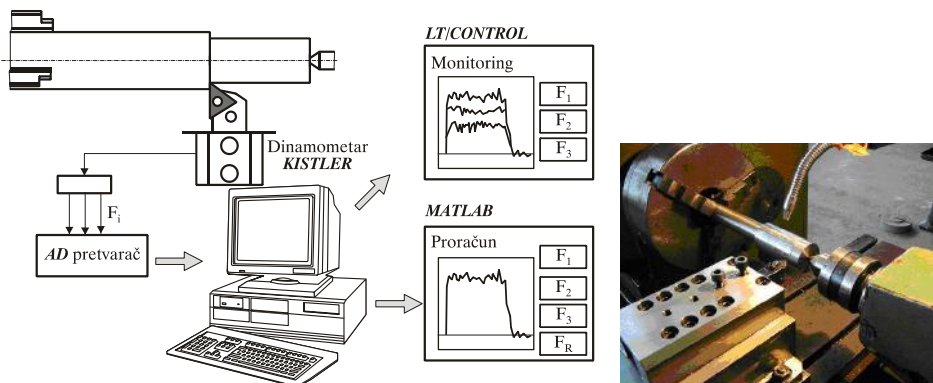
Kompleksna eksperimentalna istraživanja u obradi metala rezanjem obezbeđuju kompleksna znanja o mehanici (formiranje strugotine, sile rezanja, dinamika rezanja ...), termodinamici (toplota i temperatura rezanja ...), tribologiji (trenje i habanje reznih elemenata alata ...), ekonomici rezanja (postojanost alata, troškovi obrade...), kvalitetu obrade (tačnost obrade, kvalitet obrađene površine ...), monitoring i upravljanje procesom obrade, itd. Višegodišnja kompleksna teorijska i eksperimentalna istraživanja obrade metala rezanjem u Laboratoriji za obradu metala rezanjem i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu (LOMT) su obuhvatila pomenute aspekte nauke o obradi metala rezanjem.

Mehanika procesa rezanja proučava problematiku obrazovanja strugotine, sile i rad rezanja, deformaciono i naponsko stanje u zonama kontakta materijala predmeta obrade i alata, trenja na kontaktnim površinama predmeta obrade i alata, utvrđuje zakonitosti uticaja uslova rezanja na efekte procesa i sl. Za identifikovanje stepena deformisanja strugotine koriste se različiti parametri: faktori deformisanja strugotine, faktor sabijanja strugotine, relativno klizanje, brzina relativnog klizanja, kvadratno izduženje, relativna dilatacija i stvarni ili logaritamski stepen deformisanja [4, 6, 7, 9]. Primenom masene metode u *LOMT-u* dobijene su zavisnosti faktora sabijanja strugotine od brzine i dubine rezanja prikazane na slici 3.



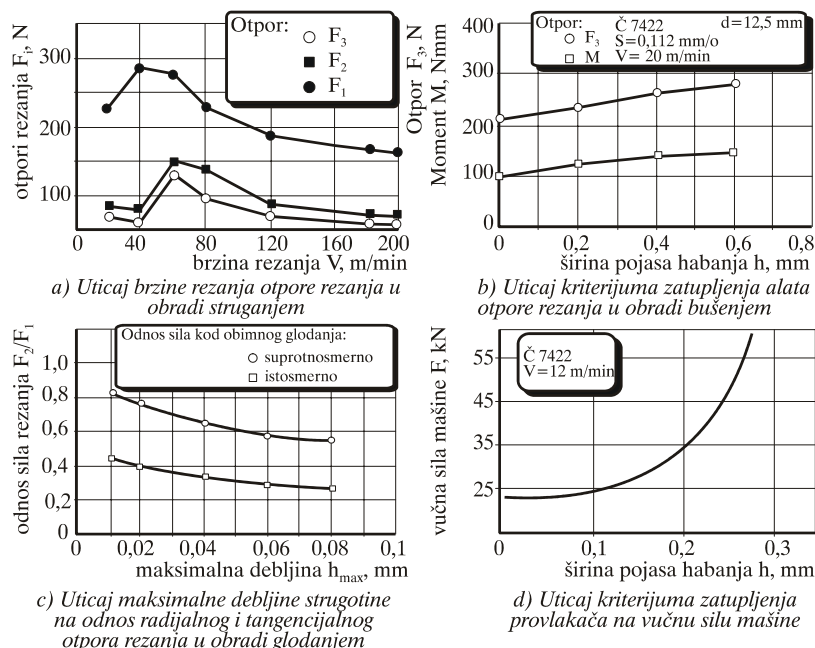
Slika 3. Uticaj brzine i dubine rezanja na faktor sabijanja strugotine [7]

Poznavanjem funkcionalnih zavisnosti sila i momenata rezanja obezbeđuje se racionalna i optimalna konstrukcija i eksploatacija obradnih sistema, optimizacija, modeliranje, simulacija, monitoring i upravljanje procesom obrade i sl. Piezoelektričnim dinamometrima (*KISTLER*, slika 4) za merenje otpora rezanja i obrtnih momenata u različitim vrstama obrade (struganjem, bušenjem, glodanjem itd.) dobijene su mnogobrojne zavisnosti otpora rezanja i parametara (slika 5).

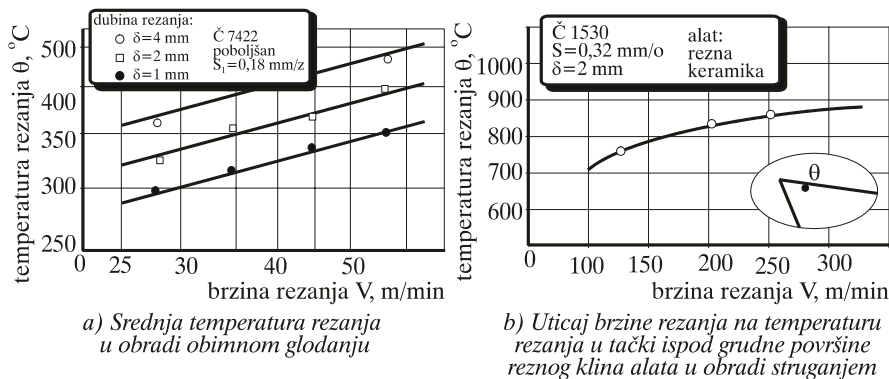


Slika 4. Merni lanac za merenje otpora rezanja u obradi struganjem sa piezoelektričnim dinamometrom, formiran u *LOMT - u* [9]

Termodinamikom procesa rezanja se opisuje termodinamičko stanje procesa sa ciljem identifikovanja termodinamičkih pojava u procesu, optimizacije i upravljanja termodinamičkim procesima, modeliranja, simuliranja i razvoja sistema automatskog upravljanja procesima rezanja. Prirodnim, veštačkim termoparovima i drugim metodama (termovizija i sl.) u *LOMT-u* su dobijene zavisnosti temperature rezanja i parametara obrade, kao što su na primer zavisnosti prikazane na slici 6.



Slika 5. Deo zavisnosti otpora rezanja i parametara obrade [7, 9]



Slika 6. Zavisnosti temperature rezanja i parametara obrade [7]

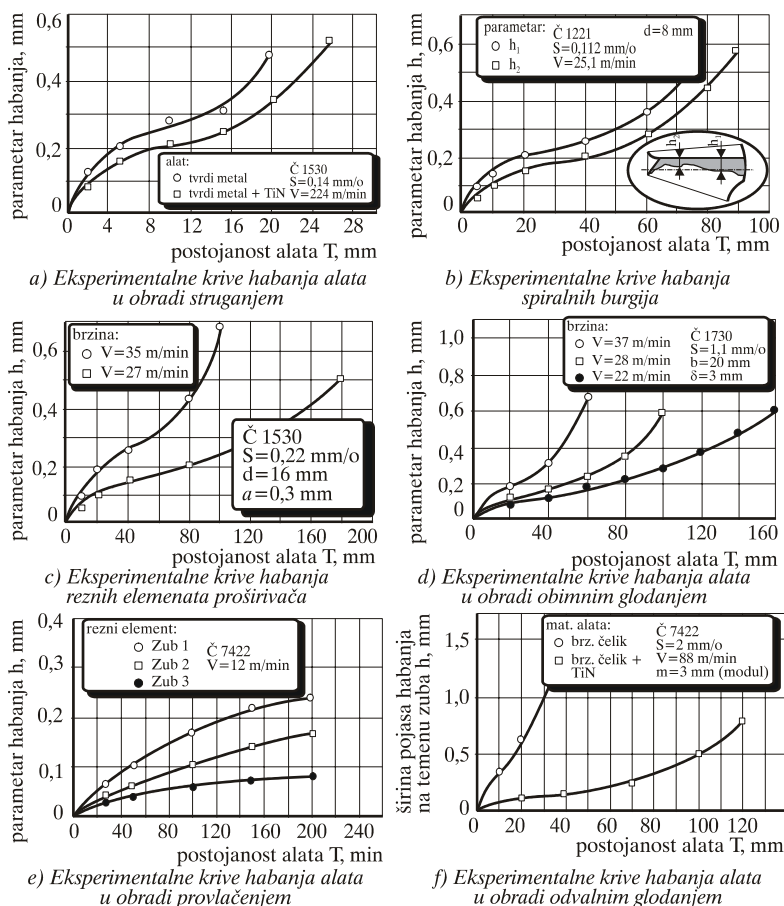
Tribologija je nauka o prenosu i rasipanju masa i energije u mehaničkim sistemima. Osnovne zakonitosti i dostignuća tribologije u obradi metala rezanjem obezbeđuju sagledavanje mehanizma trenja i habanja reznih elemenata alata i utvrđivanje zakonitosti kojima se povezuju habanje, drugi fenomeni i izlazni tehn-ekonomski efekti procesa rezanja. Mikroskopskim (slika 7), radioaktivnim i drugim metodama praćenja habanja reznih elemenata alata dobijen je veliki broj krivih habanja (slika 8).

Za proučavanje triboloških procesa u obradi metala rezanjem i na kontaktnim elementima (tribomehaničkim sistemima) tehničkih sistema, u LOMT-u su razvijena modelska ispitivanja zasnovana na korišćenju različitih tipova tribometara (slike 9 i 10). Tribometri su koncepcijski tako razvijeni da obezbeđuju različite vrste eksperimentalnih

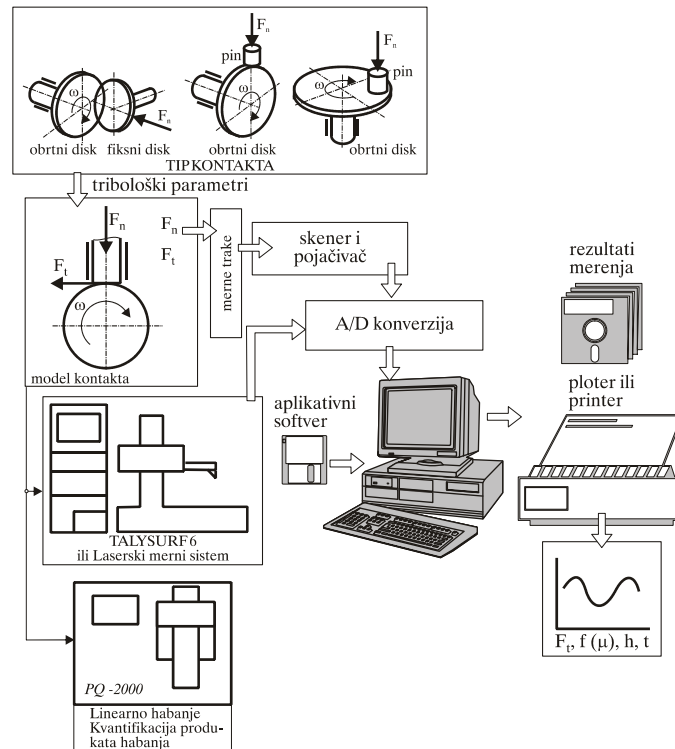
ispitivanja (proučavanje trenja i habanja, uporedna ispitivanja i ocene kvaliteta sredstva za hlađenje i podmazivanje, ispitivanja obradljivosti materijala itd.).



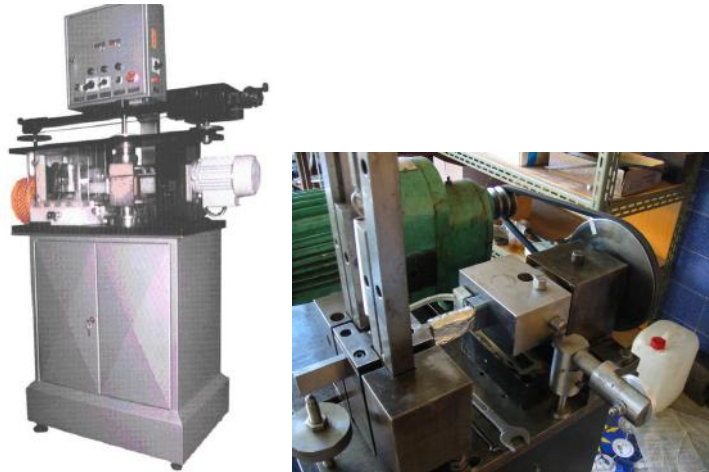
Slika 7. Univerzalni alatni mikroskop



Slika 8. Krive habanja u funkciji parametara obrade [7, 9, 10]



Slika 9. Strukturna šema tribometra razvijenog u LOMT - u [1, 3, 10]

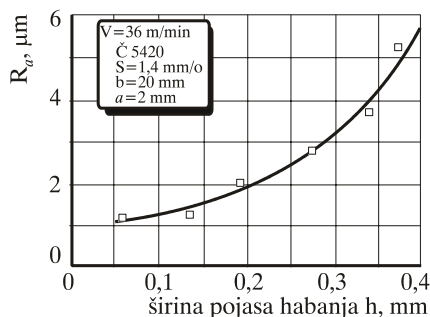


Slika 10. Izgled tribometra razvijenog u LOMT - u [1, 3, 10]

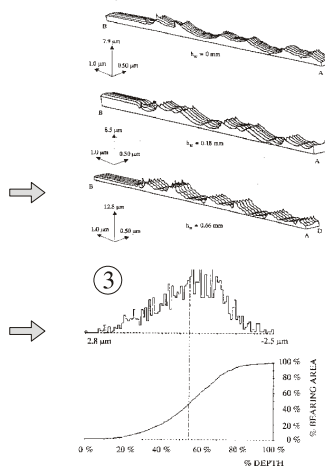
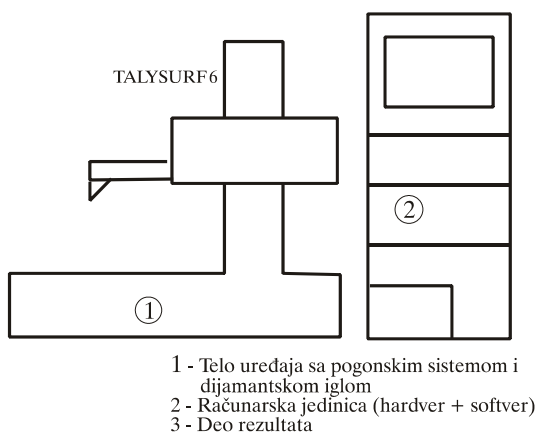
Izlazna površina iz tribomehaničkog sistema u kome se izvodi proces rezanja je uvek **obrađena površina**. Savremni meri sistem *Talysurf 6* (slika 11) obezbeđuje dobijanje zavisnosti hrapavosti obrađene površine i parametara obrade (na primer, zavisnosti prikazane na i *slici 12*). Uređaj obezbeđuje i snimanje profila površine kao 3D profila ili u preseku, uz identifikovanje parametara hrapavosti, krive nošenja profila itd. (slika 13).



Slika 11. Kompleksni merni sistem Talysurf 6 [1, 7]



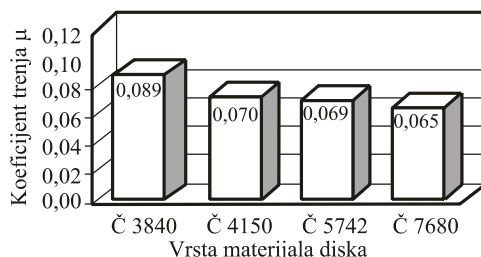
Slika 12. Zavisnost parametara hrapavosti obrađene površine i habanja reznih alata



Slika 13. Struktura kompleksnog mernog sistema Talysurf 6 i izgled snimljene površine [1, 7]

Sredstva za hlađenje i podmazivanje (SHP) su treći element tribomehaničkog sistema u obradi rezanjem. Osnovne karakteristike SHP su: *spособnost hlađenja, sposobnost podmazivanja i zaštitna sposobnost* [1, 3, 7]. Jedan od osnovnih pokazatelja kvaliteta SHP, pored sastava, su tribološke karakteristike SHP. Za kontrolu triboloških karakteristika SHP koriste se različite metode i uređaji kao što su: *mašine trenja sa četiri kuglice, tribometri* (slika 9 i 10) itd.

Projektanti i konstruktori različitih delova i elemenata pri izboru materijala obraćaju pažnju na osobine materijala (tvrdoća, zatezna čvrstoća, žilavost, otpornost na koroziju, otpornost na habanje i sl.). Međutim, cena i kvalitet projektovanih i konstruisanih elemenata zavise i od **obrаdljivosti materijala**. **Obrаdljivost** materijala se definiše kao *lakoća kojom se izvodi obrada*. Identifikuje se primenom različitih metoda (komparativnih i kompleksnih), u različitim uslovima (proizvodnim i laboratorijskim), uz korišćenje različitih postupaka ispitivanja (na realnim sistemima, modelska i sl.). Na slici 14 je prikazan mali deo rezultata, dobijenih u LOMT - u, ispitivanja obradljivosti materijala na tribometru.



Slika 14. Srednja vrednost koeficijenta trenja za grupu materijala u toku 120 min ispitivanja na tribometru [2]

4. ZAKLJUČCI

Kompleksnim eksperimentalnim istraživanjima u obradi metala rezanjem se stvaraju baze podataka i znanja za razvoj i oblikovanje *tehnoloških baza podataka* (slika 15), *automatskih sistema projektovanja tehnoloških postupaka obrade* (CAPP, CAM ...) i *sistema monitoringa* (slika 16) i *upravljanja procesom obrade rezanjem*.

Sistemi monitoringa procesom obrade metala rezanjem, na primer, obezbeđuju monitoring (dijagnostiku - nadzor): procesa rezanja, reznog alata, obradnog sistema i upravljanje procesom rezanja. Osnovu čine aktivnosti: tekućeg opažanje (merenja i snimanja relevantnih parametara primenom različitih senzora), obrade podataka ili signala (akvizicija i procesiranje podataka u vremenskom i frekventnom domenu), modeliranja (definisana modela upravljanja primenom različitih tehnika, od najjednostavnijih do najsavremenijih - neuronske mreže) i odlučivanja (strategije).

$$F_l = k_{l,1,1} \cdot b \cdot h^{1-z} \quad V = C \cdot T^m \cdot a^x \cdot S^y \cdot h^u$$

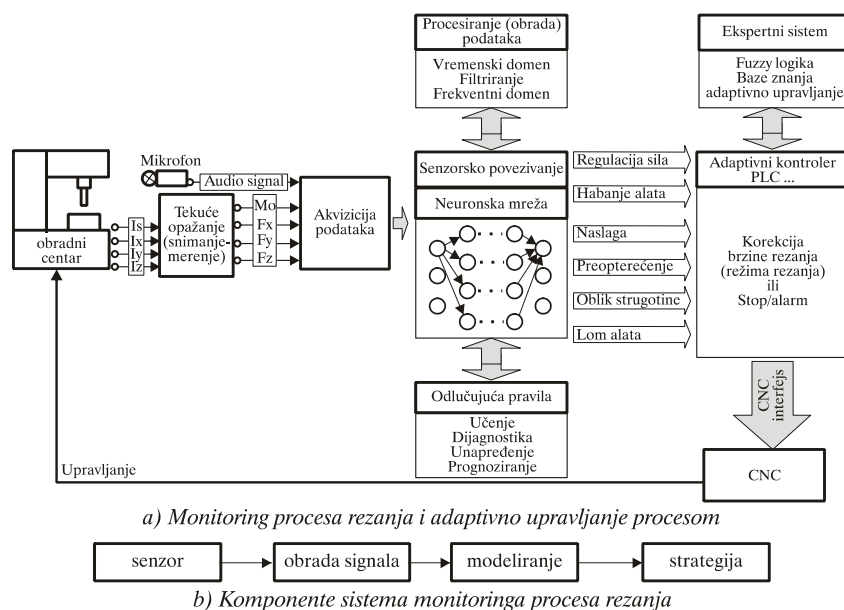
Termička obrada: poboljšano				Šifra materijala PO: 1.7225		I N
Zatezna čvrstoća: 1050 MPa		Tvrdoća: 309 HV		Materijal PO: 42CrMo 4 Č 4732		
Kvalitet površine: Grubo struganje		$k_{1,1,1}=162$	$1-z_1=0,14$	Materijal alata:		F O S
C=181		y=-0,29	x=-0,1	m=-0,14	u=0,24	
Brzina rezanja:		$V_{max}=180$ m/min	$V_{min}=180$ m/min		Oblik rezne pločice: SPUN 120308	
Rezna geom.		$\gamma=6^\circ$	$\gamma=6^\circ$	$\gamma=6^\circ$	$\gamma=6^\circ$	Napomene: Presvučeni tvrdi metal Različite oblasti obrade

Korak - pomak S, mm/o	Dubina rezanja a, mm			
	1,0	2,0	3,0	4,0
0,200	170	160	160	150
	60	120	190	250
	2	4	5	7
0,250	14	64	96	120
	160	150	150	140
	70	150	220	300
0,315	2	4	6	7
	40	75	112	140
	150	140	140	130
0,400	90	180	270	370
	3	5	7	8
	47	88	132	163
0,500	140	130	130	120
	110	220	340	450
	3	5	9	9
0,500	56	104	155	192
	130	120	120	120

Područja primene TM								
	01	10	15	20	25	30	35	40
P	█							
M	█							
K				█				

130	Brzina rezanja	V, m/min
370	Glavna sila rezanja	F ₁ , daN
8	Snaga rezanja:	P, kW
163	Proizvodnost:	cm ³ /min
	Postojanost alata:	T = 10 min
	Kriterijum zatupljenja:	h _k = 0,5 mm

Slika 15. Tabela preporučenih vrednosti parametara obrade struganjem INFOS baze podataka [4, 5]



Slika 16. Monitoring procesa i adaptivno upravljanje procesom rezanja [4, 5, 6, 7]

Prikazani primeri (slike 15 i 16) jasno i nedvosmisleno ukazuju na potrebu sistematskih kompleksnih teorijskih i eksperimentalnih istraživanja u oblasti obrade metala rezanjem.

5. LITERATURA

- [1] **Babić M.**, Doprinos istraživanju triboloških svojstava kontaktnih slojeva kroz razvoj tribometrije, *doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1994.*
- [2] **Globočki Lakić G.**, Rezultati mjerenja triboloških karakteristika grupe teškoobradivih materijala na tribometru "block on disk", *Osma internacionalna konferencija o tribologiji, Beograd, 2003.*
- [3] **Ivkić B.**, Tribologija rezanjem, sredstva za hlađenje i podmazivanje, *Građevinska knjiga, Beograd, 1979.*
- [4] **König W.**, Fertigungsverfahren, Band 1, Drehen, Fräsen, Bohren, *VDI - Verlag, Düsseldorf, 1984.*
- [5] **König W., Byrne G., usw.**, Tool Condition Monitoring (TCM), The Status of Research and industrial Application, *Annals of the CIRP, Vol. 44, 1995.*
- [6] **Kovač P., Milikić D.**, Rezanje metala, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1998.*
- [7] **Lazić M.**, Obrada metala rezanjem, monografija, *Mašinski fakultet, Kragujevac, 2002.*
- [8] **Milikić D.**, Tehnologija obrade rezanjem, *opšta i primenjena teorija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1999.*
- [9] **Nedić B.**, Razvoj metoda upravljanja procesom obrade metala rezanjem preko dinamičkih karakteristika parametara rezanja, *doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1997.*
- [10] **Tadić B.**, Modelska ispitivanja procesa istosmernog glodanja sa dinamičkog i tribološkog aspekta, *doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1997.*

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

MODELIRANJE PROCESA BUŠENJA

M. Sekulić¹⁾, D. Milikić²⁾, M. Gostimirović³⁾

Rezime: Modeliranje procesa je veoma važno kao pomoć za razumevanje procesa i rešavanje praktičnih problema. Matematički modeli bušenja za procenu aksijalne sile i obrtnog momenta su pogotovo značajni. Sile rezanja su glavni razlog problema koji se javljaju u proizvodnji, kao što su greške površine, vibracije, habanje alata. Modeli za aksijalnu silu i obrtni moment pri bušenju uglavnom su istraživani za standardne zavojne burgije. Proučavanje bušenja često je povezano sa teškoćama koje su usko povezane sa geometrijom zavojne burgije i nelinearnim karakterom obrade, pa je stoga najveći broj modela empirijskog karaktera, zasnovan na analizi eksperiment. podataka.

Ključne reči: Bušenje, obrtni moment, aksijalna sila, modeliranje

MODELING OF DRILLING

Abstract : Modeling of the machining process is very important as it us to understand the process and solve practical problems. Mathematical models of drilling to estimate thrust and torque are especially important. The cutting forces are the main reason of the problems related to drilling in manufacturing such as form and surface errors, vibration, tool wear. Models for drilling thrust and torque mainly have been investigated for standard twist drills. The study of drilling has often presented some difficulties which linked to geometry of the twist drill and non-linear character machining, therefore largest number models have empirical character, establish on experiments.

Key words: Drilling, torque, thrust force, modeling

1. UVOD

Konvencionalno bušenje je još ostalo jedan od najekonomičnijih i stoga najčešće korišćenih mašinskih procesa za izradu rupa u metalu. Obrada se široko koristi u vazduhoplovnoj i automobilske industriji. Nekoliko problema kao što su prekomerne sile, vibracije, lom burgije, formiranje grebena u metalu, raslojavanje kompozitnih materijala itd., još ograničavaju kvalitet rupe, stepen iskorišćenja i postojanost alata.

Veoma često bušenje se izvodi kao jedan od poslednjih koraka u proizvodnji nekog dela što postavlja visoke zahteve pred ovu operaciju. Ovo proizilazi iz činjenice da je obradak već podvrgnut obimnoj mašinske obradi i da već predstavlja znatnu vrednost, pošto je u njega već investirano dosta vremena i para. Stoga se traže alati za

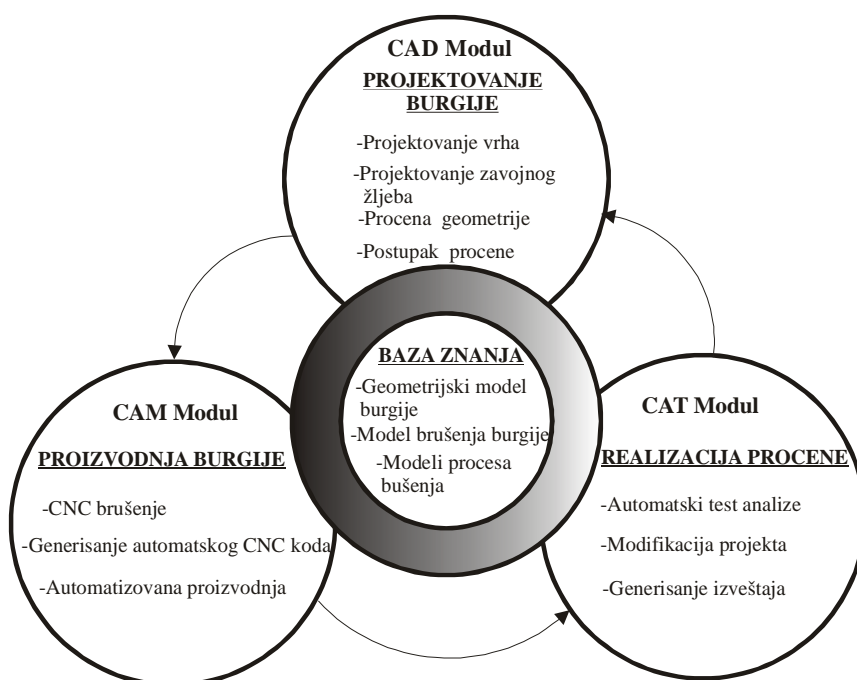
¹⁾ M. Sekulić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, milenkos@uns.ns.ac.yu

²⁾ D. Milikić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, dmilic@uns.ns.ac.yu

³⁾ M. Gostimirović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, maring@uns.ns.ac.yu

bušenje koji su sposobni da sa parametrima rezanja ostvare ekonomičnu primenu, demonstriraju visoku pouzdanost procesa i time smanje količinu otpada i skupe prepravke. Obzirom da je bušenje kompleksan proces obrade veoma male promene u geometriji burgije mogu prouzrokovati velike promene u habanju i postojanosti alata.

Ovo su sve razlozi zbog čega postoje brojne vrste materijala i geometrije alata kao i strategije bušenja. To zahteva kombinovana teoretska i eksperimentalna istraživanja i razvoj programa za razvoj kompjuterom integrisanog okruženja za automatsko projektovanje, izradu i procenu novih generacija burgija zasnovanih na uopštenim trodimenzionalnim modelima burgija i procesa bušenja. Zatvorena petlja kompjuterom integrisanog sistema za projektovanje, proizvodnju i procenu performansi burgije data je na slici 1.



Slika 1. Zatvorena petlja kompjuterom integrisanog sistema za projektovanje, proizvodnju i procenu performansi burgije [1]

Centralno mesto u ovom integrisanom sistemu zauzima baza znanja koja se sastoji od geometrijskog modela burgije, modela brušenja burgije, modela procesa bušenja i baze podataka za režime obrade. Razvoj modela procesa bušenja sastoji se od razvoja podmodela:

- Model za obrtni moment i aksijalnu silu,
- Model za distribuciju temperature rezanja duž glavnog i pomoćnog sečiva i duž ruba,
- Model za bacanje burgije, inicijalnu penetraciju i stabilnost procesa bušenja.

Modeliranje procesa bušenja je izvanredno važno, posebno u uslovima visokih brzina rezanja i velikih pomaka, koji prate masovnu proizvodnju i industrijsku automatizaciju. Prema literaturi postoji najmanje 10 različitih modela procesa bušenja. U ovom radu je prikazan pregled modela za predikciju sila rezanja i obrtnog momenta.

2. RAZVIJENI MODELI

Poslednjih decenija mnogi istraživači su sproveli veliki broj istraživanja. Bilo je puno varijacija u prilazima modeliranju glavnih mehanizama bušenja kao što je generisanje obrtnog momenta i sila. Tokom godina razvijeni su različiti mehaničko-matematički modeli za simuliranje procesa bušenja. Osnovni principi bušenja su sada dobro poznati, kao i činjenica da burgija poseduje dva tipa sečiva: glavna sečiva i pomoćno sečivo. Glavna sečiva seku materijal (odnose skoro 97% materijala) i proizvode glavnu obrtnog momenta i sile. Postoje različiti podaci o tome koliki je udeo rada glavnih sečiva, odnosno pomoćnog sečiva u ukupnom obrtnom momentu i aksijalnoj sili. U svakom slučaju, svi istraživači se slažu da rad pomoćnog sečiva više utiče na ukupnu aksijalnu silu nego na obrtni moment. Ovo je razumljivo s obzirom da je još Oxford [3] pokazao da se delovanje pomoćnog sečiva može razmotriti kao kombinacija rezanja i istiskivanja.

Proučavanje bušenja često je povezano sa teškoćama koje su usko povezane sa geometrijom zavojne burgije. Imamo tipičan trodimenzionalan proces sa kosim rezanjem. U praksi se koriste uopštene empirijske jednačine za proračun obrtnog momenta i aksijalne sile. Ove jednačine su veoma aproksimativne, zato što ne uzimaju u obzir sve parametre rezanja pri proračunu. One često samo koriste pomak i prečnik burgije. Usled kompleksne geometrije burgije i nelinearnog karaktera obrade, najveći broj modela su empirijski modeli zasnovani na analizi eksperimentalnih podataka.

2.1 Merchant-ov model

Jedan od najranijih modela sila rezanja bio je Merchant-ov model [2], primenjiv na struganje i bušenje. Koristeći zakon održanja energije Merchant je pokazao da je sila rezanja proporcionalna površini režućeg sloja, jednačina (1).

$$F = k_s \cdot A = k_s \cdot a \cdot s = k_s \cdot b \cdot h = k_c \cdot h \quad (1)$$

gde su: k_s - koeficijent koji je funkcija materijala obratka, geometrije alata i režima obrade; A - površina poprečnog preseka režućeg sloja; a - dubina rezanja; s - pomak; b - širina režućeg sloja; h - debljina režućeg sloja; k_c - koeficijent krutosti.

Kasnije su Smith i Tobias uveli udeo penetracije i varijacije brzine rezanja u jednačinu za silu rezanja i dobili:

$$F = k_c \cdot h + k_v \cdot v + k_p \cdot v_y \quad (2)$$

2.2 Model Shaw-a i Oxford-a

Jedne od najvrednijih studija su radovi Oxforda i Showa, [3] i [4]. Shaw i Oxford, razvili su jednostavne jednačine zasnovane na analogiji sa strugarskim alatima. U tim jednačinama je bio dominantan uticaj glavnih sečiva burgije. Iako su mnogi istraživači potvrdili kompleksan uticaj pomoćnog sečiva, odvojeno od procesa istiskivanja, oni su izabrali da eliminišu njegov uticaj koristeći prethodno izbušene rupe sa prečnikom jednakim širini pomoćnog sečiva. Međutim pomoćno sečivo igra važnu ulogu u globalnim performansama burgije pošto učestvuje sa oko 50-60% u ukupnoj aksijalnoj sili [6] i pomaže u regulisanju veličine rupe i tačnosti. Stoga ono mora biti razmatrano u studijama mehanizama procesa bušenja.

Specifične teškoće pri bušenju nastaju upravo zbog negativnog grudnog ugla na jezgru burgije, gde imamo kompleksan proces. Mikrofotografije koje je napravio

Oxford [3] liče na postupak rezanja sa alatom koji ima veliki negativni grudni ugao, oko -56° . Jezgro burgije usled toga više gnječi i istiskuje materijal obratka nego što ga reže. U toj zoni imamo visoku plastičnu deformaciju materijala obratka kao i izrazito velike pritisne napone. Postoje obimna teoretska i eksperimentalna istraživanja o uticaju pomoćnog sečiva i jezgra na proces bušenja, koja su potvrdila kompleksnost problema. Tako je Oxford pokazao, u njegovim istraživanjima bušenja metala [3], da pomoćno sečivo ima dve različite oblasti delovanja. Jedna je zona deformacije u blizini centra pomoćnog sečiva, a druga je ortogonalno rezanje sa izrazito negativnim grudnim uglom. Kada ocenjuju ukupnu aksijalnu silu i obrtni moment, Shaw i Oxford razmatraju tri komponente:

1. Vrednosti vezane sa procesom rezanja duž glavnih sečiva burgije
2. Vrednosti vezane sa procesom rezanja na pomoćnom sečivu
3. Vrednosti vezane sa procesom istiskivanja materijala na pomoćnom sečivu.

Tačka 3. je beznačajna za obrtni moment, ali ne i za aksijalnu silu, pošto rezultujuća sila pri operaciji istiskivanja direktno preovlađuje duž ose burgije. Prema tome ukupni obrtni moment pri bušenju može biti izražen kao:

$$M = M_{gs} + M_{ps} \quad (3)$$

gde je M_{gs} obrtni moment usled rezanja duž glavnih sečiva, a M_{ps} obrtni moment usled rezanja na pomoćnom sečivu. Ukupna aksijalna sila pri bušenju sastoji se od tri komponente:

$$F_s = F_{sgs} + F_{sps} + F_{si} \quad (4)$$

gde su F_{sgs} i F_{sps} sile usled rezanja duž glavnih sečiva i pomoćnog sečiva, a F_{si} komponenta usled istiskivanja materijala. Uzimajući u obzir sve ove komponente autori su došli do sledećih jednačina:

$$\frac{F_s}{D^2 \cdot HB} = k_1 \cdot \frac{s^{1-a}}{D^{1+a}} \left[\frac{1 - \frac{c}{D}}{\left(1 + \frac{c}{D}\right)^a} + k_2 \cdot \left(\frac{c}{D}\right)^{1-a} \right] + k_3 \cdot \left(\frac{c}{D}\right)^2 \quad (5)$$

$$\frac{M}{D^2 \cdot HB} = k_4 \cdot \frac{s^{1-a}}{D^{1+a}} \left[\frac{1 - \left(\frac{c}{D}\right)^2}{\left(1 + \frac{c}{D}\right)^a} + k_5 \cdot \left(\frac{c}{D}\right)^{2-a} \right] \quad (6)$$

gde su: F_s - aksijalna sila; M - obrtni moment; HB - tvrdoća materijala obratka; c - dužina pomoćnog sečiva; D - prečnik burgije; s - pomak; $a, k_1, k_2, k_3, k_4, k_5$ - konstante koje se određuju eksperimentalno.

Za standardne zavojne burgije vrednost c/D je konstantna ($c/d \approx 0,18$), stoga aksijalna sila i obrtni moment mogu biti izraženi kao:

$$F_s = k_1 \cdot (s \cdot D)^{1-a} + k_2 \cdot D^2 \quad (7)$$

$$M = k_3 \cdot s^{1-a} \cdot D^{2-a} \quad (8)$$

gde su k_1, k_2, k_3 nove konstante.

Ove jednačine i eksperimentalna istraživanja, koja su sproveli autori, pokazuju da kod burgija sa standardnom geometrijom ($c/d \approx 0,18$) samo oko 14% ukupnog obrtnog momenta nastaje usled rada pomoćnog sečiva. Što se tiče aksijalne sile za odnos ($c/d \approx 0,18$) udeo pomoćnog sečiva iznosi 51% od ukupne sile. Za odnos ($c/d \approx 0,24$) udeo pomoćnog sečiva u ukupnom obrtnom momentu iznosi 20%, a ukupnoj aksijalnoj sili 63%. Jednačine su takođe pokazale da promena zavojnog ugla burgije između 18° i 30° neznatno utiče na obrtni moment i silu.

S druge strane Kaczmarek-ovi radovi [5] u Evropi neznatno se razlikuju od prethodno iznetih rezultata. Njegovi eksperimentalni podaci pokazuju udeo glavnih sečiva, pomoćnog sečiva i margina (rubova) na obrtni moment i aksijalnu silu, vidi tabelu 1.

Tabela 1. Udeo glavnog i pomoćnog sečiva i margine na ak. silu i obrtni moment [5]

	Aksijalna sila	Obrtni moment
Glavna sečiva	50%	80%
Pomoćno sečivo	40%	8%
Margine	10%	12%

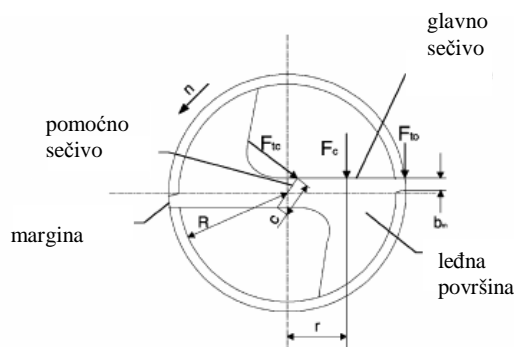
2.3 Williams-ov model bušenja

Williams je pretpostavio da se glavno sečivo može modelovati pomoću ortogonalnog rezanja ako je ono prava linija i ako je brzina pomaka neznatno povezana sa rotacionom brzinom burgije na spoljašnjem regionu glavnog sečiva ($0,5 \leq \rho \leq 1,0$). Ako je pomoćno sečivo pravo i normalno na osu burgije onda može i ono biti modelovano pomoću ortogonalnog rezanja. Obrtni moment je sastavljen od tri obrtna momenta koji nastaju na glavnom sečivu, pomoćnom sečivu i na margini (rubu).

$$M = M_{gs} + M_{ps} + M_m = F_c \cdot \frac{2}{3} D + F_{tc} \cdot c + F_{to} \cdot D \quad (9)$$

gde je: M_{gs} - obrtni moment usled dejstva glavnog sečiva; M_{ps} - obrtni moment usled dejstva pomoćnog sečiva; M_m - obrtni moment usled dejstva trenja između margine i zida rupe; F_c - glavna sila rezanja koja deluje na glavnom sečivu; F_{tc} - sila rezanja koja deluje na pomoćnom sečivu; F_{to} - sila rezanja koja deluje na margini (rubu); c - dužina pomoćnog sečiva burgije ($c \approx 0,18D$).

Ortogonalni model rezanja na spoljašnjem regionu glavnog sečiva pokazan je na slici 1.



Slika 2. Distribucija sila rezanja na zavojnoj burgiji [6]

Eksperimenti izvedeni sa oštrom zavojnom burgijom pokazuju da tri komponente obrtnog momenta M_{gs} , M_{ps} i M_m učestvuju sa 86%, 5% i 9% redom u ukupnom obrtnom momentu.

2.4 Model Stephenson-a

Neki istraživači su primenili teoriju kosog rezanja za bušenje, pomoću razlaganja sečiva burgije u male segmente, izvedeci kalkulacije za svaki segment i sabirajući rezultate (Armarego i Cheng, Armarego i Wiriyacosol, Watson). Watson je u obimnoj studiji mehanizama bušenja došao do glavnog zaključka da distribucija obrtnog momenta i aksijalne sile duž rezne ivice nije uniformna. On je zaključio da elementi blizu kraja pomoćnog sečiva najviše doprinose aksijalnoj sili i da glavninu obrtnog momenta proizvode delovi rezne ivice bliže spoljašnjem prečniku. Po njemu strugotina je duž glavnih sečiva i pomoćnog sečiva neprekidna duž njihove širine i njen kontinuitet nameće ograničenje mogućih varijacija toka strugotine duž ovih ivica.

Armarego i Wiriyacosol su primenili metod koji se sastoji u razlaganju glavnih sečiva na limitirani broj reznih elemenata. Ovi elementi pretpostavljaju da imamo kose rezne ivice na glavnim sečivima i ortogonalne rezne ivice na pomoćnom sečivu. Proračun koristi empirijske jednačine dobijene na osnovu eksperimenata pri ortogonalnom rezanju. Glavni problem kod ovog metoda je bio da se izabere broj reznih elemenata i da se odrede empirijske jednačine za neke rezne elemente.

Stephenson je razvio statički model sila za burgije sa proizvoljnom geometrijom [7]. U ovom modelu glavno sečivo je bilo razloženo u veliki broj malih segmenata i svaki element je bio modeliran pomoću teorije kosog rezanja. Postoje dve potencijalne prednosti ovakvog pristupa. Prvo, ovaj model može biti korišten kod modeliranja sila rezanja za klasu geometrija vrha burgije, pre nego za pojedinačne geometrije, pomoću podešljive promene elemenata kao funkcije radijusa. Drugo, ovaj pristup se može koristiti za istraživanje fenomena koji se dešavaju nad jednim delom rezne ivice, kao npr. prekid rupe ili asimetrija ivice, koji ne mogu biti razmatrani pomoću prilaza koji tretiraju sečivo kao celinu. Upotrebom ovog metoda brzina rezanja, debljina nedeformisane strugotine, grudni ugao i ugao nagiba mogu biti izračunati u svakoj tački duž rezne ivice burgije i upotrebljeni za proračun distribucije sila. Ovaj model omogućuje i proračun radijalne sile koja se generiše usled asimetričnosti burgije.

Elementarne sile rezanja su modelirane kao proizvod specifične sile rezanja i površine strugotine. Svaka sila je određena na sledeći način:

$$F_{ij} = F(v, h, \gamma, i) \quad (10)$$

gde je: v - brzina rezanja; h - debljina strugotine; γ - grudni ugao; i - ugao nagiba

Vrednosti obrtnog momenta i aksijalne sile se izračunavaju na sledeći način:

$$M = \sum_{ij} dM_{ij} \quad (11)$$

$$F_s = \sum_{ij} dF_{sij} \quad (12)$$

Autori su takođe definisali proceduru za određivanje koeficijenata za proračun sila rezanja koji se određuju na osnovu testova struganja. U dodatku model uključuje i funkciju korekcije zbog varijacije tvrdoće materijala obratka. Međutim, efekti pomoćnog sečiva nisu uključeni u model.

2.5 Model Chandrasekharan-a

Koristeći mehanički prilaz, Chandrasekharan i dr. razvili su model za predikciju sila rezanja, pri bušenju metala i kompozitnih materijala, duž glavnog sečiva i pomoćnog sečiva odvojeno. Oni su koristili geometrijsku sličnost burgija da formulišu jednačine za silu i obrtni moment u normalnom radijalnom koordinatnom sistemu i prema tome su uprostiti model. Ovaj mehanički model kombinuje razvijene analitičke modele za procenu dejstva reznih ivica i rezne geometrije sa dobro poznatim empirijskim modelima i upućuje komponente sile na površinu strugotine. Model koristi kao ulaze režime obrade i geometriju alata i vrši predikciju aksijalne sile i obrtnog momenta duž glavnih sečiva i pomoćnog sečiva.

Njihov model se sastoji iz dva dela. Prvi deo koristi Merchant-ov model za opisivanje sila rezanja na reznim ivicama, a drugi deo se bavi pomoćnim sečivom. Da bi omogućili određivanje empirijskih koeficijenata, autori su formulisali izražavanje specifičnih pritisaka (sila) koji odražavaju geometrijsku sličnost testova. Za određivanje empirijskih koeficijenata potrebno je sprovesti 5 testova. Sledeća jednačina omogućuje određivanje obrtnog momenta koji potiče od glavnih sečiva kada imamo bušenje sa prethodno izbušenom rupom:

$$M = \frac{C_1 \cdot R^2 \cdot s}{(b+2)} \left[\left(\frac{r(t)}{R} \right)^{b+2} - \left(\frac{r_p}{R} \right)^{b+2} \right] \cdot \frac{C_2 \cdot s \cdot w^2 \cdot \sin^2 \frac{\varphi}{2}}{2b} \cdot \left[\left(\frac{r(t)}{R} \right)^b - \left(\frac{r_p}{R} \right)^b \right] \quad (13)$$

gde je: R - radijus; φ - ugao vrha burgije; s - pomak; $2w$ - debljina jezgra; r_p - poluprečnik izbušene rupe; $r(t)$ - radijalno rastojanje proizvoljnog elementa na reznoj ivici; C_1 , C_2 , a i b - koeficijenti sile.

3. ZAKLJUČAK

Jedan od preduslova za studiju mehanike nekog procesa rezanja metala je realističan model (ili modeli) koji može biti korišten kao osnova za predikciju sila rezanja. Znači, modeliranje procesa je veoma važno kao pomoć za razumevanje procesa i rešavanje praktičnih problema. Poznavanje ovih modela omogućuje predikciju odgovarajućih sila rezanja i performansi obrade. To omogućava tehnologu ili CNC programeru da izabere odgovarajuće režime obrade daleko pre aktuelne obrade. Poznavanje sila rezanja omogućava, pored ostalog, da se odredi energetske bilans mašine alatke, izvrši proračun i dimenzionisanje elemenata kinematskog sistema mašine alatke, izvrši proračun i dimenzionisanje pomoćnog pribora, izvrši optimizacija procesa obrade, ostvari adaptivno upravljanje obradnim sistemima, odnosno inteligentno upravljanje obradnim sistemima

LITERATURA

- [1] *Drilling Technology*, MTAMRI Project University Partners and Institutional Principal Investigators, University of Illinois at Urbana-Champaign, Report, 1995..
- [2] *Merchant, M. E.*, Basic Mechanics of the Metal-Cutting Process, J. of Appl. Mech, 1944, pp. 168-175.
- [3] *Oxford, C. J.*, On the drilling of metals 1-Basic mechanics of the process, Trans. ASME 79, 1955., pp. 103-114.

- [4] *Shaw, M. C., Oxford, C. J.*, On the Drilling of Metals 2- The Torque and Thrust in Drilling, Transactions of the ASME, Vol. 79, 1957., pp. 139-148.
- [5] *Kaczmarek, J.*, Principles of Machining By Cutting, Abrasion and Erosion, Peter Peregrinus Limited, Stevanage, England, 1976.
- [6] *Williams, R. A.*, A Study of the Drilling Process, ASME J. Eng. Ind. 96, 1974, pp. 1207-1215.
- [7] *Stephenson, D.A., Agapiou, J.S.*, Calculation of main cutting edge forces and torque for drills with arbitrary point geometries, Int. J. Mach. Tools Manuf., Vol. 32, 1992, pp.521-538.
- [8] *Chandrasekharan, V., Kapoor, S.G., DeVor, R.E.*, A mechanistic approach to predicting the cutting forces in drilling: with application to fiberreinforced composite materials, J. Eng. Ind., 1995.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

KOMPLEKSNOST PROBLEMA DEFINISANJA OBRADIVOSTI MATERIJALA

G. Globočki - Lakić ¹⁾, B. Nedić ²⁾, P. Dakić ³⁾, V. Golubović – Bugarski ⁴⁾,
D. Čiča ⁵⁾

Rezime: Novi materijali koji svojim svojstvima mogu da zadovolje specifične uslove u eksploataciji su: visokolegirani i nerđajući vatrootporni čelici, legirani alatni čelici, specijalne legure na bazi nikla i kobalta, višeslojni materijali i sl. U radu je prezentovan dio rezultata ispitivanja obradivosti grupe teškoobradivih čelika u realnim uslovima rezanja na strugu sa alatima od brzoreznog čelika HSS.E i tvrdog metala bez prevlake. Obradivost je definisana sa aspekta otpora rezanja i sa aspekta habanja alata, odnosno postojanosti alata. U radu su dati novi načini definisanja obradivosti sa stanovišta potrošnje energije u obradnim procesima.

Ključne riječi: teškoobradivi čelici, obradivost, indeks obradivosti

COMPLEXITY OF DEFINING A PROBLEM OF MATERIAL MACHINABILITY

Abstract: New materials which satisfy specific exploitation conditions by its properties are: high-alloy steels and stainless fireproof steels, carbon and alloy tool steels, special alloys on the base of nickel and cobalt, multilayer and ceramics materials, and etc. Some results of investigation of machinability of difficult to cut alloyed steels, in real condition of cutting on lathe with high-speed tool steel (HSS.E) and carbide tipped tool, is presented in this paper. The machinability is defined from aspect of cutting resistance and from aspect of tool durability. This paper proposes new way of defining of machinability from the aspect of energy consumption in machining process.

Key words: difficult to cut steels, machinability, index of machinability

1. UVOD

Savremeni razvoj materijala praćen je intenzivnim naučnim istraživanjima u svim oblastima, a posebno u oblasti automobilske i vazduhoplovne industrije, nuklearne i raketne tehnike, procesne tehnike, elektronike. Ova istraživanja su uslovala široku

¹⁾ Doc. dr Gordana Globočki - Lakić, Mašinski fakultet, Banja Luka, BiH, Republika Srpska, gnm@urc.bl.ac.yu

²⁾ Prof. dr Bogdan Nedić, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, nedic@kg.ac.yu

³⁾ Prof. dr Pantelija Dakić, Mašinski fakultet, Banja Luka, BiH, Republika Srpska, gnm@urc.bl.ac.yu

⁴⁾ Doc. dr Valentina Golubović – Bugarski, Mašinski fakultet, Banja Luka, BiH, Republika Srpska, gnm@urc.bl.ac.yu

⁵⁾ Čiča Đorđe, Mašinski fakultet Banja Luka, BiH, Republika Srpska

primjenu novih materijala koji posjeduju takva svojstva koja mogu da odgovore specifičnim zahtjevima u eksploataciji. Obradivost rezanjem teškoobradivih materijala prvenstveno zavisi od njihovog hemijskog sastava. Najčešće korišteni teškoobradivi materijali i legure su: vatrootporni i nerđajući Cr - Ni čelici, legirani alatni čelici, visokovatrootporne legure Ni i Co, kao i legure Ti. Pojave koje su uzrok loše obradivosti ovih materijala su:

- Intenzivno habanje alata i pri malim brzinama rezanja,
- Veoma veliko termičko opterećenje alata zbog visokih temperatura u zoni rezanja,
- Prisutni veliki otpori i mehaničko opterećenje alata,
- Veoma izražena sklonost ka formiranju naslage na grudnoj površini alata,
- Dinamičko opterećenje alata (pojava zamora i krzanje sječiva alata),
- Sklonost ka formiranju trakaste strugotine koja je posljedica velike žilavosti većine ovih čelika.

Izbor materijala alata pri obradi teškoobradivih čelika je vrlo bitan jer se njihova obrada može izvesti samo alatima izrađenim od savremenih alatnih materijala koji imaju visoku čvrstoću, toplotnu otpornost i otpornost na habanje pri radu na visokim temperaturama. Najviše korišteni alati su još uvijek tvrdi metal povišene čvrstoće i brzorezni čelik (za manje brzine rezanja). Ovi materijali se neprekidno usavršavaju da bi se što efikasnije koristili pri obradi teškoobradivih čelika.

2. EKSPERIMENTALNI PROGRAM I USLOVI ISPITIVANJA

Pojam obradivost materijala je vrlo složen i razmatra se istovremeno sa više aspekata i u različitim uslovima obrade. Uticajni faktori na obradivost su prvenstveno vezani za mehanička, strukturna i termička svojstva obrađivanog materijala i manifestuju se kroz izlazne parametre procesa obrade (habanje alata, otpori rezanja, kvalitet obrađene površine i dr.). Kriterijumi za ocjenu obradivosti materijala predmeta obrade mogu se formirati na osnovu: postojanosti alata, ekonomične brzine rezanja, troškova obrade, otpora rezanja, temperature rezanja, parametara hrapavosti obrađene površine, stanja materijala u površinskim slojevima predmeta obrade i dr. Kao mjera obradivosti materijala, prema nekom od pomenutih kriterijuma, koristi se indeks obradivosti. Ključni problem pri definisanju indeksa obradivosti sa energetskog aspekta jeste izbor nivoa opterećenja na kome će se vršiti poređenje. U cilju eliminisanja ovog problema korišten je model prema kome se dolazi do integralnog pokazatelja obradivosti sa energetskog aspekta. Model je baziran na regresionim jednačinama koje definišu vezu otpora rezanja i parametara obrade, uz korištenje odgovarajućih energetskih jednačina. Na ovaj način obradivost se definiše na osnovu srednjeg otpora rezanja koji se dobije iz regresionih jednačina zavisnosti otpora rezanja i parametara režima obrade.

$$I^{(k)} = \frac{\int_{a_1}^{a_2} \int_{s_1}^{s_2} \int_{v_1}^{v_2} F_1^{(r)}(a, s, v) da ds dv}{\int_{a_1}^{a_2} \int_{s_1}^{s_2} \int_{v_1}^{v_2} F_1^{(k)}(a, s, v) da ds dv} \cdot 100\%, \quad \text{gdje su:}$$

$F_1^{(r)}(a, s, v)$ - korelativna veza glavnog otpora rezanja i parametara režima rezanja za referentni materijal; $F_1^{(k)}(a, s, v)$ - korelativna veza glavnog otpora rezanja i parametara režima rezanja za k -ti materijal.

Ostali uslovi ispitivanja (alat, SHP, ...) su potpuno identični za oba materijala.

Prilikom definisanja obradivosti sa ekonomskog aspekta, krive habanja alata su aproksimirane polinomnom funkcijom trećeg stepena koja daje jedinstvenu zavisnost u sve tri faze habanja i vrlo je pogodna za dalju obradu,

$$h = C_1T + C_2T^2 + C_3T^3.$$

Na osnovu eksperimentalno određenih krivih habanja alata za grupu ispitivanih čelika definisane su vrijednosti postojanosti alata za određene uslove obrade, pri usvojenom kriterijumu pohabanosti alata. Indeks obradivosti sa aspekta postojanosti alata definisan je izrazom:

$$I_i = (T_i/T_r) \cdot 100 \%, \text{ gdje su:}$$

I_i - indeks obradivosti i -tog materijala sa aspekta postojanosti;

T_i - postojanost i -tog materijala za usvojeni kriterijum pohabanosti alata;

T_r - postojanost r -tog (referentnog) materijala za isti kriterijum pohabanosti alata.

Eksperimentalni program je izveden u sljedećim uslovima:

Ispitivani materijali: grupa teškoobradivih materijala: Č3840 (Merilo) 248 HB; Č4150 (OCR 12) 277 HB; Č5430 poboljšan 40 HRC; Č5742 (Utop extra 1) 258 HB; Č7680 (HSS) 299 HB.

Rezni alati: alati od brzoreznog čelika - Č9780 (HSS.E): strugarski nož JUS ISO 10 (16x25x250 E18 Co10) sa geometrijom: $\gamma=6^\circ$; $\alpha=8^\circ$; $\lambda=0^\circ$; $\chi=45^\circ$; $\chi_1=45^\circ$; $r=1$ mm.

- alati sa pločicama od tvrdog metala: pločica: SPGR 120308 PGP - 135 (P35), PP CORUN; nosač alata: CSDPR 2516 M12, KENAMETAL

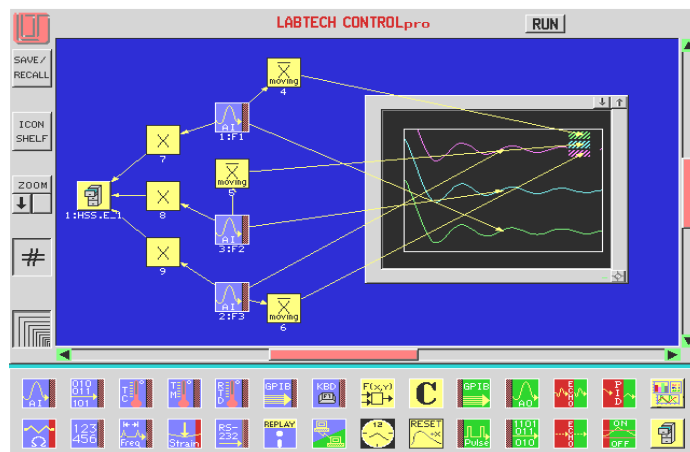
Mašina: univerzalni strug, Prvomajska, 10 kW,

SHP: rezo ulje ISO 22

Režimi ispitivanja sa alatom od HSS.E: dubina rezanja 0,5 mm; korak 0,112 i 0,14 mm/o; brzina rezanja 20 i 40 m/min.

Režimi rada sa alatom od TM: dubina rezanja 0,5 i 1,0 mm; korak 0,14, 0,18 i 0,25 mm/o; brzina rezanja 60 i 100 m/min.

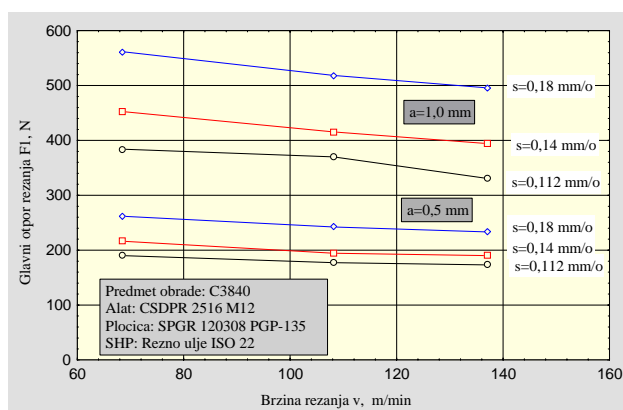
Mjerna oprema: trokomponentni dinamometr KISTLER, mjerni pojačivač KISTLER, AD pretvarač Burb Brown i računar. Za mjerenje signala sve tri komponente otpora rezanja urađena je korisnička aplikacija u LT/CONTROL-u (slika 1).



Slika 1. Korisnička aplikacija za mjerenje otpora rezanja

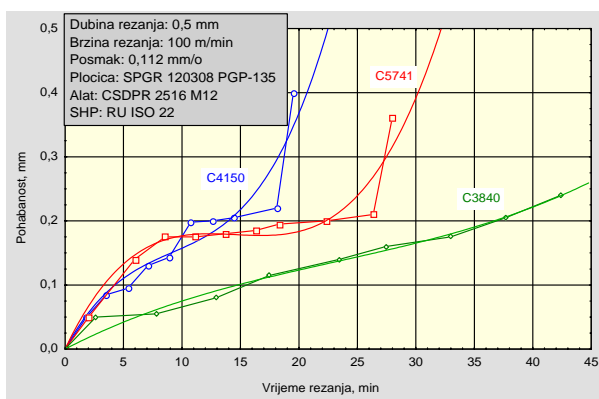
3. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISPITIVANJA

Obrada snimljenih signala sve tri komponente otpora rezanja za sve ispitivane materijale je vršena primjenom programskog paketa STATISTIKA verzija 5.0.(slika 2.)



Slika 2. Primjer promjene F_1 u zavisnosti od režima obrade pri obradi sa alatom od TM

Realizovana ispitivanja su bila u uslovima manjih poprečnih presjeka strugotine (manje vrijednosti koraka i dubine rezanja) pa je dominantno habanje bilo po leđnoj površini alata u vidu pohabanog pojasa određene širine. Kod utvrđivanja kriterijuma zatupljenja alata vodilo se računa o nizu bitnih parametra koji moraju biti zadovoljeni (tačnost obrade, hrapavost površine, izbjegavanje visokog stepena habanja alata koje dovodi do krzanja i loma alata, itd.). Kriterijum zatupljenja alata pri radu sa alatom od brzoreznog čelika je usvojen 0,3 mm, a pri radu sa alatom od tvrdog metala bez prevlake je usvojena vrijednost 0,2 mm. Osnovni razlog za ovako usvojene kriterijume pohabanosti je intenzivno habanje alata od brzoreznog čelika i veoma usporeno habanje alata od tvrdog metala. Povećanje kriterijuma pohabanosti bi zahtijevalo daleko veće količine materijala predmeta obrade za eksperimentalna ispitivanja i isto tako znatno duže vrijeme ispitivanja.



Slika.3. Primjer eksperimentalnih krivih habanja alata od TM bez prevlake

4. ANALIZA REZULTATA

Izmjerene vrijednosti otpora rezanja su dobijene u uslovima promjenljivih režima obrade, za različite materijale predmeta obrade i različite materijale alata. Statističkom obradom rezultata mjerenja dobijene su jednačine regresije, odnosno izrazi za proračun pojedinih komponenti rezultujućeg otpora rezanja.

Polazeći od prethodno definisanog pojma obradivosti, određeni su indeksi obradivosti za ispitivane materijale. Obradivost je definisana sa aspekta otpora rezanja i sa aspekta habanja alata, odnosno postojanosti alata. Pri tome je obradivost definisana na osnovu mjerenja samo jedne vrijednosti otpora rezanja za tačno izabrane režime rezanja kod ispitivanog i referentnog materijala (režim rada u kome su određivane krive habanja alata) i isto tako na osnovu korelativnih zavisnosti mjerene veličine i uslova ispitivanja.

U cilju kvalitetne analize i poređenja ispitivanih materijala, obradivost je definisana preko:

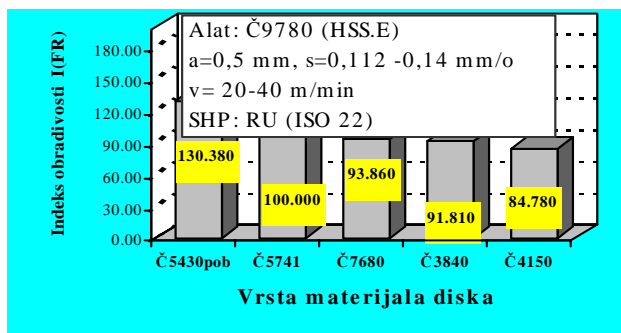
- glavnog otpora rezanja F_1 ,
- otpora prodiranja F_2 ,
- otpora posmičnog kretanju F_3 ,
- rezultujućeg otpora rezanja F_R ; $F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}$
- rezultante otpora prodiranja i posmičnog kretanja - $F_{R2,3}$; $F_{R2,3} = \sqrt{F_2^2 + F_3^2}$
- koeficijenta odnosa φ rezultante $F_{R2,3}$ i glavnog otpora rezanja F_1 ; $\varphi = \frac{F_{R2,3}}{F_1}$.

U slučaju ispitivanja obradivosti teškoobradivih materijala, vrlo je važno obradivost definisati preko rezultujućeg otpora rezanja F_R jer on u sebi obuhvata energiju koja je potrebna za savlađivanje otpora trenja na grudnoj i leđnoj površini reznog klina alata, otpor materijala plastičnom i elastičnom deformisanju kao i energiju potrebnu sa savlađivanje unutrašnjeg trenja u materijalu. Obradivost je definisana preko otpora F_R i preko rezultante otpora prodiranja i otpora pomoćnom kretanju - $F_{R2,3}$ upravo iz razloga što su otpori F_2 i F_3 pri ispitivanju kod nekih materijala imali dosta visoke vrijednosti ponekad vrlo bliske vrijednosti F_1 (npr. pri obradi Č5741, Č4150 i Č7680 sa alatom od TM). Posebno je interesantna analiza indeksa obradivosti sa aspekta koeficijenta odnosa φ jer on u sebi sadrži znatan dio koeficijenta trenja na leđnoj površini alata, pa je takva analiza interesantna sa aspekta istraživanja triboloških procesa u zoni rezanja. Sva ispitivanja otpora rezanja su vršena sa vrijednošću napadnog ugla χ od 45 °, što znači da pri rezanju, pored otpora F_2 , značajan uticaj ima i otpor F_3 . U svim slučajevima određivanja indeksa obradivosti, za referentni materijal je usvojen Č5741 (Utop extra 1)

4.1 Indeksi obradivosti sa aspekta otpora rezanja pri obradi grupe čelika sa alatom od HSS.E

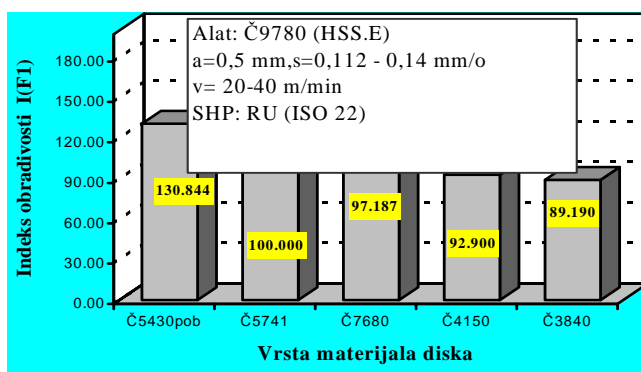
U cilju poređenja obradivosti materijala za određenu oblast variranih režima izračunate su srednje vrijednosti otpora rezanja korištenjem trostrukog integrala

$$F_{i,sr} = \int_{a_1}^{a_2} \int_{s_1}^{s_2} \int_{v_1}^{v_2} F_i(a, s, v) da ds dv .$$

Slika 4. Indeksi obradivosti sa aspekta srednje vrijednosti F_R

Na osnovu određenih indeksa obradivosti prema izmjerenim ili izračunatim vrijednostima otpora rezanja, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

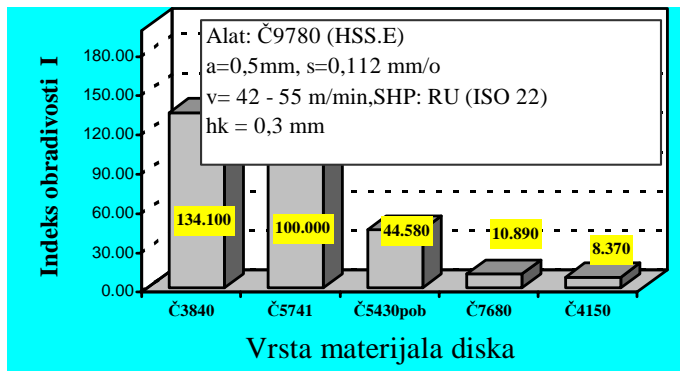
- Nije uočena značajnija razlika između vrijednosti indeksa obradivosti određenih za konkretne režime obrade i indeksa obradivosti određenih na osnovu srednjih vrijednosti otpora rezanja u posmatranom opsegu režima obrade.
- Poređenjem ispitivanih materijala preko indeksa obradivosti može se zaključiti da najlošiju obradivost sa aspekta veličina F_2 , F_3 , F_R , $F_{R2,3}$ i φ ima Č4150, a najbolju Č5430 u poboljšanom stanju. Najlošiju obradivost izraženu preko glavnog otpora rezanja F_1 ima Č3840, a najbolju Č5430 u poboljšanom stanju.

Slika 5. Indeksi obradivosti sa aspekta srednje vrijednosti F_I

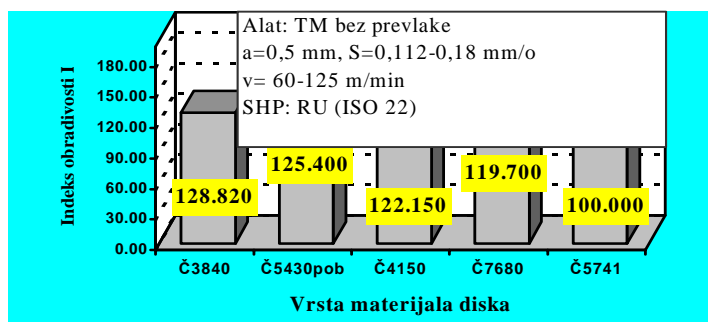
4.2 Indeksi obradivosti sa aspekta otpora rezanja pri obradi sa alatom od TM bez prevlake

Kao i u slučaju obrade sa alatom od (HSS.E), indeksi obradivosti za obradu istih materijala sa alatom od TM bez prevlake su određeni na dva prethodno pomenuta načina. Indeksi obradivosti su posebno razmatrani za dvije dubine rezanja (0,5 i 1,0 mm) i analiza rezultata je pokazala da dubina rezanja nema značajnijeg uticaja na obradivost materijala sa aspekta otpora rezanja. Za uslove ispitivanja sa dubinom rezanja 0,5 mm najlošiju obradivost izraženu preko svih parametara (F_1 , F_2 , F_3 , F_R , $F_{R2,3}$ i φ) pokazuje Č5741 i Č7680, a najbolju Č5430 u poboljšanom stanju i Č3840. Ovaj zaključak važi i za slučaj određivanja indeksa obradivosti za konkretne uslove obrade

struganjem i za slučaj određivanja indeksa obradivosti sa aspekta srednjih vrijednosti otpora rezanja. U uslovima ispitivanja sa dubinom rezanja 1,0 mm najlošiju obradivost izraženu preko većine parametara (F_2 , F_3 , F_R , $F_{R2,3}$ i φ) pokazuje Č5741 i Č7680, a najbolju Č5430 u poboljšanom stanju. Treba posebno naglasiti da su vrijednosti indeksa obradivosti za čelike Č7680, Č4150 i Č3840 vrlo bliske (gotovo iste), prema svim pokazateljima bez obzira sa kog aspekta su vršena poređenja materijala.

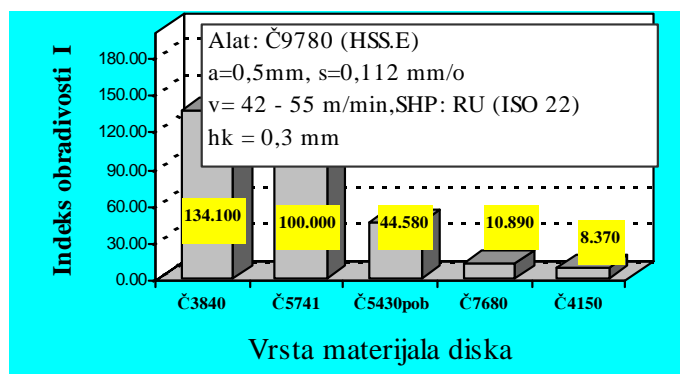


Slika 6. Indeksi obradivosti sa aspekta srednje vrijednosti F_R pri radu sa alatom od TM



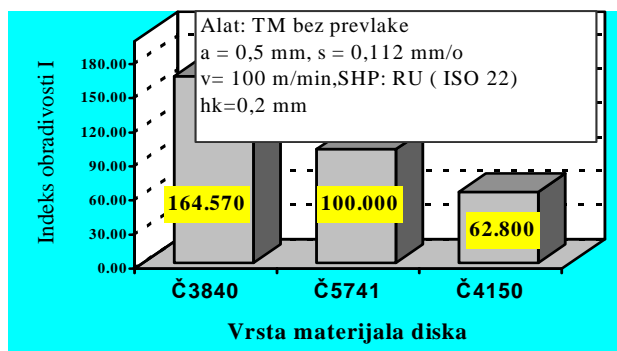
Slika 7. Indeksi obradivosti sa aspekta srednje vrijednosti koeficijentu odnosa φ pri radu sa alatom od TM

4.3 Indeksi obradivosti sa aspekta habanja alata



Slika 8. Indeksi obradivosti sa aspekta postojanosti alata pri obradi sa alatom od HSS.E

Prilikom ispitivanja habanja alata praćena je promjena širine pojasa habanja na leđnoj površini strugarskog noža od brzoreznog čelika Č9780 - HSS.E i pločice od tvrdog metala. Prilikom ispitivanja sa grupom čelika pri obradi sa alatom od HSS.E je korišteno SHP - režno ulje ISO 22 - Modriča. Na osnovu eksperimentalno određenih krivih habanja za grupu ispitivanih materijala definisane su vrijednosti postojanosti alata za konkretne uslove obrade, pri usvojenom kriterijumu pohabanosti alata. Za usvojeni referentni materijal Č5741, određeni su indeksi obradivosti sa aspekta postojanosti alata odnosno habanja alata.



Slika 9. Indeksi obradivosti sa aspekta postojanosti alata pri radu sa alatom od TM

5. ZAKLJUČAK

Obzirom da su podaci o obradivosti teškoobradivih legiranih čelika vrlo oskudni u literaturi, rezultati ovih ispitivanja predstavljaju podlogu za dalja ispitivanja u ovoj oblasti i formiranje baze znanja o obradivosti teškoobradivih materijala zasnovane na uspostavljanju korelativnih veza između izlaznih i ulaznih parametara procesa, odnosno zavisnosti parametara habanja alata, otpora rezanja, postojanosti alata, hrapavosti obrađene površine i temperature rezanja od elemenata režima rezanja, geometrije alata i drugih ulaznih parametara procesa.

Predloženi novi način definisanja indeksa obradivosti sa aspekta potrošnje energije u obradnim procesima ukazuje na potrebu daljeg izučavanja mogućnosti primjene indeksa obradivosti ne samo sa aspekta glavnog otpora rezanja već i sa aspekta rezultujuće otpora rezanja, koeficijenta odnosa φ , radijalne komponente otpora rezanja i drugih parametara koji se mogu izvesti koristeći rezultate merenja komponenti otpora rezanja. Svakako da treba istraživati i primjenu niza drugih načina za definisanje obradivosti novih materijala, kao što je npr. indeks obradivosti sa aspekta temperature rezanja, hrapavosti obrađene površine itd.

LITERATURA

- [1] Lazić, M., Nedić, B., Mitrović, S., Tehnologija obrade metala, izbor režima obrade, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Jugoslovensko društvo za tribologiju, (ISBN 86-80581-46-1), Kragujevac, 2002. - s. 234.
- [2] Lakić Globočki, G., Identifikacija triboloških procesa u zoni rezanja grupe teškoobradivih materijala i aluminijumskih legura, doktorska disertacija, Banjaluka, 2004.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

ODREĐIVANJE TEMPERATURE REZANJA METODOM KONAČNIH ELEMENATA

I. Milutinović¹⁾, M. Sokić²⁾, S. Aksentijević³⁾

Rezime. Obrada rezanjem je složen tehnološki proces, koga uslovljava i ograničava veliki broj parametara. Optimizacija procesa zahteva da se utvrde takvi uslovi obrade koji obezbeđuju traženi kvalitet brušene površine, uz tačnost oblika i dimenzija, a pri kojima se troškovi obrade svode na minimum. To podrazumeva optimalni izbor svih parametara koji utiču na proces rezanja. Postojanost alata koja je neraskidivo vezana sa temperaturama rezanja je jedan od najznačajnijih. Osnovni cilj rada usmeren je na izučavanje zakomernosti nastajanja i raspodele toplote u predmetu obrade i alatu, odnosno definisanju modela za proračun temperature brušenja korišćenjem metode konačnih elemenata (MKE).

Ključne reči: brušenje, temperatura, metoda konačnih elemenata

CUTTING TEMPERATURE DETERMINATION BY THE FINAL ELEMENTS METHOD

Abstract. Cutting is a complex technological process, conditioned and limited by a number of parameters. The process optimization requires that the machining conditions providing a required quality of a grinded surface with exact shape and dimensions be established, and that the machining costs be reduced to a minimum. It encompasses an optimal choice of all the parameters influencing the cutting process. One of the cutting temperatures, is steadiness of the tools. This work is basically aimed to define the causes and consequences for introduction and distribution of the heat both in the subject of machining and in the tool, i. e. to define the model to be used for the grinding temperature calculation by means of the final elements method (MKE).

1. UVOD

Uvažavajući dosadašnja istraživanja mora se konstatovati nedostatak egzaktne analitičko - termodinamičke interpretacije o promeni temperature po dubini graničnog sloja. Ovo se posebno odnosi na definisanje temperaturnog gradijenta ($^{\circ}\text{C}/\text{sec}$) pri brušenju i njegovog uticaja na razaranje ili pucanje tvrdog metala kao reznog alata. Jedno je sigurno, da izvor toplote i temperature u svakoj tački predmeta obrade zavise od snage toplotnog potoka (q), toplotnih karakteristika predmeta obrade (a), vremena delovanja toplotnog izvora (r) i koordinata te tačke (x, y, z):

¹⁾ Dr Ivan Milutinović, Viša poslovno tehnička škola; vptsuzice@eunet.yu

²⁾ Dr Milivoje Sokić, Viša poslovno tehnička škola; vptsuzice@eunet.yu

³⁾ Mr Snežana Aksentijević, Viša poslovno tehnička škola; vptsuzice@eunet.yu

$$T = f(q, a, x, y, z, T)$$

Zato je osnovni cilj rada usmeren na izučavanje zakonitosti nastajanja i raspodele toplote srednje i uticaja temperaturnog režima na mikrostrukturu predmeta obrade s druge strane, takav pristup bi trebao da otkrije suštinu nastanka mnogih pojava u procesu rezanja i ukaže na puteve za poboljšanje rezne sposobnosti (i postojanosti) alata, puteve izbora optimalnih režima rezanja i kvaliteta obrađene površine u svetlu minimalnih troškova obrade.

2. UTVRĐIVANJE TEMPERATURNOG POLJA PRI BRUŠENJU SA HLAĐENJEM

Ispitivanja pokazuju da se na poboljšanje toplotnog režima brušenja može značajno delovati primenom adekvatne vrste i koncentracije sredstava za hlađenje i podmazivanje (Shp).

Danas se većina operacija brušenja obavlja uz primenu mlaza rashladno podmazujuće tečnosti koja se razliva preko cele površine predmeta obrade. Ovo se izvodi iz nekoliko razloga [4]:

- da se smanji trenje u zoni kontakta tocila sa materijalom predmeta obrade (pri čemu se stvara zaštitni film maziva na brusnim zrnima), čime se smanjuje i količina generisane toplote u zoni rezanja,
- da se hladi tocilo i predmet obrade odvođenjem generisane toplote iz zone rezanja, čime se smanjuje njen uticaj na defekte brušenja,
- da se ispiranjem odvedu strugotina i čestice abraziva i veziva iz zone rezanja, i
- da se omogući čišćenje pora tocila od abrazivnih i metalnih otpadaka (smanjenje nalepa na radnoj površini tocila).

Korišćenjem Shp smanjuje se trošenje tocila i povećava njegova postojanost, snižavaju se otpori i temperature rezanja, a poboljšava tačnost i kvalitet obrađene površine. Rashladno podmazujuća, sredstva smanjuju energiju brušenja (smanjuju jačinu toplotnog izvora) za 10-25% što zavisi od koeficijenta prenošenja (konvekcije) toplote, tj. od osobina Shp (sposobnosti hlađenja i podmazivanja i dr.).

Efikasnost hlađenja (smanjenje otpora rezanja, čišćenje radne površine tocila) zavisi od uslova hlađenja (vrsta, količina i pritisak Shp), uslova obrade (režim brušenja, karakteristika tocila i predmeta obrade) i načina dovođenja Shp u zonu brušenja (slobodnim i dovođenjem pod pritiskom, hidrodinamičkim i postupkom dovođenja kroz pore tocila, ili nanošenjem na površinu obrade kontaktnim postupkom).

U takvim uslovima, UKUPNA TEMPERATURA PREDMETA OBRADE (u bilo kojoj tački) jednaka je:

$$T_c(x,y) = (T_s + T_{I_s} + T_{sh}) + (T_v + T_{I_v} + T_{vh}) \quad (1)$$

gde je: T_s - temperatura površinskog toplotnog izvora,
 T_{I_s} - temperatura površinskog toplotnog izvora jednog zrna,
 T_{sh} - temperturni efekt hlađenja površinskog toplotnog izvora,
 T_v - temperatura zapreminskog toplotnog izvora jednog zrna,
 T_{vh} - temperturni efekt hlađenja zapreminskog toplotnog izvora.

Za poređenje između izračunatih (T_c) i izmerenih (T_e) temperatura, potrebno je izračunati stvarne parametre brušenja (brzinu tocila, brzinu radnog stola, sile brušenja koeficijente toplotne provodljivosti i dr.) koji se mogu odrediti sa razumnom tačnošću.

Koeficijent frakcije energije (ω_1 i ω_2) i koeficijent konvekcije (h) nisu direktno merljivi. Ako se njihove vrednosti pretpostave, temperature se mogu tačno izračunati i

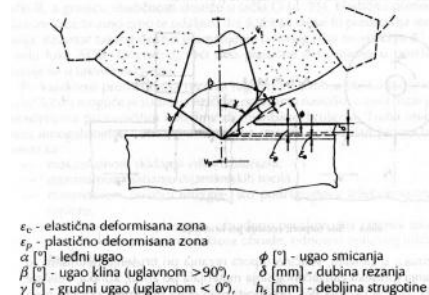
na tačno istim mestima na kojima su temperature izmerene. Ako su korišćene tačne vrednosti, razlika: $T_e - T_c = 0$ bi trebala da bude u svim tačkama. Zbog eksperimentalnih grešaka i neizvesnosti matematičkog modela, razlika $T_e - T_c \neq 0$ za bilo koji sistem ω_1, ω_2, h . Zato je moguće naći komplet sistema koji se svodi na minimum zbira: $S = \sum (T_e - T_c)^2$. Nakon ovakve optimizacije, moguće je izračunati temperature u interfaci tocilo-predmet obrade i u ravni obrađene površine.

3. PRORAČUN TEMPERATURNIH POLJA PRI BRUŠENJU TVRDOG METALA

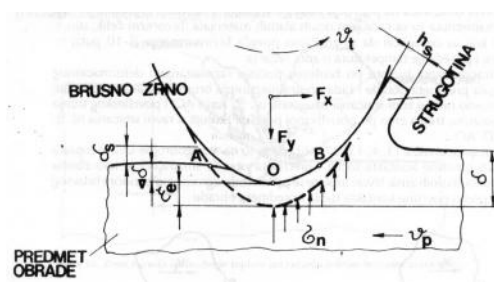
Za opisivanje realnih toplotnih procesa pri brušenju nužna je njegova matematička interpretacija. Ispunjenje uslova jednoznačnosti mora biti dopunjeno početnim i graničnim uslovima. Uslovi na granici brusno zрно - predmet obrade zavise od njegovog oblika, sastava površine, mogućnosti deformacije, načina hlađenja i sl.

Metod konačnih elemenata (MKE). Ovaj metod je generalna numerička procedura za rešavanje parcijalnih diferencijalnih jednačina fizike i inženjerstva. Primenjiv je na probleme koji se opisuju Laplace-ovim i Poisson-ovim jednačinama, jer su te jednačine povezane sa minimizacijom funkcionala. Osnovni koncept MKE je da se neka veličina (temperatura, pritisak, električni-magnetni potencijal, naponsko stanje, oblici oscilovanja, temperaturni naponi) aproksimira diskretnim modelom sastavljenim od seta komada kontinualne funkcije definisanog preko konačnog broja subdomena. Diskretizacija domena nema teorijsku bazu, ona zavisi od inženjerskog ubeđenja. Ako su fizičke konstante nepromenljive onda se ovaj metod može primeniti na izotropne, anizotropne i na delove složenog oblika. Njegova aplikacija i kompjuterska implementacija čine ovaj metod vrlo pogodnim za rešavanje složenih jednačina toplotne provodljivosti preko elektronskog računara.

Polazeći od dokaza: "da se efektivnost procesa brušenja može obezbediti kontrolisanjem temperatura i sila rezanja" **razvili smo odgovarajući model brušenja** (slike 1 i 2) uz odgovarajuću adaptaciju ka metodi konačnih elemenata.



Slika 1. Proces formiranja strugotine mikrozrezanje u jednoj tački



Slika 2. Model procesa brušenja

Proračun temperaturnih polja u predmetu obrade radi se tako što zonu kontakta dijamantskog zrna sa predmetom obrade posmatramo kao ravni (sl. 3) sa ravnomerno raspoređenim toplotnim fluksom. Zanemarivanjem toplotnog uticaja na brusna zrna, vezivo i strugotinu čini se izvesno uprošćenje koje ipak ne menja realnu sliku procesa. Zakon raspodele gustine toplotnog potoka u zoni kontakta nema suštinskog uticaja na konačni rezultat, pa se s pravom može smatrati ravnomernim.

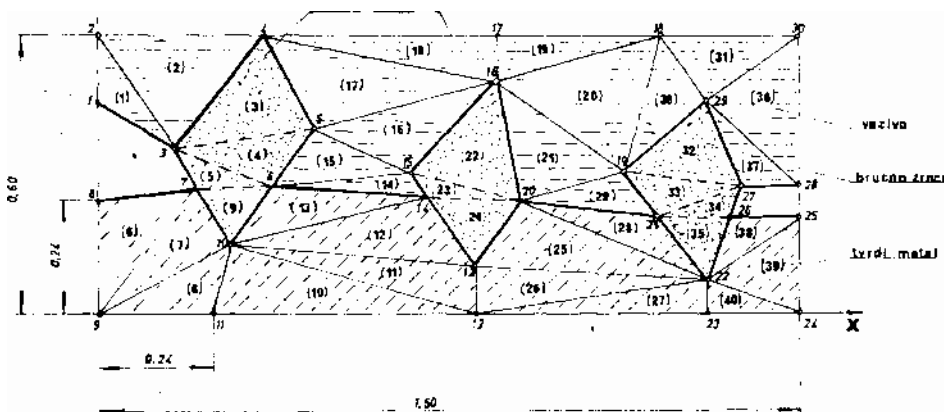
Gustina toplotnog fluksa može se odrediti i eksperimentalno. Pri tom se koriste dve metode:

- a) po osnovu izmerenih tangencijalnih sila i brzina rezanja (F_z , V_t) koje određuju snagu toplotnog izvora u zoni kontakta:

$$Q = F_z \times V_t \quad [J] \quad (2)$$

- b) po osnovu izmerene razlike efektivne snage toplotnog izvora u radnom i povratnom hodu procesa brušenja.

Metod konačnih elemenata (MKE) predstavlja savremen, moderan i efikasan metod za numeričko rešavanje inženjerskih i drugih problema uz primenu računara. Veoma jednostavnom fizičkom interpretacijom (kao što smo predstavili na slici 3) i prikazanim matematičkim modelom (j-ne 3-5). Tako se vrši se diskretizacija određenog prostora (koji može imati beskonačni broj stepena slobode) sa skupom elemenata pravilnog geometrijskog oblika uz svođenje na konačan broj stepeni slobode i optimizaciju posmatranog procesa brušenja.



Slika 3. Određivanje kontaktne temperature brušenja metodom konačnih elemenata (MKE)

U cilju provere postavljenog modela primenjena je matematička teorija planiranja višefaktornog eksperimenta u kojima su, kao izlazni parametri posmatrani (slika 4):

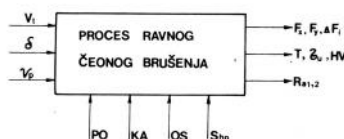
- a) T , $^{\circ}C$, σ_u , N/mm^2 - kontaktne temperature i korespondentni zaostali naponi u površinskom sloju predmeta obrade, odnosno izmena mikrotvrdoće
- b) ΔF_i , N - veličine i varijacije otpora brušenja, odnosno utrošene energije
- c) $Ra_{1,2}$, μm - hrapavost obrađene površine u pravcu glavnog (Ra_1) i pomoćnog kretanja (Ra_2)

Istraživanja pokazuju da ovi parametri zavise prevažashodno od režima brušenja:

V_t , m/sec - brzine rezanja (brušenja)

δ , mm - dubine brušenja i

V_p , mm/min - brzine pomoćnog kretanja (pri ravnom čeonom brušenju),



Slika 4. Kibernetički princip modeliranja procesa brušenja

Da bi se tražene zavisnosti definisale posmatrali smo proces brušenja u uslovima konstatnih veličina (slika 4):

- PO - fizičko-mehaničkih karakteristika predmeta obrade,
- KA - karakteristika alata,
- OS - dinamičkog stanja obradnog sistema,
- Shp - rashladno-podmazujućih sredstava.

Kod planiranja eksperimenata, uključujući i broj opita, korišćen je metod višefaktornog eksperimenta koji bazira na statističkim metodama uz primenu matrice algebre. Shodno tome, izvršeno je kodiranje veličina parametara režima obrade koji su varirani u toku izvođenja eksperimenta u originalnoj plan matrici formiranoj pomoću latinskog kuba broja eksperimenata. Redosled izvođenja pojedinih eksperimenata određen je pomoću tablice slučajnih brojeva.

Plan matrica potpunog tro-faktornog eksperimenta $N = 2^k + n_0$, tj. $N = 2^3 + 4 = 12$.

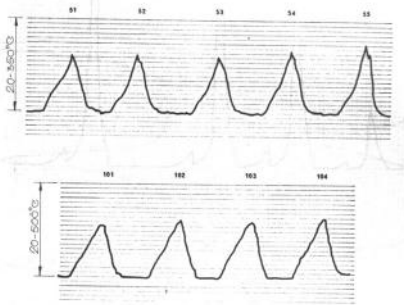
Svi eksperimenti vršeni su na pločicama od tvrdog metala, tipa SGN 120304 grupe K u dva kvaliteta: K13A i K20.

Polazeći od cilja istraživanja, uzeli smo odgovarajuće mešavine praha, utvrdili njegov težinski sastav i osobine i od tog praha uradili otpreske, proverili parametre presovanja i nakon toga, sinterovanjem dobili odgovarajuće radne komade. Od svake podgrupe izabrali smo po 12 komada koje smo dalje obrađivali brušenjem.

Za zapisivanje signala temperature brušenja korišćen je dvanaesto – kanalni pisač "Vizikorder", sa osetljivim galvanometrom i sistemom napajanja - "Vibrator", Lenjingrad.

Analizom dobijenih oscilograma (zapisa) moguće je dati adekvatnu ocenu o:

- a) Uticaju vremena dejstva izvora toplote (r) na veličinu temperaturnog polja;
- b) Uticaju režima brusenja (i promena) na temperaturno polje i njegove promene;
- c) Uticaju temperatura, odnosno termičkog stanja na izmene strukture (fazno - strukturne promene), mikrotvrdoću i veličine vremenskih i zaostalih napona u predmetu obrade (ovde, tvrdom metalu, grupe K).



Slika 5. Primer dobijenih oscilograma

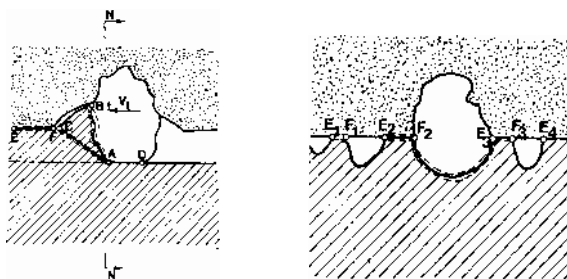
Za potvrdu dobijenih analitičkih zavisnosti putem eksperimenata (teorijskog modela) i potvrdu postavljenije hipoteze, može se zaključiti:

- Primenjeni metod merenja temperatura pokazao je dovoljnu osetljivost u registrovanju uticaja režima brušenja i hlađenja na toplotno opterećenje predmeta obrade (pločice od tvrdog metala),
- Posebna svojstva dijamanta kao brusnog materijala znatno smanjuju snagu potrebnu za brusenje, pa tako i količinu generisane toplote, odnosno temperature. U optimalnim uslovima srednje vrednosti su znatno niže nego pri brušenju sa konvencionalnim tocilima.

- Snaga toplotnog izvora pri dijamantskom brušenju zavisna je ne samo od osobina dijamanta, već i osobina dijamantskog sloja tocila (finoća, koncentracija, vezivo, struktura). Zato se predlaže nešto drugačija šema obrazovanja toplote (slika 6, linije AB, AC, AD) od do sada korišćenih. Zona generisane toplote nalazi se na površini kontakta tocila i predmeta obrade i to je posledica rada dijamantskog brusnog zrna i trenja.

U toku vremena brušenja (τ) ova površina je promenljiva, a njena veličina zavisi od veličina uzduženog (i poprečnog) koraka (V_p), dubine rezanja (δ) i obimne brzine tocila (V_t), tj. brzine brušenja (rezanja). U zoni kontakta ($EF; E_1F_1; E_2F_2; E_3F_3$) pojavljuju se sile trenja koje zavise od niza faktora zavisnih od karaktera međudejstva tocila sa obrađivanim materijalom. Tako se stvaraju dodatni izvori toplote.

Očevidno, zona obrazovanja toplote je karakterisana neposrednim radom dijamantskih zrna (linije AB; AC; AD) i trenja (slika 6).



Slika 6. Šema obrazovanja toplote pri dijamantskom brušenju tvrdog metala

4. ZAKLJUČAK

Toplotno-fizičke osobine dijamanta i materijala predmeta obrade igraju važnu ulogu u generisanju i raspodeli toplote. Visoka toplotna provodljivost dijamanta omogućuje odvođenje toplote iz zone rezanja.

Naime, pri brušenju se zagreva tanki površinski sloj do visokih temperatura, koje zovemo kontaktnim, te se pri postojanju visokog temperaturskog gradijenta toplota brzo odvodi u dubinu brušenog sloja, tj. u unutrašnju masu materijala. Na osnovu dobijenih oscilograma moguće je ustanoviti veličinu kontaktne temperature, vreme zagrevanja i delovanja pri toj temperaturi, a takođe i vreme hlađenja, tj. ciklus termičke obrade površinskog sloja. Temperatura unutar izvora toplote dostiže svoju maksimalnu vrednost u različitim trenucima vremena i zavisi od brzine premeštanja izvora. Za vreme dejstva izvora toplote temperatura dostiže svoj maksimum da bi zatim varirala po preseku sa umanjениim gradijentom ($^{\circ}\text{C}/\text{sec}$). Pri većoj brzini premeštanja maksimum temperature krive više je razvučen-raspoređen duž površine kontakta.

Istraživanja pokazuju, da temperatura površinskog sloja tvrdog metala dostižu 1200°C , sa hlađenjem. Temperatura u i po dubini sloja znatnoje manja od kontaktne (slika 7d.) i umanjuje se srazmerno udaljenju od zone brušenja. Intenzitet temperatura po preseku položice od tvrdog metala zavisi i od vremena dejstva izvora toplote, (slika 7b.) tj. vremena brušenja. Analizom izraza za temperatursko polje vidi se da, za smanjenje temperatura brušenja treba smanjiti vreme kontakta i da karakter izmene temperaturskog gradijenta duž kontakta zavisi od kinematike brušenja i određene snage toplotnog izvora (slika 7a.).

Osnovna jednačina konačnih elemenata za nestacionarno stanje ima oblik:

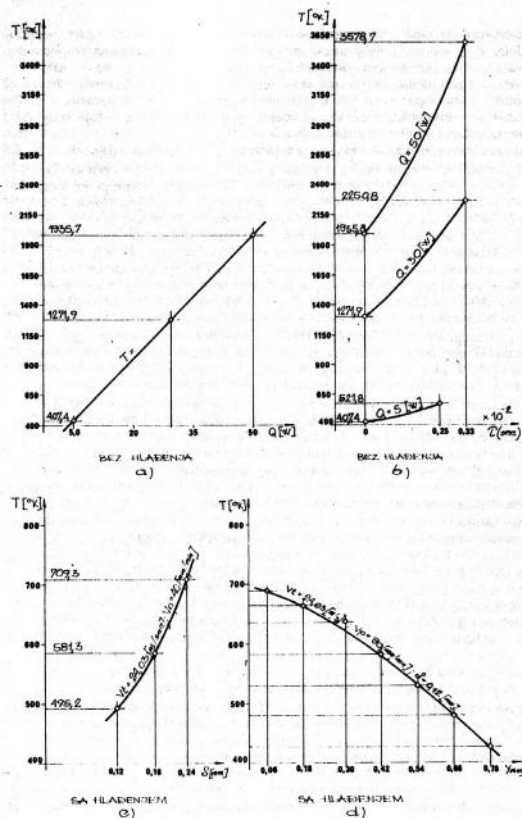
$$\left([K] + \frac{2}{\Delta\tau} [C] \right) \{T\} = \left(\frac{2}{\Delta\tau} [C] - [K] \right) \{T\}_o - 2\{F\}^{1/4} \quad (3)$$

Daljim razvijanjem i sređivanjem ona izgleda:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{2\lambda}{4A} \begin{bmatrix} b_i^2+c_i^2 & & \\ b_i b_j+c_i c_j & b_j^2+c_j^2 & \\ b_i b_k+c_i c_k & b_i b_j+c_i c_j & b_k^2+c_k^2 \end{bmatrix} + \frac{h \cdot L_{jk}}{6} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} + \right. \\ & \left. + \frac{2C_p \cdot l \cdot A}{\Delta t} \frac{1}{12} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix} \right) \cdot b \cdot \begin{Bmatrix} T_i \\ T_j \\ T_k \end{Bmatrix}_{\text{new}} = \left(\frac{2C_p \cdot l \cdot A}{\Delta t} \frac{1}{12} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix} - \right. \\ & \left. - \frac{2\lambda}{4A} \begin{bmatrix} b_i^2+c_i^2 & & \\ b_j^2+c_j^2 & & \\ b_k^2+c_k^2 & & \end{bmatrix} + \frac{h \cdot L_{jk}}{6} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} \right) \cdot b \cdot \begin{Bmatrix} T_i \\ T_j \\ T_k \end{Bmatrix}_{\text{old}} - \\ & \left. - \frac{QV}{3} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} + \frac{qL_{jk}}{2} \cdot b \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \frac{hL_{jk}T_o}{2} \cdot b \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \right\} \quad (4) \end{aligned}$$

gde je:
 L_{jk} - dužina posmatrane stranice (mm)
 A [mm²] - površina posmatranog dela
 dok su:

$$\begin{aligned} a_i &= (x_j y_k - x_k y_j) & a_j &= (x_k y_i - x_i y_k) & a_k &= (x_i y_j - x_j y_i) \\ b_i &= (y_j - y_k) & b_j &= (y_k - y_i) & b_k &= (y_i - y_j) \\ c_i &= (x_k - x_j) & c_j &= (x_i - x_k) & c_k &= (x_j - x_i) \end{aligned} \quad (5)$$



Slika 7. Zavisnost kontaktne temperature T_k od a) količine generalisane toplote, b) vremena dejstva izvora toplote, c) dubine rezanja, d) udaljenja od površine rezanja-y

Poređenjem proračunatih (teorijskih) i eksperimentalnih vrednosti uočavaju se određene razlike. To naročito važi za vreme toplotnog dejstva u oblasti malih brzina brušenja. Oscilogrami to potvrđuju, mada su apsolutne vrednosti vremena u eksperimentima unekoliko veće, nego u teoriji. Neslaganje u vrednostima objašnjava se nestacionarnom jačinom toplotnog izvora u procesu brušenja. Naime, u procesu rezanja dolazi do postepenog uvećanja dubine skidanja materijala i povećanja ukupne jačine izvora toplote. Dostizanjem određene i postojeće veličine izvora toplote dolazi do rasta temperature na osnovu prikazanih i u teoriji istraženih zakonomernosti. Na temperaturnoj krivoj eksperimenti daju kvalitativnu predstavu o vremenskoj zavisnosti, ali ne mogu razdvojeno prikazati ova dva (ili više) uticajnih faktora na vreme toplotnog dejstva, te dopuštaju samo kvantitativne zaključke.

LITERATURA:

1. Dr. H.Reinhart, Teorijske osnove obrade tvrdih metala sa dijamantskim brusnim pločama, Biel/Schwiss, 1980
2. Tiedeman, The deep-grinding of cementit carbide, Stockholm, 1979
3. Semko Grabčenko, Osnovi almaznogo šlifovanjija, Thenika Kijev, 1978
4. Nahos, Handbook i sliping, Stockholm, 1972
5. Felldštajn E.Z. Nikolaev V.A., Finišnaja mehaničeskaja abrabotka detalei iz poroškovich matetrialov, Višaja škola, 1987
6. Jovičić M, Obrada brušenjem, Mašinski fakultet Beograd, 1986
7. Kuken L.G., Povišenje pročnosti i iznosastojkosti tverdosplavnogo instrumenta, Mašinostrojenie, Moskva, 1979.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

ZAVISNOST PARAMETARA FUNKCIJE POUZDANOSTI REZNOG ALATA OD REŽIMA RADA PRI OBRADI NA STRUGU

S. Sekulić ¹⁾, B. Nikolić ²⁾

Rezime: Postojeće relacije između parametara funkcije pouzdanosti i režima obrade najčešće se zasnivaju na determinističkom pristupu. Kako je proces rezanja tipičan stohastički proces, u novijoj literaturi polazi se sa verovatnosnih pozicija. Da bi se uspostavile specifične veze i relacije i da bi se analizirali otkazi reznog alata i režima obrade, u ovom radu, korišćena je dvoparameterska Weibull-ova funkcija raspodele.

Ključne reči: Pouzdanost, Rezni alat, Režim obrade, Struganje

DEPENDENCE RELIABILITY FUNCTION PARAMETERS OF CUTTING TOOLS AWAY CUTTING CONDITIONS IN TURNING

Abstract: Existing relation between tool life and cutting conditions represent a deterministic approach. As the cutting process is a typical stochastic one, recent literature contain an approach from the probability aspect. In order to, establish specific connections and relations and to analyse of cutting-tool failures and cutting conditions based on probability approach double-parameter Weibull distribution function, in this paper, was used

Key words: Reliability, Cutting tools, Cutting condition, Turning.

1. UVOD

U savremenim proizvodnim uslovima pitanje izbora optimalnih režima obrade predstavlja značajan zadatak vezan za izbor optimalne varijante obrade.

Razvijeni matematički modeli za njihove proračune zahtevaju posedovanje pouzdanih podataka o obradljivosti. Kao što je poznato oni se mogu dobiti: 1. laboratorijskim ispitivanjima, pri čemu se održavaju strogi, kontrolisani uslovi, koji se odnose na obradak i alat, kao i druge prateće uticaje i 2. praćenjem ponašanja alata u proizvodnim uslovima.

¹⁾ Prof. dr Sava St. Sekulić, Institut za industrijsko inženjerstvo i menadžment, Fakultet tehničkih nauka, 21000 Novi Sad, laza@iis.ns.ac.yu

²⁾ Dr Božo T. Nikolić, profesor, Viša tenička škola, 21000 Novi Sad, Školska 1

Ispitivanje zavisnosti brzina rezanja – postojanost u laboratorijskim uslovima, ukazuje da se za iste uslove pri rezanju dobijaju značajna rasipanja postojanosti kao posledica neujednačenih triboloških uslova pri rezanju. Iz tih razloga obično se vrše preliminarna ispitivanja sa većim brojem alata pri čemu se eliminišu alati sa ekstremnim vrednostima postojanosti, a sa preostalim vrše sistematska ispitivanja. posmatrajućii ovakav način izbora reprezentativnih alata za ispitivanje funkcija postojanosti sa verovatnosnih pozicija možemo zaključiti da on nema nikakve podloge i opravdanja.

Prikupljanjem podataka o otkazima alata svih vrsta, u proizvodnim uslovima, uočava se vrlo veliko rasipanje, koje je posledica manje kontrolisanih uslova vezanih, pre svega, za obradak i alat, a i ostale uslove koji prate proces. Pored toga, u realnim uslovima obrade, do otkaza alata ne dolazi samo usled triboloških pojava u zoni rezanja već i kao posledica drugih, slučajnih poremećaja.

Na osnovu napred izloženog potrebno je razlikovati pojam postojanosti i vremena bezotkaznog rada alata, ii za oba pojma dati tačnije definicije obzirom da je obrada rezanjem tipičan stohasticki proces. Tako se za postojanost alata može reći da predstavlja srednje vreme efektivnog rezanja do pojave zatupljenja definisanog merodavnim kriterijumom habanja, dok vreme bezotkaznog rada, u proizvodnim uslovima predstavlja srednje vreme efektivnog rezanja do pojave otkaza alata. Na osnovu napred izloženog modže se zaključiti da je srednje vreme bezotkaznog rada manje od postojanosti alata. Razlikovanje gore navedena dva pojma je vrlo značajno obzirom da se prvi odnosi na tribološke karakteristike materijala obratka i alata, pri ostalim istim uslovima, a drugi i na ostale slučajne poremećaje koji prate realne proizvodne uslove.

U zavisnosti od veličine serija koje se obraduju, broj registrovanih vrednosti otkaza alata može biti različit. Ako je broj registrovanih vrednosti $N > 50$ on predstavlja reprezentativan uzorak, a ukoliko je $N \leq 50$ on to postojanost alata može reći da predstavlja srednje vreme efektivnog rezanja do pojave zatupljenja definisanog merodavnim kriterijumom habanja, dok vreme bezotkaznog rada, u proizvodnim uslovima predstavlja srednje vreme efektivnog rezanja do pojave otkaza alata. Na osnovu napred izloženog modže se zaključiti da je srednje vreme bezotkaznog rada manje od postojanosti alata. Razlikovanje gore navedena dva više nije. Za obe gore navedena slučaja treba primeniti odgovarajuće metodologije obrade podataka, koje omogućuju određivanje raspodele otkaza, pouzdanosti, frekvence i intenziteta postojanosti ili otkaza i srednje vrednosti postojanost ili bezotkaznog rada alata [1].

2. USLOVI PRI EKSPERIMENTALNIM ISPITIVANJIMA I NJIHOVA OBRADA

U cilju određivanja promene parametara raspodele otkaza reznog alata, pri obradi na strugu, u realnim proizvodnim uslovima, pri razlicitim režimima obrade, praćeni su otkazi alata na operaciji: struganje, spolja, uzdužno, predhodno-završno, pri obradi košuljica cilindra motora “Perkins”, tip M3, uz variranje 25 razlićitih režima obrade (5 razlićitih brzina rezanja v i 5 razlićitih pomaka s , u kombinaciji svaki sa svakim, dubina rezanja $\delta = 0,5$ mm). Materijal obratka je SL.25 (JUS C J2.020), tvrdoće 98,5-106,5 HR_b, odn 230-280 HB, livenje centrifugalno. Izvedeno je preko 500 eksperimenata. Eksperimenti su izvedeni na univerzalnom strugu Moskovskog zavoda za masine alata, tip 16K20. Kao alat korišćen je nestandardni strugarski nož sledeće rezne geometrije: grudni ugao $\gamma = 5^\circ$, ledjni ugao $\alpha = 5^\circ$, poluprećnik zaobljenja vrha $r = 8$ mm. Ugao nagiba seciva $\lambda = 4^\circ$.

Tablica T.1 Procenjene vrednosti parametara $\hat{\beta}$ i $\hat{\eta}$

		(n, ob/min)	(160)	(200)	(250)	(315)	(400)
		v, m/min	47,226	59,03	73,79	92,98	118,06
s, mm/ob	0,8	β	1	2	3	4	5
			3,0	3,1	3,3	2,9	3,65
		η	600	320	158	70	38
	1,0	β	6	7	8	9	10
			3,28	3,07	2,48	3,2	3,65
		η	290	132	65	31,8	14
	1,2	β	11	12	13	14	15
			2,72	2,76	2,72	2,75	1,6
		η	170	80	37,5	19	8
	1,4	β	16	17	18	19	20
			2,91	3,0	3,0	3,02	1,9
		η	118	57	28	12,5	5,5
	1,6	β	21	22	23	24	25
			3,54	3,2	1,62	2,01	1,4
		η	89	40	17	8	3.5

Tablica T.2 Srednja vremena bezotkaznog rada reznih alata \hat{T}_m

n, ob/min		160	200	250	315	400
v, m/min		47,226	59,03	73,79	92,98	118,06
s, mm/ob	0,8	535,8	4,88	141,73	62,44	34,276
	1,0	260,13	3,19	57,655	28,46	12,625
	1,2	151,83	71,21	33,33	16,91	7,168
	1,4	105,26	50,90	25	11,16	4,880
	1,6	80,1	35,8	15,23	7,09	3,190

Za svaku pojedinu kombinaciju režima obrade vršeno je ponavljanje praćenja otkaza sa novim alatima ($N = 20$), što je omogućilo, grafoanalitičkom obradom podataka, da se odrede parametri oblika β i položaja η u Weibull-ovoj dvoparametarskoj funkciji raspodele [1]

$$F(t) = 1 - \exp(t/\eta)^\beta$$

na osnovu koje je pouzdanost

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp(t/\eta)^\beta$$

i srednje vreme bezotkaznog rada

$$T_m = \eta \Gamma(1/\beta + 1)$$

Kako se iz tablica T.1 i T.2 vidi, za svaki pojedini režim obrade, vrednosti za parametar razmere kreću se

$$2,48 < \beta < 3,65$$

a za parametar položaja

$$3,5 < \eta < 600$$

Obrada eksperimentalnih podataka svopdi se na određivanje sledećih dva para zavisnosti

$$\begin{array}{l} \beta = f_1(v) \quad ; \quad s = const. \\ \beta = f_2(s) \quad ; \quad v = const \\ \eta = \varphi_1(v) \quad ; \quad s = const. \\ \eta = \varphi_2(s) \quad ; \quad v = const \end{array}$$

Prvi par zavisnosti zatražene su u linearnom obliku

$$\begin{array}{l} \beta = a + b v \quad ; \quad s = const. \\ \beta = c + d s \quad ; \quad v = const. \end{array}$$

Obradom podataka dobijene su konstante

$$\begin{array}{l} a = 0,3788 + 2,573 s \\ b = 0,0463 - 0,0459 s \\ c = 0,3788 + 0,0465 v \\ d = 2,573 - 0,049 v \end{array}$$

Zamenom konstant a i b u predodnoj prvoj i c i d u drugoj jednačini doijen je identičan izraz za parametar oblika β

$$\beta = -0,0459 s v + 0,0465 v + 2,573 s + 0,3788$$

što se i očekivalo.

Drugi par zavisnosti potražen je u eksponencijalnom obliku

$$\begin{array}{l} \eta = C v^x \quad ; \quad s = const. \\ \eta = D s^y \quad ; \quad v = const. \end{array}$$

Konstanta C menja se talasasto i nije pogodna za dalju obradu, a D je potražena u eksponencijalnom obliku, dok je eksponent y predstavljen linearnom zavisnošću

$$\begin{array}{l} D = 80,866 \cdot 10^6 v^{-3,2407} \\ y = -2,683 - 0,0094 v \end{array}$$

pa za parametar položaja dobijamo

$$\eta = 80,866 \cdot 10^6 v^{-3,2407} s^{-2,683 - 0,0094 v}$$

Analogno se dobija, kada je $D = f_1(s)$ pri $v = const.$ i $y = f_2(s)$ pri $v = const.$

$$\eta = 78,289 \cdot 10^6 s^{-0,565} v^{-0,498 s - 2,7}$$

Izvedeni izrazi, zasnovani na verovatnosnim osnovama, ukazuju na složenost i delikatnost korišćenja podataka pri rešavanju određenih problema i da se unošenjem pouzdanosti kao elementa obezbeđuje veću sigurnost.

3. ZAKLJUČCI

Na osnovu napred izloženog mogu se doneti sledeći zaključci:

- proučavanjem niza dijagrama za parametra oblika β moguća je primena zavisnosti drugog reda,
- za parametar razmere η mogu se koristiti dve ravnopravne jednačine: u eksponencijalnom obliku i
- izvedene zavisnosti mogu biti korisne pri rešavanju najrazličitijih praktičnih zadataka vezanih za obradu na strugu.

4. LITERATURA

1. Sekulić, S., Metodologije za određivanje pouzdanosti reznog alata, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, 14, 1983, 128-142.
2. Sekulić, S., Predlog načina prikupljanja podataka o postojanosti i otkazima alata u proizvodnim uslovima, Zbornik radova XXV Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, maj Beograd, 1986., 51-58.
3. Sekulić, S., Identifikacija primarnih parametara obrade na strugu na osnovu plastične deformacije i termonapona reyanja, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, 1977.
4. Sekulić, S., Nikolić, B., Influence of Cutting Tool Condition Elements on Cutting Tool Reliability Function Parameters in Turning, CD-ROM Proceedings 16th International Conference on Production Research ICPR – 16, July 2001., Prague, Czech republic, 2001, Contribution no 0019, P017.
5. Sekulić, S., Nikolić, B., Influence of Cutting Tool Condition Elements on Cutting Tool Reliability Function Parameters in Turning, Summaries 5, Stream 6+8, 16th 153 International Conference on Production Research ICPR – 16, July 2001., Prague, Czech republic, 2001, Contribution no 0019, P017, p 153.
6. Sekulić, S., Nikolić, B., Uticaj elemenata rezima obrade na parametre funkcije pouzdanosti pri obradi na strugu, Zbornik radova CD-ROM XXIX Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, sept., 2002, Beograd, 2002., 218-222.



UTICAJ VRSTE MATERIJALA ELEKTRODE NA TEHNOLOŠKE KARAKTERISTIKE ELEKTROEROZIVNE OBRADNE

M. Gostimirović ¹⁾, D. Milikić ²⁾, M. Sekulić ³⁾

Rezime: U radu se na osnovu eksperimentalnih ispitivanja, variranjem dužine trajanja impulsa i jačine struje pražnjenja, istražuje uticaj vrste materijala elektrode na proizvodnost, tačnost i kvalitet elektroerozivne obrade. Dobijeni rezultati predstavljaju tehnološku podlogu za izbor najpovoljnijih parametara režima elektroerozivne obrade.

Ključne reči: elektroerozivna obrada, proizvodnost, tačnost obrade, kvalitet obrađene površine

THE INFLUENCE OF TYPE MATERIAL ELECTRODE ON THE TECHNOLOGIES CHARACTERISTIC OF ELECTRO DISCHARGE MACHINING

Abstract: Presented in this paper is influence of type material electrode in conjunction with pulse duration length and strength of discharge current on the productivity, precision and qualities of electro discharge machining by right of experimental data. Derived results used for formation of technological electro discharge machining optimum parameters.

Key words: electro discharge machining, productivity, precision, machining qualities

1. UVOD

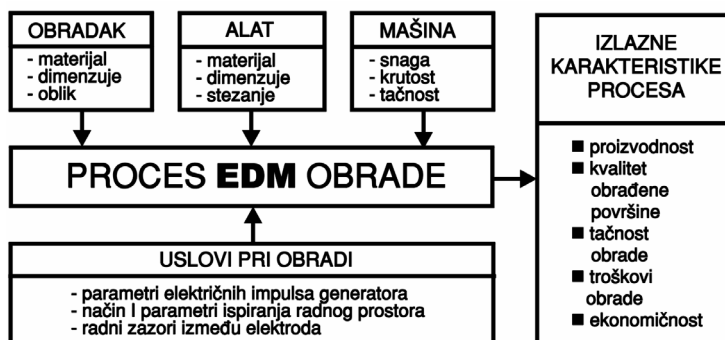
Elektroerozivna obrada (EDM – Electrical Discharge Machining) je savremeni postupak skidanja materijala čija je primena u praksi veoma rasprostranjena. Zbog ekonomske opravdanosti i brojnih tehnoloških prednosti poprima sve širu primenu u području obrade metala, naročito pri obradi teškoobradljivih materijala i delova složenog geometrijskog oblika.

EDM obradu karakteriše veliki broj faktora koji imaju različiti uticaj na tehnološke karakteristike procesa, slika 1. Kao i kod drugih vrsta obrade i ovde su najvažnije tehnološke karakteristike: proizvodnost procesa, tačnost izrade i kvalitet obrađene površine. Proizvodnost određuje ekonomičnost obrade, a tačnost i kvalitet izrade funkcionalnost proizvoda.

¹⁾ Prof. dr Marin Gostimirović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad,
maring@uns.ns.ac.yu

²⁾ Prof. dr Dragoje Milikić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad,

³⁾ Mr Milenko Sekulić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad,



Slika 1. Proces elektroerozivne obrade sa uticajnim parametrima i izlaznim karakteristikama

2. MATERIJALI ELEKTRODA ELEKTROEROZIVNE OBRADE

Skidanje materijala kod elektroerozivne obrade ostvaruje se putem učestalih električnih pražnjenja između obratka i elektrode-alata. Električna energija impulsa, koja se u radnom prostoru pretvara u toplotu, pored jačine i dužine impulsa zavisi i od materijala elektrode. Za materijal elektrode vezana su toplotna svojstva i brzina dejonizacije radnog prostora, tako da svakom materijalu elektrode odgovara određeni nivo energije impulsa koji se pri datim uslovima obrade može realizovati [1].

Za izradu elektrode se praktično sa manje-više uspeha mogu koristiti svi elektroprovodljivi materijali. U principu se koriste materijali koji imaju malu električnu otpornost i visoku tačku topljenja (bakar, grafit, volfram, aluminijum, čelik i dr.). U praksi najviše se koriste čist bakar i grafit, kao i njihove legure.

3. POSTAVKA EKSPERIMENTALNOG ISPITIVANJA

Ekspерimenti su izvršeni na kaljenom mangan-vanadijumskom alatnom čeliku Č.3840. Za alat su korišćeni elektrolitički bakar čistoće 99,9 % i sitnozrni grafit, pravougaonog poprečnog preseka 20x10 mm. Ispitivanja su sprovedena na EDM mašini alatki, južnokorejske proizvodnje model FUMEC – CNC 21. Izabrani režimi obrade prikazani su na interpretatorima sređenih rezultata ispitivanja.

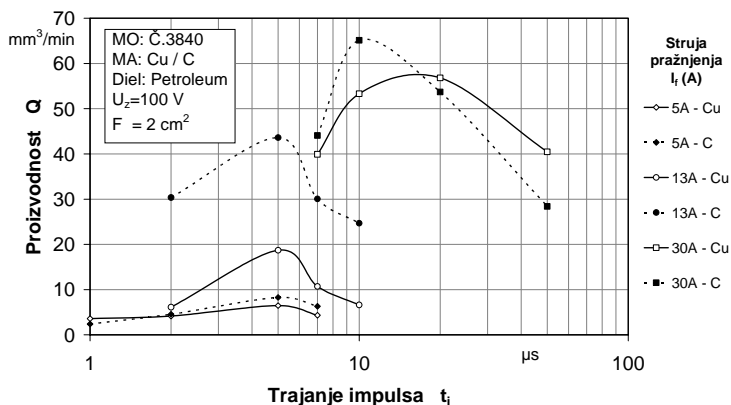
Metodologija vođenja eksperimenta obuhvatila je izvođenje ispitivanja po planu eksperimenta i praćenje rezultata merenja eksperimentalnih podataka. Merena su vremena obrade, veličine bočnog zazora, trošenja alata, hrapavost i površinsko stanje obrađenih površina.

4. REZULTATI EKSPERIMENTA

Uticaj vrste materijala elektrode na tehnološke karakteristike elektroerozivne obrade, variranjem parametara električnih impulsa primenom postavljene metodologije ispitivanja, utvrđen je merenjem i obradom izmerenih podataka.

Zavisnost proizvodnosti EDM obrade od dužine trajanja impulsa za različite struje pražnjenja, sa bakarnom i grafitnom elektrodom, prikazana je na slici 2. Sa dijagrama se vidi da pri konstantnoj dužini impulsa povećanjem struje se povećava proizvodnost. S druge strane, za svaku jačinu struje postoji optimalna vrednost dužine

impulsa pri kojoj se postiže maksimalna proizvodnost EDM obrade. Vezano za vrstu materijala elektrode dolazi se do sledećih saznanja. Sa bakarnom elektrodom postiže se veća proizvodnost za niže vrednosti jačine struje ($I_f < 5A$), dok se sa grafitnom elektrodom postiže sve veća razlika u dobijenoj proizvodnosti što je jačina struje viša.

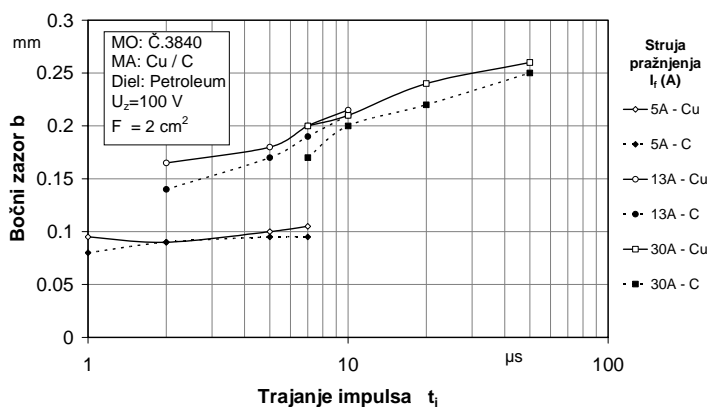


Slika 2. Zavisnost proizvodnosti EDM obrade od dužine trajanja impulsa za različite struje pražnjenja sa bakarnom i grafitnom elektrodom

Ne ulazeći u razmatranje manje uticajnih faktora na tačnost EDM obrade (tačnost obradnog sistema, toplotne deformacije elemenata obradnog sistema, tačnost izrade alata itd.), istraživao je uticaj radnog zazora između elektroda i veličine trošenja alata.

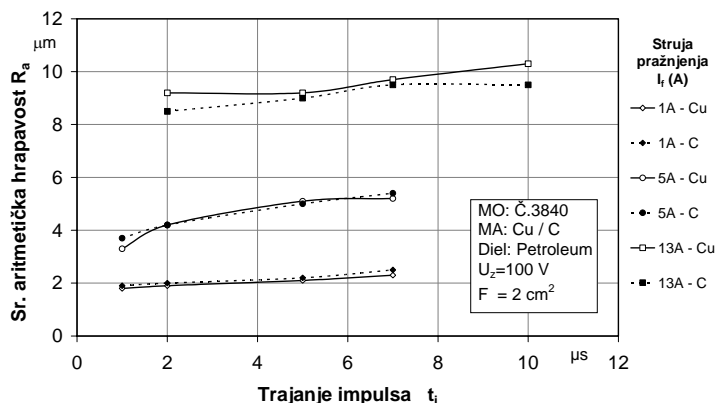
Uticaj dužine impulsa i jačine struje pražnjenja na promene bočnog zazora prikazan je na slici 3. Veća dužina i jačina struje impulsa prouzrokuju povećanje bočnog zazora i time veći uticaj na tačnost EDM obrade. Pri tome, sa grafitnom elektrodom ostvaruju se nešto manje vrednosti bočnog zazora.

Uticaj trošenja alata na tačnost utvrđena je merenjem dimenzija i masa alata pre i posle EDM obrade. Kod oba dve vrste materijala elektrode uticaj dužine impulsa skoro da nije registrovan na trošenje alata, dok veće jačine struja povećavaju trošenje alata. Za slučaj struja veći od 30 A vrednosti relativnog zapreminskog trošenja prelaze preporučene dozvoljene vrednosti od 0,5 %.



Slika 3. Promena bočnog zazora pri EDM obradi od dužine trajanja impulsa za različite struje pražnjenja sa bakarnom i grafitnom elektrodom

Vezano za hrapavost obrađene površine, slika 4 pokazuje da hrapavost sa bakarnom i grafitnom elektrodom gotovo identično raste povećanjem dužine i posebno jačine struje impulsa. Minimalni ostvareni kvalitet obrađene površine bio je N7, da bi pri većim jačinama struje ulazio u zonu veoma grube obrade.



Slika 4. Zavisnost srednje aritmetičke hrapavosti pri EDM obradi od dužine trajanja impulsa za različite struje pražnjenja sa bakarnom i grafitnom elektrodom

Metalogrfska ispitivanja pokazuju da toplotni način skidanja materijala pri EDM obradi, istovetno kako sa bakarnom tako i sa grafitnom elektrodom, značajno menja mikrostrukturu površinskog sloja materijala obratka. Sekundarne promene prisutne su u manjoj ili većoj meri pri svim režimima obrade [2].

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedenih eksperimentalnih ispitivanja i izvršenih analiza mogu se doneti sledeći zaključci:

- proizvodnost EDM obrade sa bakarnom i grafitnom elektrodom raste sa povećanjem jačine struje za optimalnu dužinu trajanja impulsa, s tim da se sa grafitnom elektrodom postiže veća razlika u dobijenoj proizvodnosti što je jačina struje viša,
- povećanjem dužine i jačine struje kod obe elektrode povećava se uticaj radnog zazora između elektroda i veličine trošenja alata na tačnost EDM obrade, mada je uticaj grafitne elektrode nešto manji,
- kvalitet obrađene EDM površine, istovetno za bakarnu i grafitnu elektrodu, zavisi od energije impulsa definisane jačinom i dužinom struje.

LITERATURA

1. Milikić, D.: Nekonvencionalni postupci obrade – priručnik za studije i praksu, Fakultet tehničkih nauka, (ISBN 86-499-0116-6), Novi Sad, 2002.
2. Gostimirović M., Milikić D., Sekulić M.: Uticaj parametara električnih impulsa na tehnološke karakteristike elektroerozivne obrade, IX Međunarodna naučno-stručna konferencija, (ISBN 86-85211-94-4), MMA 2006, str. 5-8, Novi Sad, 2006.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

OGRANIČENJA PRI IZBORU GEOMETRIJE ALATA ZA PROFILISANJE TROHOIDNOG OZUBLJENJA

L. Ivanović¹⁾, D. Josifović²⁾, G. Devedžić³⁾

Rezime: U ovom radu se razmatra generisanje i analiza sprezanja profila zupčastog para sa unutrašnjim trohoidnim ozubljenjem. Konstrukciono izvođenje ovog ozubljenja zahteva ispunjenje brojnih geometrijskih ograničenja, od kojih će biti analizirana sledeća: podsecanje, interferenca susednih zubaca, interferenca spregnutih zubaca i granična vrednost temene debljine zupca. Ograničenja su definisana u analitičkom obliku, a na osnovu grafičke interpretacije dobijenih rezultata može da se odredi domen praktične primene razmatranih geometrijskih parametara za unutrašnji zupčasti par sa modifikovanim epitrochoidnim ozubljenjem.

Ključne reči: trohoidno ozubljenje, podsecanje, interferenca

LIMITS BY THE CHOICE OF THE TOOL GEOMETRY TO PROFILING OF TROCHOIDAL GEARING

Abstract: In this paper are considered the generation and analysis of profile meshing of the gear pair with internal gearing. Constructive realization of this gearing demands the compliance of the numerous geometrical limits of them will be analyzed the following: undercutting, interference of neighboring teeth, interference of meshing teeth and limited value of the addendum tooth thickness. The limits are defined in analytic form and based on graphical interpretation of the obtained results can be determinated the domain of the practical application of the considered geometrical parameters for the internal gear pair with modified epitrochoidal gearing.

Keywords: trochoidal gearing, undercutting, interference

1. UVOD

Poznata je primena trohoida i njihovih spregnutih obvojnica u svojstvu profila radnih elemenata kod gerotorskih pumpi i hidromotora. Trohoidne pumpe pripadaju grupi planetarnih rotacionih mašina, čija je kinematika zasnovana na principu planetarnog mehanizma sa unutrašnjim ozubljenjem. U ovom radu je usvojen koncept po kojem se pretpostavlja da je poznat profil unutrašnjeg zupčanika, epitrohoida, a potrebno je da se odredi spregnuti profil. Kod ove vrste ozubljenja, pokretni krug se

¹⁾ Mr Ivanović Lozica, Mašinski fakultet, Kragujevac, livanovic@kg.sbb.co.yu

²⁾ Prof. dr Josifović Danica, Mašinski fakultet, Kragujevac

³⁾ Prof. dr Devedžić Goran, Mašinski fakultet, Kragujevac

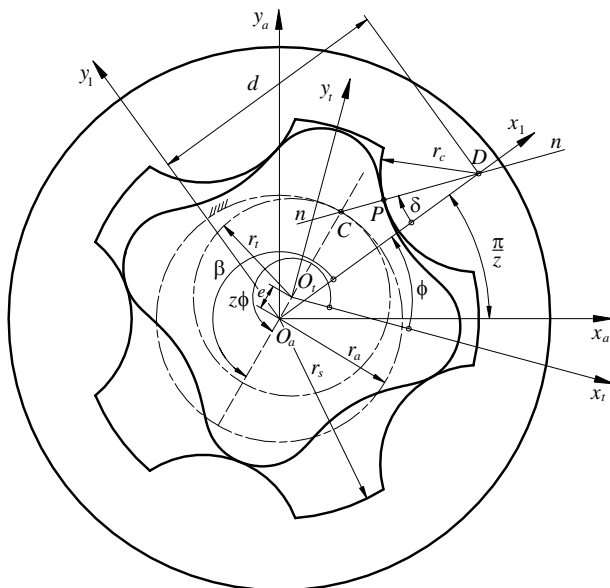
kotrlja bez klizanja po drugom nepokretnom krugu i pri tome, izabrana tačka opisuje profil zupca, odnosno trohoidu [1]. Spregnuti profil se može predstaviti kao obvojnica uzastopnih položaja osnovnog profila pri njegovom relativnom kretanju. U opštem slučaju spregnuta obvojnica ima vrhove, koji su nepoželjna pojava zato što dovode do intenzivnog habanja, a da bi se izbegla njihova pojava uvodi se ekvidistantna modifikacija osnovnih profila [2]. Kod krivih koje imaju vrhove ekvidistantna modifikacija se u oblasti vrhova realizuje pomoću kružnog luka, čiji poluprečnik odgovara izabranom poluprečniku ekvidistane epitrohoide r_c . Veličina ovog poluprečnika, a time i poluprečnika alata za profilisanje ozubljenja, ograničena je minimalnim vrednostima poluprečnika krivine osnovne epitrohoide. Prema tome, pre modifikacije potrebno je da se odrede stacionarne tačke funkcije poluprečnika krivine epitrohoide.

2. ODREĐIVANE STACIONARNIH TAČAKA FUNKCIJE POLUPREČNIKA KRIVINE EPITROHOIDE

Stacionarne tačke date funkcije su sve tačke u kojima funkcija postiže lokalne ekstreme, globalni ekstremum i prevojne tačke. Na osnovu geometrijskih odnosa prikazanih na slici 1 jednačine tačke D epitrohoide mogu se napisati u obliku:

$$\begin{aligned}x_t &= e(\cos z\phi + \lambda z \cos \phi) \\y_t &= e(\sin z\phi + \lambda z \sin \phi)\end{aligned}\quad (1)$$

pri čemu je $\lambda = d/ez$ - koeficijent epitrohoide.



Slika 1: Šematski prikaz zupčastog para trohoidne pumpe i osnovnih geometrijskih veličina

Polazeći od jednačina (1) i poznatih formula iz analitičke geometrije, može da se napiše izraz za određivanje poluprečnika krivine u tački epitrohoide, čiji je položaj definisan referentnim uglom $\beta = (z - 1)\phi$, u sledećem obliku:

$$\rho_t = \frac{ez \left[1 + \lambda^2 + 2\lambda \cos \beta \right]^{3/2}}{z + \lambda^2 + \lambda(z+1)\cos \beta} \quad (2)$$

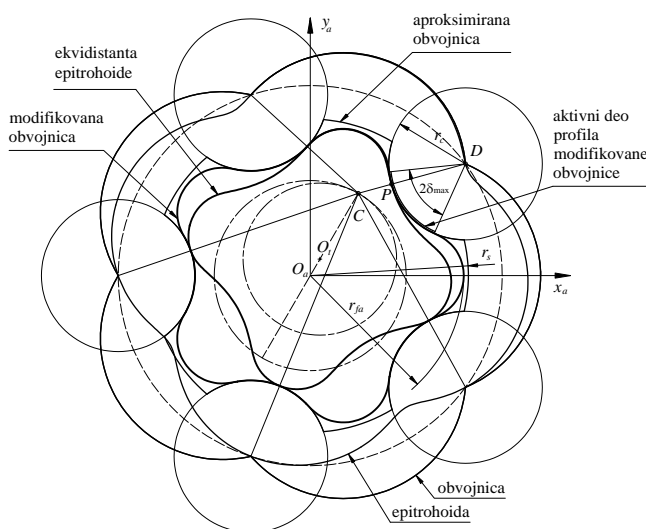
Potrebno je odrediti vrednosti ugla β za koje poluprečnik krivine ima najmanju vrednost. U tom cilju, jednačina (2) se diferencira po promenljivoj β , a zatim izjednačava sa nulom [3]. Na taj način, definisani su uslovi za egzistenciju stacionarnih tačaka poluprečnika krivine epitrohoide i dati su u Tabeli 1.

Tabela 1. Stacionarne tačke poluprečnika krivine epitrohoide

Prvi lokalni ekstremum (teme zupca)	Drugi lokalni ekstremum (podnožje zupca)	Treći lokalni ekstremum	Prevojna tačka
$\beta = 0$	$\beta = \pi$	$\cos \beta = \frac{1 - 2z + \lambda^2(z-2)}{\lambda(z+1)}$	$\cos \beta = -\frac{\lambda^2 + z}{\lambda(z+1)}$
$\rho_{t1} = \frac{ez(\lambda+1)^2}{\lambda+z}$	$\rho_{t2} = \frac{ez(\lambda-1)^2}{\lambda-z}$	$\rho_{t3} = ez \sqrt{\left(\frac{3}{z+1}\right)^3 (\lambda^2 - 1)(z-1)}$	$\rho_t \rightarrow \infty$

3. GENERISANJE MODIFIKOVANE OBVOJNICE

Posle ekvidistantne modifikacije nova tačka dodira P nalazi se na udaljenju r_c od tačke D i uvek leži na zajedničkoj normali koja povezuje središte kružnog profila sa trenutnim kinematskim polom C . Prema tome, položaj tačke P je na kružnom luku poluprečnika r_c koji obuhvata ugao $2\delta_{max}$ sa središtem u tački D (slika 2).



Slika 2: Definisane modifikovanih spregnutih profila epitrochoidnog zupčastog para

To je aktivni deo profila modifikovane obvojnice, a preostali deo profila, koji ne učestvuje u sprezanju, može biti aproksimiran kružnim lukom ili kombinacijom kružnih

lukova koji leže izvan ili na datoj obvojnici [4]. Mogućnost da se izvede ova aproksimacija je jedna od glavnih prednosti epitrohidnih profila, zato što je time omogućena lakša izrada, kontrola dimenzija, a dobija se i jednostavniji oblik izvedenih jednačina.

Koordinate tačke dodira P u koordinatnom sistemu epitrohoide mogu se napisati kao:

$$\begin{aligned} x_t &= e(\cos z\phi + \lambda z \cos \phi) - r_c \cos(\phi + \delta) \\ y_t &= e(\sin z\phi + \lambda z \sin \phi) - r_c \sin(\phi + \delta) \end{aligned} \quad (3)$$

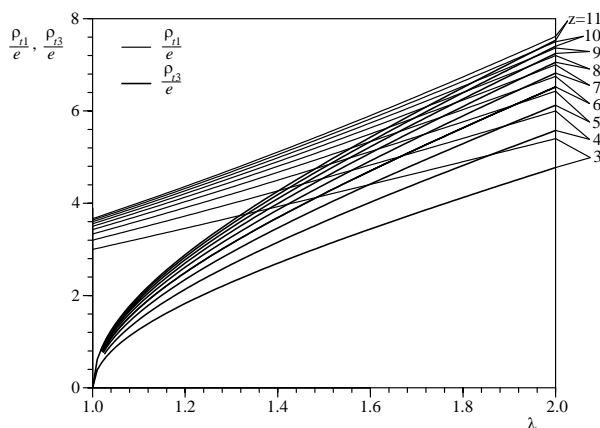
pri čemu je ugao zahvata δ određen sledećim izrazom

$$\delta = \arctan \frac{\sin(z-1)\phi}{\lambda + \cos(z-1)\phi} \quad (4)$$

Da bi se ostvarilo pravilno sprezanje zupčanika epitrohidnih zupčastih parova sa modifikovanim profilima potrebno je da budu ispunjeni brojni geometrijski i kinematski uslovi, koji će biti razmatrani u sledećem poglavlju.

4. GEOMETRIJSKA OGRANIČENJA PRI GENERISANJU MODIFIKOVANIH PROFILA

Pri projektovanju pumpi obično su konstruktivno dati parametri: ekscentricitet e , broj zuba spoljašnjeg zupčanika z i poluprečnik podnožnog kruga spoljašnjeg zupčanika, izražen parametrom r_{ja} spregnute obvojnice (slika 2). Potrebno je da se odredi granična vrednost poluprečnika r_c , odnosno maksimalna vrednost r_{cmax} koja, pri datoj vrednosti koeficijenta λ , ne dovodi do podsecanja profila i interference [2, 5]. Ova analiza biće sprovedena na osnovu geometrijskih odnosa datih na slici 1.



Slika 3: Uporedni dijagrami ekstremnih vrednosti poluprečnika krivine epitrohoide

Podsecanje. Pod podsecanjem zupca modifikovanog trohoidnog profila podrazumeva se geometrijski presek krive koja opisuje profil. Provera profila na podsecanje se vrši analizom minimalne vrednosti poluprečnika krivine na konveksnom delu realnog profila opisanog unutrašnjom ekvidistantom epitrohoide. U Tabeli 1 su date jednačine koje omogućavaju da se analitičkom metodom odredi minimalna vrednost poluprečnika krivine na konveksnom delu osnovnog profila.

Na osnovu grafičke interpretacije date na slici 3 može da se zaključi da je u oblasti preporučenih vrednosti kod pumpi, $1 < \lambda < 2$, veličina minimalnog poluprečnika krivine ρ_{t1} uvek manja od ρ_{t3} i, prema tome, kao kriterijum za izbor gornje granične vrednosti poluprečnika ekvidistante $(r_{cmax})_1$ važi uslov:

$$r_c < ez \sqrt{\left(\frac{3}{z+1}\right)^3 (\lambda^2 - 1)(z-1)}. \quad (5)$$

Interferenca (preklapanje) susednih zubaca. Drugo geometrijsko ograničenje za poluprečnik ekvidistantne modifikacije $(r_{cmax})_2$ proizilazi iz uslova da se izbegne interferenca između dva susedna kružna profila obvojnice, odnosno:

$$r_c \leq ez \lambda \sin \frac{\pi}{z}. \quad (6)$$

Interferenca spregnutih zubaca. Da bi se izbeglo zaglavljivanje temena konveksnog dela profila modifikovane epitrohoide u podnožnoj oblasti spregnute obvojnice, koja je aproksimirana kružnim lukom, potrebno je da bude ispunjen uslov za $(r_{cmin})_1$:

$$r_s > r_{fa}, \quad (7)$$

pri čemu je

$$r_{fa} = e(\lambda z + 2) - r_c. \quad (8)$$

Uvođenjem koeficijenta $S_{fa} = r_{fa}/e$ iz jednačine (8) može da se izrazi poluprečnik ekvidistante u obliku:

$$r_c = e(\lambda z + 2 - S_{fa}). \quad (9)$$

Granična vrednost temene debljine. Veća širina zupca i manja širina međuzublja su povoljne karakteristike za zupčanike reduktora, međutim kod hidrauličnih mašina to se ne preporučuje zato što dovodi do povećanja dimenzija pri istom zapreminskom protoku. Osim toga, u slučaju kada su zupci spoljašnjeg zupčanika konstruktivno izvedeni u vidu valjčića, da bi se obezbedila pravilna montaža potrebno je da r_s bude manje od $d = e\lambda z$, što se u kombinaciji sa jednačinama (7) i (8) može izraziti sledećim uslovom za $(r_{cmin})_2$:

$$r_c > 2e. \quad (10)$$

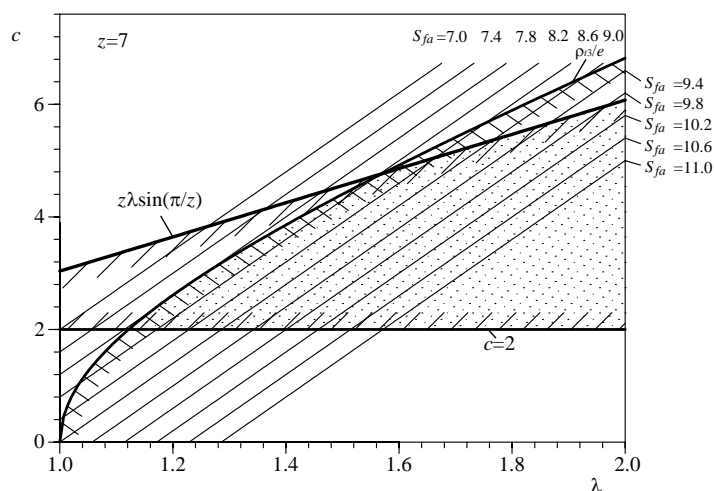
Veličina poluprečnika ekvidistante se, za date konstruktivne parametre, bira iz intervala

$$r_{cmin} < r_c < r_{cmax}, \quad (11)$$

pri čemu se za r_{cmin} uzima veća od vrednosti dobijenih prema izrazima (9) i (10), a za r_{cmax} se uzima manja od vrednosti dobijenih prema izrazima (5) i (6).

Polazeći od analitičkih zavisnosti izvedenih za postavljena geometrijska ograničenja data je njihova grafička interpretacija na slici 4, pri čemu je uveden koeficijent $c = r_c/e$.

Na osnovu grafičke interpretacije dobijenih rezultata može da se odredi domen praktične primene razmatranih geometrijskih parametara za unutrašnji zupčasti par sa modifikovanim epitrohidnim ozubljenjem.



Slika 4: Dijagram za izbor geometrijskih parametara trohoidne pumpe

5. ZAKLJUČAK

Osnovni cilj ovog rada bio je određivanje ograničenja pri definisanju profila kako bi se utvrdili domeni praktične primene geometrijskih parametara zupčastog para. U tom cilju razmatrani su uslovi koji dovode do pojave podsecanja i interference profila, kako pri njihovoj izradi tako i u procesu sprezanja. Dobijene analitičke zavisnosti su grafički predstavljene u vidu dijagrama za izbor parametara profila.

ZAHVALNOST

Ovaj rad sadrži rezultate istraživanja izvedenih u okviru projekta (TR-6218A) koga finansira Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Savelov A.A., Ploskie krivie, Fizmatgiz, Moskva, 1960.
- [2] Robinson F. J., Lyon J. R., An Analysis of Epitrochoidal Profiles With Constant difference Modification Suitable for Rotary Expanders and Pumps, Journal of Engineering for Industry, Trans. ASME, pp. 161-165, Feb. 1976.
- [3] Beard J. E., Yannitell D. W., Pennock G. R., The effects of the generating pin size and placement on the curvature and displacement of epitrochoidal gerotors, Mechanism and Machine Theory 27 (4), pp. 373-389, 1992.
- [4] Maiti R., Sinha G. L., Limits on modification of epitrochoid used in rotary piston machines and the effects of modification on geometric volume displacement and ripple, Ingenieur-Archiv 60, pp. 183-194, 1990.
- [5] Rosić B., Planetarni prenosnici, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2003.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

ANALIZA TROŠKOVA OBRADNE ODVALNIM GLODANJEM

B. Nedić¹⁾, N. Vesić²⁾, Z. Stošić³⁾

Rezime: U radu su prikazani rezultati analize troškova obrade odvalnim glodanjem sa aspekta vremena obrade, pohabanosti alata i troškova oštrenja. Pokazano je da su troškovi obrade najmanji sa odvalnim glodalima sa TiN prevlakama kod kojih su manje vrednosti pohabanosti pre oštrenja. Ispitivanje je realizovano u proizvodnim uslovima Zastava automobila u Kragujevcu

Ključne reči: Odvalno glodanje, troškovi alata, TiN prevlake

ANALYSES OF HOBB MILLING EXPENCES

Summary: In this work are presented the results of hobb milling expences from aspect of time, tool wear and sharpening expences. It is shown that expences are the lowest with hobb milling cutters with TiN coating, where are lower values for wear parameters. Investigation is realised in Zastava cars in Kragujevac conditions.

Key words: hobb milling, tool expences, TiN coatings

1. UVOD

Serijska i masovna proizvodnja cilindričnih zupčanika se vrši odvalnim glodanjem (metoda PFAUTER) i rendisanjem (metoda FELLOWS). Obrada odvalnim glodanjem je zasnovana na principu relativnog kotrljanja između alata i predmeta obrade. Sam proces je dosta kompleksan, alat - odvalno glodalo kojim se vrši obrada je veoma složen za izradu, tako da je i njegova cena visoka, što za posledicu ima povećane troškove obrade. Da bi se povećala postojanost odvalnih glodala, a samim tim i smanjili troškovi obrade proizvodne operacije, na odvalna glodala se nanose tvrde prevlake. To su jedinjenja nitrida, karbida, borida sledećih metala: Ti, Zr, Hf, V, W, Cr, Mo... Najveću primenu imaju TiN, zbog hemijske postojanosti, visoke tvrdoće, žilavosti i otpornosti na habanje. Prevlake se dobijaju PVD postupkom (fizičko taloženje iz gasovite faze).

2. USLOVI ISPITIVANJA

U cilju optimizacije iskorišćenja alata složene geometrije i većih vrednosti u okviru redovnih aktivnosti službe za praćenje i planiranje alata P.C. "Mehanička

¹⁾ Prof. dr Bogdan Nedić, Mašinski fakultet, Kragujevac, nedic@kg.ac.yu

²⁾ Nataša Vesić, dipl. ing., Zastava automobili, Kragujevac, nacco@verat.net

³⁾ Zoran Stošić, dipl. ing., Zastava automobili, Kragujevac

obrada", Zastava automobila u Kragujevcu vrši se konstantno praćenje veka alata i analiziraju troškovi obrade. Pored praćenja stanja alata i broja obrađenih predmeta obrade, posebna pažnja se posvećuje maksimalnom iskorišćenju veka alata i analizi mogućnosti smanjenja troškova. Kod svakog odvalnog glodala, nakon dostizanja kritične pohabanosti vrši se merenje habanja i definiše dodatak za oštrenje.

U okviru rada prikazan je deo rezultata ispitivanja dobijen tokom 2006. godine, pri čemu se može konstatovati da su ostvarene odgovarajuće uštede. U tabelama 1, 2 i 3 su prikazane osnovne karakteristike tri obradna procesa u kojima je vršeno ispitivanje sa alatima bez i sa prevlakama TiN. U toku praćenja stanja alata i broja obrađenih predmeta obrade usled neadekvatne pripreme operacije i pozicioniranja alata od strane radnika došlo je u nekoliko slučajeva do značajnijeg oštećenja alata, krzanja i znatnog smanjenja ukupnog veka.

Tabela 1. Osnovne karakteristike procesa 1

Mašina 1: glodalica PFAUTER	
Operacija 100: Ozubljenje	
Predmet obrade: zupčanik V brzine – izvozni program	
Rezni alat 1: modulno odvalno glodalo m=2; ϕ 90x140	
a) alat bez prevlake TiN	b) alat sa prevlakom TiN
Broj urađenih komada n=600	Broj urađenih komada n=900

Tabela 2. Osnovne karakteristike procesa 2

Mašina 2: glodalica PFAUTER	
Operacija 180: Ozubljenje rikverca	
Predmet obrade: snop zupčanika V brzine i hoda u nazad – izvozni program	
Rezni alat 2: modulno odvalno glodalo m=2,75; ϕ 90x138	
a) alat bez prevlake TiN	b) alat sa prevlakom TiN
Broj urađenih komada n=400	Broj urađenih komada n=600

Tabela 3. Osnovne karakteristike procesa 3

Mašina 3: glodalica PFAUTER	
Operacija 70: Ozubljenje	
Predmet obrade: zupčanik III brzine - domaći program	
Rezni alat 3: modulno odvalno glodalo m=1,5; ϕ 95x150	
alat sa prevlakom TiN	
Broj urađenih komada n=850	

Informacije o pohabanosti alata nakon obrade određenog broja predmeta obrade sadrže vrednosti pohabanog pojasa po leđnoj površini i to ulaznog boka, temena i izlaznog boka, slika 1. U zavisnosti od pohabanosti alata pre svakog oštrenja definisan je dodatak za oštrenje.

Troškovi alata se proračunavaju prema izrazu:

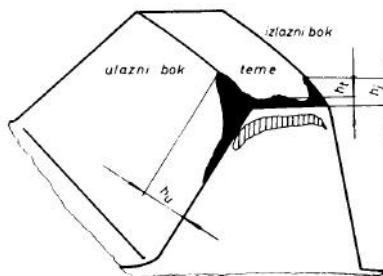
$$A = \left(nk_1 t_1 + k_2 t_2 + \frac{Ca}{i+1} \right) \frac{tg}{T}$$

gde su:

n - faktor koji uzima u obzir vrednost rada stručnog radnika,

t_1 - vreme zamene pohabanog alata novim,

k_1 - bruto lični dohodak proizvodnog radnika,
 t_2 - vreme oštrenja alata,
 k_2 - bruto lični dohodak oštrača,
 Ca - cena lata,
 i - broj oštrenja,
 tg - glavno vreme obrade dela
 T - postojanost alata.



Slika 1. Oblik habanja zuba odvalnog glodala

3. REZULTATI I ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA

Kontinuiranim praćenjem stanja alata i proračunom troškova alata dolazi se do podataka u tabelama 4, 5 i 6. U tabelama su date prosečne vrednosti broja obrađenih predmeta obrade, ukupan broj oštrenja i srednje vreme oštrenja alata. Cene u tabelama su izražene u EUR-ima.

Tabela 4. Rezultati ispitivanja obradnog procesa 1

Cena alata (EUR)	Broj obrađenih kom. sa 1 oštrenjem	Broj oštrenja	Cena oštrenja	Ukupna vrednost alata	Ukupan broj obrađenih komada	Vreme oštrenja, min	Troškovi alata po kom. EUR
a) Pregled troškova reznog alata bez prevlake							
800	600	15	195	995	9000	60	0,1105
800	500	15	195	995	7500	60	0,132
b) Pregled troškova reznog alata sa TiN prevlakom							
890	900	15	195	1085	13500	60	0,08
890	750	15	195	1085	11250	60	0,096
890	700	17	170	1060	11900	50	0,089

Tabela 5. Rezultati ispitivanja obradnog procesa 2

Cena alata (EUR)	Broj obrađenih kom. sa 1 oštrenjem	Broj oštrenja	Cena oštrenja	Ukupna vrednost alata	Ukupan broj obrađenih komada	Vreme oštrenja, min	Troškovi alata po kom. EUR
a) Pregled troškova reznog alata bez prevlake							
755	400	15	195	950	6000	60	0,158
b) Pregled troškova reznog alata sa TiN prevlakom							
845	600	15	195	1040	9000	60	0,115
845	500	25	162,5	1007,5	12500	30	0,0806

Tabela 6. Rezultati ispitivanja obradnog procesa 3

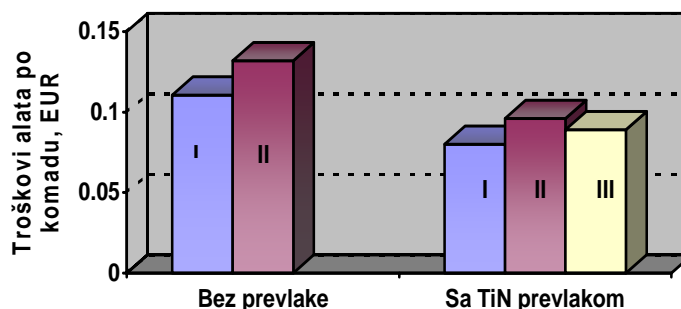
Cena alata (EUR)	Broj obrađenih kom. sa 1 oštrenjem	Broj oštrenja	Cena oštrenja	Ukupna vrednost alata	Ukupan broj obrađenih komada	Vreme oštrenja, min	Troškovi alata po kom. EUR
a) Alat sa povećanim habanjem i oštećenjima							
800	850	13	338	1138	11050	120	0,103
b) Alat sa normalnim habanjem							
800	850	15	195	995	12750	60	0,08

Na slici 2 prikazani su troškovi alata po komadu za ispitivana glodala za proces obrade 1. Može se uočiti da su troškovi alata bez prevlake 30 % i više veći. Ovo opravdava činjenicu da se u Zastava automobilima koriste alati za ozubljenje sa prevlakama. Alati bez prevlaka se koriste samo u nedostatku alata sa TiN prevlakama.

Takođe, uočava se razlika u troškovima u okviru ispitivane grupe alata. Osnovni razlozi za postojanje prezentiranih razlika su u pripremi procesa obrade: mašine, steznog pribora i režima obrade. Usled neadekvatne pripreme operacije obrade i režima, dolazilo je do brzog ulaska alata u zahvat sa predmetom obrade što je imalo za posledicu trenutni otkaz alata usled oštećenja, krzanja ili intenzivnog habanja, odnosno znatno smanjenje veka alata, povećan dodatak za obradu oštrenjem, smanjen mogući broj oštrenja, povećano vreme oštrenja i smanjen prosečni broj obrađenih komada.

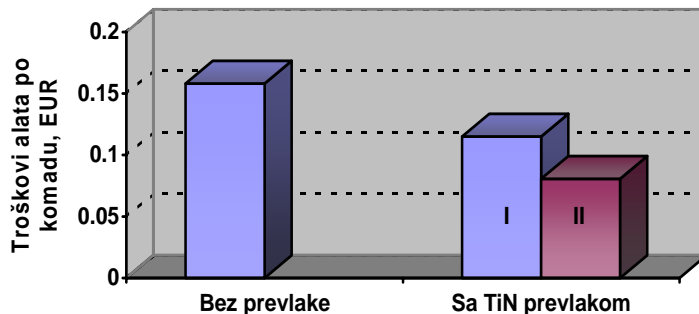
Može se konstatovati da se minimalni troškovi alata postižu uz maksimalnu primenu uputstava za rad na mašini i kvalitetnu pripremu i izvođenje operacija (alat I sa TiN prevlakom). U ovom slučaju nije dolazilo do otkaza alata usled krzanja ili intenzivnog habanja. Dominantno je kontinualno habanje do usvojenog kriterijuma habanja 0,2 - 0,3 mm.

Smanjenje kriterijuma habanja (alat III sa prevlakom) dovodi do prosečnog smanjenja broja obrađenih komada i povećanja broja oštrenja. U ovom slučaju troškovi alata su manji u odnosu na prosečne troškove. Slučaj obrade sa alatom II je najčešći slučaj ostvarivan pre početka analize i praćenja alata.



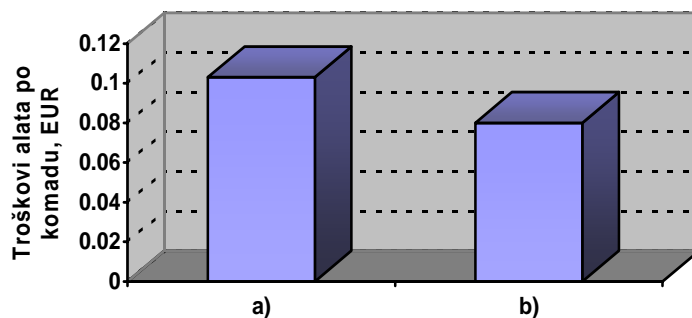
Slika 2. Troškovi alata po komadu za proces obrade 1

Na slici 3 prikazani su troškovi alata po komadu za operaciju obrade 2. Može se primetiti da su troškovi alata sa prevlakama daleko manji od troškova alata bez prevlaka. Znatnim smanjenjem kriterijuma habanja (alat II sa prevlakom) postignut je manji prosečan broj obrađenih komada između dva oštrenja ali je broj oštrenja znatno porastao uz znatno smanjenje vremena i cene oštrenja. To je za posledicu imalo znatno smanjenje troškova alata.



Slika 3. Troškovi alata po komadu za proces obrade 2

U tabeli 6 i na slici 4 prikazano je poređenje alata sa prevlakama kod koga je usled neadekvatne pripreme i izvođenja operacije došlo više puta do oštećenja i povećanog habanja - a) i alata sa normalnim habanjem - b).



Slika 4. Troškovi alata po komadu za proces obrade 3

ZAKLJUČAK

Prezentirani rezultati ispitivanja ukazuju na značaj praćenja alata i rezultate smanjenja troškova koji se mogu postići na različite načine. Očigledno je da primena skupljih alata sa prevlakama od TiN daje znatno manje troškove. Takođe, veoma značajan uticaj na troškove ima priprema i izvođenje operacije. Najčešće nepažnja radnika dovodi do oštećenja alata i neadekvatnog habanja. To ima za posledicu smanjenje veka alata, smanjenje broja mogućih oštrenja, smanjenje broja urađenih komada a time do povećanja troškova alata.

Ako se prosečni broj obrađenih komada pomnoži sa troškovima alata za različite slučajeve, može se doći do podataka o uštedama koje se mogu ostvariti.

LITERATURA

1. Ivković, B., Obrada metala rezanjem, Jugoslovensko društvo za tribologiju, Kragujevac, 1994.
2. Lazić, M., Nedić, B., Mitrović, S., Tehnologija obrade metala rezanjem, Izbor režima rezanja, Mašinski fakultet, Jugoslovensko društvo za tribologiju, Kragujevac, 2002.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

MODEL ZA ODREĐIVANJE TROŠKOVA LASERSKOG SEČENJA

M. Radovanović¹

Rezime: Poznavanje investicionih i operativnih troškova laserske obrade omogućuje procenu profitabilnosti obrade. Pri planiranju kupovine laserske mašine od odlučujućeg značaja je vrednost investicije - cena koštanja mašine ali i cena radnog sata mašine. Veliki investicioni i operativni troškovi moraju biti upoređeni sa odgovarajućim finansijskim efektima u skladu sa ekonomskim kriterijumima ali i sa tehnološkim i proizvodnim prednostima koje primena laserske tehnologije pruža. U radu je prikazan model za određivanje troškova obrade kod laserskog sečenja. Određivanje troškova obrade je prikazano na primeru industrijske CO₂ laserske mašine za sečenje.

Ključne reči: laser, lasersko sečenje, trošak

MODEL FOR DETERMINATION COSTS OF LASER CUTTING

Abstract: Knowledge of laser machining investment and operating costs enables estimation of machining profitability. To plan of buying laser machine from priority significance is investment's value - prime cost of machine but and machining cost per hour. The high investment and operating costs must be comparable with corresponding financial effects according to economic criterions but and with technological and productive advantages which application of laser technology gives. In this paper is presented a model for determination of machining costs by laser cutting. Determination of machining costs is presented at example of industrial CO₂ laser cutting machine.

Key words: laser, laser cutting, cost

1. UVOD

Veliko investiciono ulaganje je potrebno za kupovinu laserske mašine za sečenje. Debljina lima koja može da se seče zavisi od snage lasera. Sa povećanjem snage lasera povećava se i cena mašine. Cena lasera velike snage može biti i do nekoliko stotina hiljada EUR-a. Većina CO₂ lasera košta između 70 i 100 EUR po vatu snage lasera. Cenu laserske mašine, pored cene lasera, formiraju i cene ostalih komponenata. Pored lasera, lasersku mašinu za sečenje čine: sistem za napajanje električnom energijom, sistem za napajanje gasovima, sistem za kretanje, sistem za prenos laserskog snopa, rezna glava, upravljačka jedinica, sistem za hlađenje i druge komponente.

¹⁾ Prof. dr Miroslav Radovanović, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, Niš, Srbija,
mirado@masfak.ni.ac.yu

Kada se razmatraju troškovi obrade na laserskoj mašini treba uzeti u obzir sve troškove. Za analizu se najčešće uzimaju troškovi električne energije i gasova (laserskog i pomoćnog). Često se zanemaruju troškovi održavanja, koji nisu zanemarljivi, npr. troškovi zamene optike jednom godišnje mogu nadmašiti troškove gasova. Tri faktora čine analizu troškova teškom: 1) rezultati sečenja mogu biti dobijeni različitim kombinacijama parametara rezanja, 2) fleksibilnost procesa obrade i mogućnost sečenja različitih oblika je u većini slučajeva teško analizirati, 3) proizvođači mašina različito vrednuju pojedine faktore na troškove obrade. Dobra analiza troškova uzima u obzir sva tri faktora.

2. TROŠKOVI OBRADE

Troškovi obrade, odnosno cena radnog sata laserske mašine, obuhvata troškove vezane za rad mašine, koji mogu biti fiksni i promenljivi, i troškove rada radnika za mašinom. Rad na laserskoj mašini zahteva iskusne radnike za rad na mašini, programiranje i održavanje mašine. U analizi troškova njihov rad je uključen u cenu radnog sata mašine.

Troškovi rada mašine mogu biti fiksni i promenljivi i analiziraju se na bazi jednog radnog sata. Troškovi rada laserske mašine se mogu odrediti pomoću jednačine:

$$C = C_d + C_v \quad (1)$$

gde je: C (EUR/h) – troškovi po radnom satu mašine, C_d (EUR/h) – fiksni troškovi po radnom satu mašine, C_v (EUR/h) – promenljivi troškovi po radnom satu mašine.

Fiksni troškovi se odnose na amortizaciju laserske mašine u toku rada. Određuju se pomoću jednačine:

$$C_d = \frac{I}{D \cdot L_a} \quad (2)$$

gde je: I (EUR) – cena laserske mašine, D (god.) – amortizacioni vek mašine, L_a (h/god.) – broj radnih sati mašine za godinu dana.

Promenljivi troškovi obuhvataju troškove električne energije, laserskog gasa, održavanja mašine, pomoćnog gasa i vode. Mogu se odrediti pomoću jednačine:

$$C_v = C_e + C_{lg} + C_m + C_{ag} + C_{H_2O} \quad (3)$$

gde je: C_e (EUR/h) – troškovi električne energije po radnom satu mašine, C_{lg} (EUR/h) – troškovi laserskog gasa po radnom satu mašine, C_m (EUR/h) – troškovi održavanja po radnom satu mašine, C_{ag} (EUR/h) – troškovi pomoćnog gasa po radnom satu mašine, C_{H_2O} (EUR/h) – troškovi vode po radnom satu mašine.

Troškovi električne energije se mogu odrediti pomoću jednačine:

$$C_e = c_e \cdot E \quad (4)$$

gde je: c_e (EUR/kWh) – cena električne energije, E (kW) – električna snaga potrebna za rad mašine.

Troškove laserskog gasa imamo kod CO_2 laserske mašine za sečenje. CO_2 laser radi sa smešom gasova koja se sastoji od: helijuma, ugljen-dioksida i azota. Troškovi laserskog gasa se mogu odrediti pomoću jednačine:

$$C_{lg} = C_{He} + C_{CO_2} + C_{N_2} \quad (5)$$

gde je: C_{He} (EUR/h) – troškovi helijuma po radnom satu mašine, C_{CO_2} (EUR/h) – troškovi ugljen-dioksida po radnom satu mašine, C_{N_2} (EUR/h) – troškovi azota po radnom satu mašine.

Troškovi helijuma se mogu odrediti pomoću jednačine:

$$C_{He} = c_{He} \cdot Q_{He} \quad (6)$$

gde je: c_{He} (EUR/m³) – cena helijuma, Q_{He} (m³/h) – potrošnja helijuma.

Troškovi ugljen-dioksida se mogu odrediti pomoću jednačine:

$$C_{CO_2} = c_{CO_2} \cdot Q_{CO_2} \quad (7)$$

gde je: c_{CO_2} (EUR/m³) – cena ugljen-dioksida, Q_{CO_2} (m³/h) – potrošnja ugljen-dioksida.

Troškovi azota se mogu odrediti pomoću jednačine:

$$C_{N_2} = c_{N_2} \cdot Q_{N_2} \quad (8)$$

gde je: c_{N_2} (EUR/m³) – cena azota, Q_{N_2} (m³/h) – potrošnja azota.

Troškovi održavanja po radnom satu mašine se mogu odrediti pomoću jednačine:

$$C_m = \frac{M}{L_a} \quad (9)$$

gde je: C_m (EUR/h) – troškovi održavanja mašine po radnom satu mašine, M (EUR/god.) – troškovi održavanja mašine za godinu dana, L_a (h/god.) – broj radnih sati mašine za godinu dana.

Pri sečenju metala koristi se pomoćni gas. Najčešće se koriste kiseonik i azot.

Troškovi pomoćnog gasa se mogu odrediti pomoću jednačine:

$$C_{ag} = c_{ag} \cdot Q_{ag} \quad (10)$$

gde je: C_{ag} (EUR/h) – troškovi pomoćnog gasa po radnom satu mašine, c_{ag} (EUR/m³) – cena pomoćnog gasa, Q_{ag} (m³/h) – potrošnja pomoćnog gasa.

Voda se koristi za hlađenje lasera i sistema za prenos laserskog snopa. Troškovi vode se mogu odrediti pomoću jednačine:

$$C_{H_2O} = c_{H_2O} \cdot Q_{H_2O} \quad (11)$$

gde je: C_{H_2O} (EUR/h) – troškovi vode po radnom satu mašine, c_{H_2O} (EUR/m³) – cena vode, Q_{H_2O} (m³/h) – potrošnja vode.

Troškovi obrade na CO₂ laserskoj mašini po radnom satu mašine, saglasno jednačinama (10.4) do (10.13) se mogu predstaviti jednačinom u obliku:

$$C = C_d + C_e + C_{lg} + C_m + C_{ag} + C_{H_2O} \quad (12)$$

odnosno:

$$C = C_d + C_e + C_{He} + C_{CO_2} + C_{N_2} + C_m + C_{ag} + C_{H_2O} \quad (13)$$

Tabela 1 prikazuje troškove obrade po radnom satu za CO₂ lasersku mašinu za sečenje TLS-1A, "Optical technologies", Plovdiv, Bugarska, sa laserom "Hebar 1A" snage 1300W i dvoosnim numeričkim upravljanjem "ZIT500M". Amortizacioni vek mašine je sedam godina, a broj radnih sati godišnje je 2000.

3. ZAKLJUČAK

Investiciona ulaganja u lasersku mašinu su velika. Sa povećanjem snage lasera povećava se i cena mašine. Od snage lasera zavisi debljina lima koja može da se seče. Zbog toga je potrebna detaljna analiza troškova kako bi se tačno utvrdila cena radnog sata laserske mašine i ekonomski efekti. Metodologija određivanja troškova laserskog sečenja detaljno je prikazana na primeru CO₂ laserske mašine za sečenje, snage lasera 1300 W. Troškovi po radnom satu laserske mašine za sečenje su manji u odnosu na troškove komparativnih tehnologija kojim se konturno seku tanki limovi. Pored ekonomskih pokazatelja, prednosti primene laserskog sečenja su i u boljem kvalitetu reza i većoj tačnosti, što čini ovu tehnologiju atraktivnom za primenu.

Tabela 1. Troškovi obrade CO₂ laserske mašine za sečenje

Elementi troškova	Lasersko sečenje kiseonikom
Cena mašine	I=120.000 EUR
Amortizacioni vek mašine	D=7 godina
Broj radnih sati mašine za godinu	L _a =2.000 h/god
Trošak amortizacije mašine	$C_d = \frac{I}{D \cdot L_a} = 8,57 \text{ EUR / h}$
Električna snaga mašine	E=35kW
Cena električne energije	c _e =0,12EUR/kWh
Troškovi električne energije	C _e = c _e · E = 4,20EUR / h
Potrošnja helijuma	Q _{He} =0,085m ³ /h
Cena helijuma	c _{He} =20EUR/m ³
Troškovi helijuma	C _{He} = c _{He} · Q _{He} = 1,70EUR / h
Potrošnja ugljen-dioksida	Q _{CO2} =0,005m ³ /h
Cena ugljen-dioksida	c _{CO2} =15EUR/m ³
Troškovi ugljen-dioksida	C _{CO2} = c _{CO2} · Q _{CO2} = 0,075EUR / h
Potrošnja azota	Q _{N2} =0,027m ³ /h
Cena azota	c _{N2} =7EUR/m ³
Troškovi azota	C _{N2} = c _{N2} · Q _{N2} = 0,189EUR / h
Troškovi održavanja za godinu	M=6000EUR/god.
Troškovi održavanja	$C_m = \frac{M}{L_a} = 3 \text{ EUR / h}$
Potrošnja pomoćnog gasa	Q _{O2} =5m ³ /h
Cena pomoćnog gasa	c _{O2} =1,2EUR/m ³
Troškovi pomoćnog gasa	$C_{O_2} = c_{O_2} \cdot Q_{O_2}$ C _{O₂} = 6EUR / h
Potrošnja vode	Q _{H2O} =4m ³ /h
Cena vode	c _{H2O} =0,5EUR/h
Troškovi vode	C _{H2O} = c _{H2O} · Q _{H2O} = 2EUR / h
Ukupni troškovi po radnom satu	25,73EUR/h

LITERATURA

- [1] Introduction to industrial laser materials processing, Rofin Sinar Laser, 2000.
- [2] Kramar D., Junkar M., The Development of a software tool for the selection of contour-cutting processes, Journal of Mechanical Engineering 49(2003)6, 346-365
- [3] Kramar D., Junkar M., Laser and Abrasive Waterjet Cutting Economics, International Sheet Metal Review, 2, 38-41.
- [4] Radovanovic M., Laser cutting cost considerations, International scientific conference "UNITECH'02", Gabrovo, Bulgaria, 2002, pp. 362-366.
- [5] Radovanović M., Economic aspects of CO₂ laser cutting, International scientific conference "UNITECH'05", Gabrovo, Bulgaria, 2005, pp. II-199-204.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

NOVI PRISTUP IZRADI MATRICE PRESA ZA PELETIRANJE

D. Temeljkovski ¹⁾, M. Janković ²⁾, B. Rančić ³⁾, S. Nusev ⁴⁾

Rezime – Najopterećeniji deo mašine za peletiranje drvno celuloznih otpadaka jeste matrica, tj. sito sa definisanim otvorima. Izrada konusa na otvorima matrice mašine za peletiranje do sada je vršeno ručno. Ovaj način izrade ne omogućava kontrolisanje dubine konusa pri izradi sita. Posledica toga jeste to da dubina konusa kod svih otvora nije ista što dovodi do nejednakog trošenja (habanja) potisnih valjaka i matrice. Kontrolisanje dubine konusa potrebno je radi praćenja otpora potiskivanja smeše otvore matrice. To nas je motivisalo da postavimo sebi zadatak da konstruišemo pomoćni pribor za preciznu izradu konusa na otvorima matrice. Pribor smo konstruisali, te u narednoj fazi pri izradi prototipa prese za peletiranje, matrica koja se bude radila biće izrađena uz pomoć novog sistema za izradu otvora koji je prikazan u ovom radu.

Ključne reči – Peletiranje, matrica, presa, izrada konusa, pomoćni pribor

A NEW SYSTEMS MANUFACTURING MATRIX PRESS MACHINE FOR PALLETS

Abstract - The most loaded part of the press machine for manufacturing of the wood cellulose pellets is a matrix, i.e. a sieve with predefined hollows. The cone manufacturing of the matrix hollows on the press machine for pellets is made, at present, by hand. This type of manufacturing does not provide the cone depth control when the sieve is produced. The consequence is that the cone depth differs at each hollow which leads to unequal wear of forced cylinders and matrix. Controlling of the cone depth is required to monitor forced resistance of the mixture at the matrix hollow. That was good motivation to build a case of designing an auxiliary accessories in order to precise manufacturing of the cone on matrix hollows. The accessory is produced and for the next phase of a press machine for pellets production manufacturing, a matrix will be manufactured by using a new system for hollows production.

¹⁾ Dr Dragan Temeljkovski, red. prof Mašinski fakultet, Niš, temelj@masfak.ni.ac.yu

²⁾ Milirad Janković, saradnik Mašinski fakultet, Niš, mikijan@masfak.ni.ac.yu

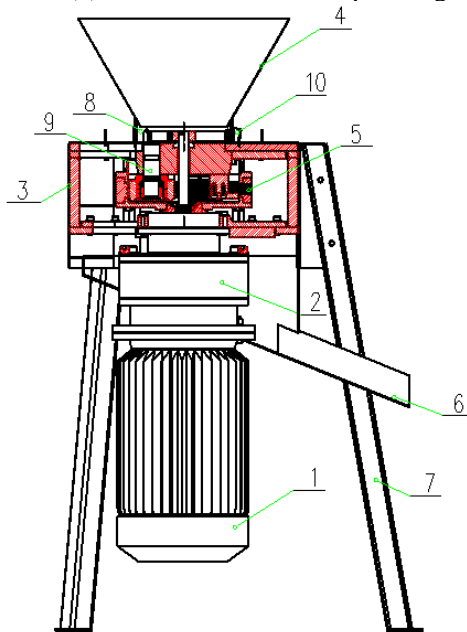
³⁾ Dr Bojan Rančić, van. prof. Mašinski fakultet, Niš, bojanr@masfak.ni.ac.yu

⁴⁾ Prof. dr Stojance Nusev, Tehnički fakultet, Bitolj, Makedonija,
stolen@freemail.com.mk

1. UVOD

Peletirke modela "CERP-125" su mašine sa originalnom koncepcijom konstrukcije u ovoj oblasti u odnosu na mašine iste namene drugih proizvođača. Peletirke modela "CERP-125" su sa vertikalnom pogonskom osovnom a horizontalnim radnim organima koji proizvode pelete. Peletirke se proizvode u više veličina po kapacitetu, uloženoj električnoj energiji i veličini radnih organa. Projektovane su po istom principu i sa maksimalnim brojem unificiranih delova. Protok pogonske energije, protok materijala koji se prerađuje i način regulacije kapaciteta je identičan kod svih veličina peletirki "CERP-125". Dobro obučeni rukovalac peletirkom ima bezbroj mogućnosti u radu tj. proizvodnji "peleta" različitih veličina. Praksom i iskustvom će se osvedočiti da svaka nova komponenta (dodatak u recepturi) kao i njihov procentni (%) odnos u recepturi, proizvode specifične efekte u radu mašine, a kao rezultat mora biti kvalitetan proizvod po svim zahtevima tržišta.

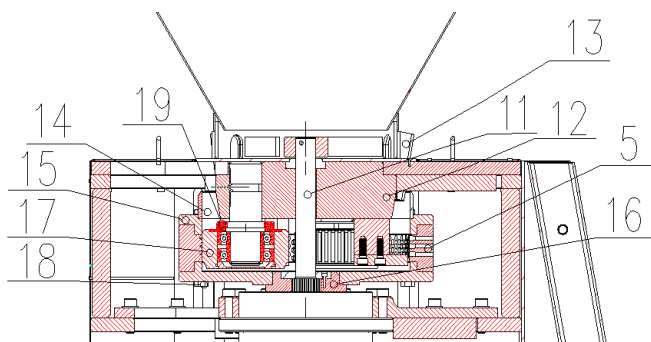
Pogonska energija elektro motora se predaje preko reduktora (2) - sl.1 na vratilo (11) koje na sebi nosi sklop matrice (5; 15; 16; 18). Kada se vratilo (11) i elementi matrice (5) okreću bez prisustva smeše (14) tj. na prazno, valjčići-potiskivači (17) mogu da se ne okreću jer između njih i matrice postoji tehnološko - funkcionalni zazor. Međutim, može se desiti da se neki od 2 ili 3 valjčića i okreće što u krajnjem slučaju nije nedostatak. Pritisni valjčići (17) su po funkciji "lenjivci" jer se na njih ne dovodi direktno pogonska energija. Uvođenjem smeše (14) u radni prostor matrice koja se okreće, dolazi do tehnološkog zaglavljivanja smeše između radnih površina matrice (5) i valjčića (17). Što je zaglavljivanje smeše jače, valjčići (17) dobijaju obimnu brzinu približnu obimnoj brzini matrice (5). Manja količina smeše (14) će se zalepiti na unutrašnju površinu matrice (5) i u obliku "filma" doći pod drugi ili treći valjčić (17).



Slika 1. 1- Elektro motor, 2- Reduktor, 3- Kućište, 4- Usipni koš,
5- Matrica, 6- Rešet, 7- Nogare – noge, 8- Regulator protoka,
9- Ekscentrična osovina, 10- Hranilica

Pogonski elektro motor (1) je trofazni asihroni (Z.K.) sa usklađenim tehničkim karakteristikama prema kapacitetu peletirke. Elektro motor (1) je direktno vezan prirubnicom za kućište reduktora (2). Reduktor (2) je prirubnicom pričvršćen na kućište peletirke (3). U reduktor se sipa odgovarajuće reduktorsko ulje do kontrolnog otvora sa čepom. Pogonski mehanizam (11) za nosač matrice spojen je sa pogonskim reduktorom pomoću lančaste spojnice. Horizontalna matrica (5) sa nosačem je ugrađena na rukavac pogonskog mehanizma (11).

Brašnasta smeša (iz mešalice) sipa se u usipni koš (4), dolazi sprovednom cevi do hranilice (10) koja na sebi ima kose lamele za usmerenje i potiskivanje smeše ka pritisnim valjcima u matrici. Količina smeše, koja ulazi u matricu (5), reguliše se prstenastim zasunom sa tri vertikalna usmerivača smeše u matricu. Usmerivači prekrivaju kose proporcionalne proreze na hranilici (3 kom.).



Slika 2. 5 - Izmenjiva matrica, 11- Pogonsko vratilo, 12- Telo, nosač pogonskog mehanizma, 13- Usmerivač smeše na regulatoru, 14- Smeša sirovine u prihvataču, 15- Gornji poklopac, 16- Glavčina nosača matrice, 17- Potiskivači – valjčići, 18- Vijci sklopa matrice, 19- Ploča sa lavirintima.

Uključivanjem elektro utikača u odgovarajuću trofaznu elektro utičnicu, mašina se stavlja pod napon i spremna je za upotrebu. Puštanje mašine u rad ili zaustavljanje iste vrši se pomoću centralnog elektro prekidača .

Pri prvom uključivanju elektro motora odmah prekontrolisati smer okretanja matrice. Smer okretanja je u pravcu strelice koja se nalazi na donjoj ivici osnovnog kućišta peletirke. Ako je smer suprotan od strelice treba zameniti mesta dve elektro faze na elektro priključnici.

2. KLASIČAN PRISTUP IZRADE MATRICE

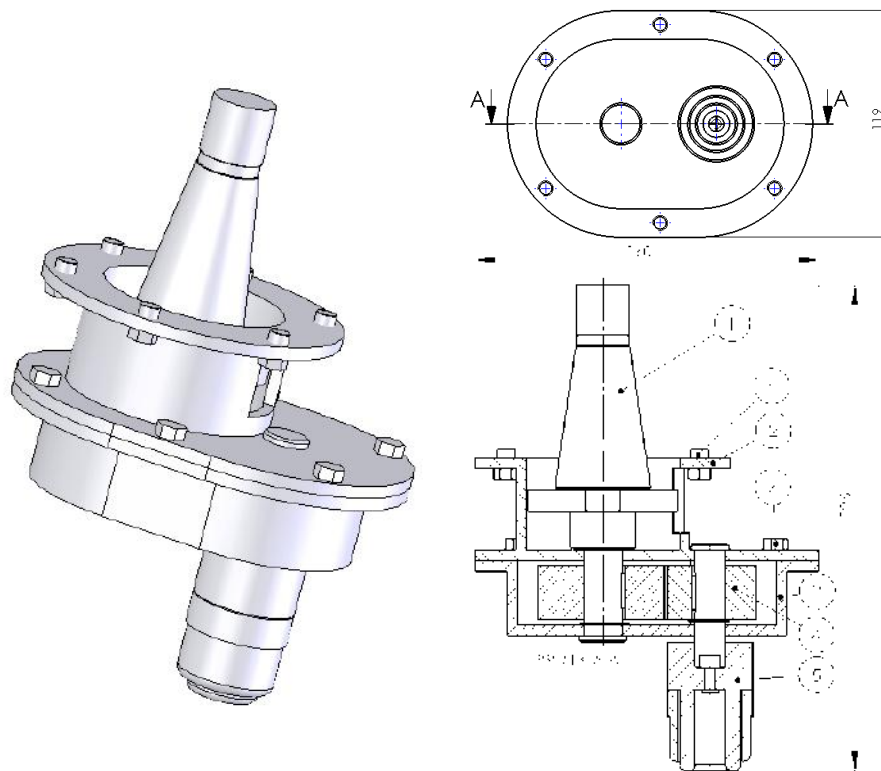
Kod klasičnog pristupa izrade konusa na otvorima matrice korišćeno je konično glodalo, koje se montira na običnu ručnu bušilicu. Na ovaj način, kao što je već navedeno, nemoguće je postići jednaku visinu konusa kod svih otvora i nemoguće je izraditi ispravan konus čija se osa poklapa sa osom već izrađenog otvora.

Sve ove nedostatke otklanjamo primenom novog pristupa izrade matrice koji je dat u sledećem poglavlju.

3. NOVI PRISTUP IZRADE MATRICE

Na Katedri za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Nišu isprojektovan je pomoćni pribor koji će omogućiti izradu otvora u matrici prese za peletiranje sa tačno definisanim parametrima (visina konusa). Osnovni delovi ovog specijalnog pomoćnog pribora za obradu konusa na otvorima matrice su:

1. morze konus
2. gornji deo kućišta
3. donji deo kućišta
4. cilindrični zupčasti par sa kosim zupcima
5. stezna glava
6. vijci koji služe za montiranje pribora na mašinu
7. vijci koji služe za spajanje gornjeg i donjeg dela kućišta.

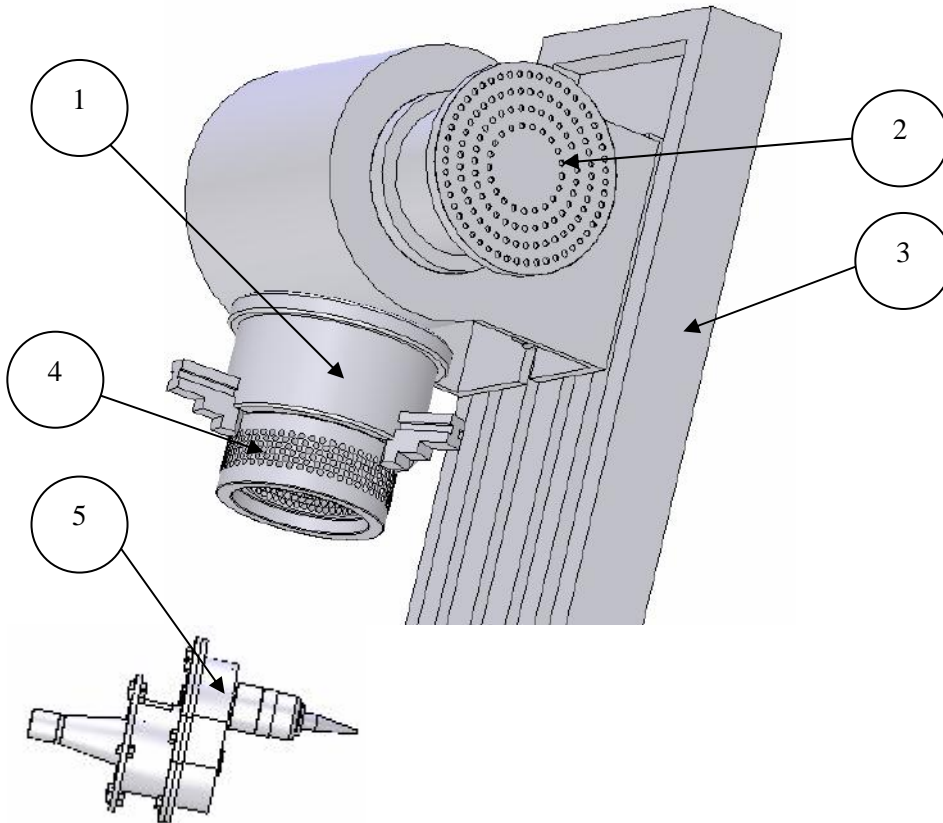


Slika 3. Izgled pomoćnog uređaja za izradu definisanih parametara otvora matrice.

Ovaj uređaj je projektovan za montažu na univerzalnoj glodalici koja se nalazi u Laboratoriji za mašine alatke i mašinsku obradu na Katedri za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Nišu, proizvođača Prvomajska kada je na njoj postavljeno vertikalno vratilo.

Upotreba ovog uređaja sastoji se u sledećem:

- radni komad, koji je u našem slučaju matrica, steže se u podeonom aparatu koji je montiran na radni sto mašine,
- pomoćni uređaj, u kome je prethodno postavljeno odgovarajuće glodalice, se pomoću vijaka (6) montira na glodalicu,
- u našem slučaju dubina konusa iznosi 9,1 [mm], što se može ostvariti na ovoj mašini jer je preciznost 0,02[mm] u pravcima X,Y i Z.



Slika 4. Položaj radnog komada (matrice) u univerzalnoj glodalici i položaj pomoćnog prubora.

4. ZAKLJUČAK

Ručnom izradom konusa na otvorima matrice nemoguće je dobiti preciznu visinu konusa što nam je potrebno radi praćenja otpora potiskivanja smeše kroz otvore matrice. Nejednaka visina konusa može dovesti i do neravnomernog trošenja (habanja) potisnih valjčića i matrice.

Nedostatke ručne izrade konusa možemo otkloniti upotrebom specijalnog pomoćnog prubora koji se montira na univerzalnu glodalicu, i pri tom koristimo merne podele na mašini za preciznu obradu matrice.

LITERATURA

- [1] Inovacioni projekat, RAZVOJ SISTEMA ZA PRESOVANJE DRVNOG OTPADA PELETIRANJEM, Rukovodilac Prof. dr. V. Miltenović, Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu, Niš, 2004-2005.
- [2] Popović, P, Temeljkovski, D.: Mašine za obradu deformisanjem – drugi deo, noseće strukture – *Univerzitet u Nišu*, Niš, 1999.
- [3] SZR „METALKOP“ Bački Jarak, Veljka Vlahovića 37, Uputstvo za upotrebu, održavanje, i bezbedan rad, <http://www.metalkop.com>,
- [4] Miltenović, V.: Mašinski elementi - oblici, proračun, primena. Univerzitet u Nišu - *Mašinski fakultet, Niš*, VI-dopunjeno izdanje 2006.
- [5] Tica M.: Razvoj sistema za presovanje drvnog otpada primenom metode TRIZ. *Magistarski rad*, Niš. 2004.
- [6] Miltenović, V.: Razvoj proizvoda – strategija, metode, primena. Univerzitet u Nišu - *Mašinski fakultet*, Niš, I - izdanje 2003.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

PROJEKTOVANJE MERNIH MESTA I DEFINISANJE MERNO-REGULACIONE OPREME MAŠINE ZA PELETIRANJE

B. Rančić ¹⁾, M. Janković ²⁾, D. Temeljkovski ³⁾, S. Nusev ⁴⁾

Rezime – Mašina za peletiranje drvno celuloznih otpadaka projektovana na Mašinskom fakultetu u Nišu je sa originalnim konceptijskim rešenjem u odnosu na mašine iste namene drugih proizvođača. Pošto se u narednom periodu planira izrada prototipa peletirke na osnovu preporuka proizvođača mašina i mogućim poteškoćama pri radu, mašinu treba opremiti odgovarajućom merno-regulacionom opremom u cilju preventivnog delovanja. Za našu mašinu planirano je: merenje temperature elektromotora i reduktora, merenje nivoa ulja u reduktoru, regulisanje protoka sirovine, merenje i regulisanje zazora između matrice i valjčića i regulisanje i način doziranja maziva u ležajevе valjčića. U radu su prikazani dati sistemi i njihova veza sa analiziranom presom.

Ključne reči : Peletiranje, merenje, merno-regulaciona oprema

DESIGN OF MEASURING POINTS AND DEFINING OF MEASUREMENT-REGULATION EQUIPMENT OF PELLETING MACHINE

Abstract - Pellet machine, designed at Mechanical Engineering Faculty, for wood cellulose waste products has original conceptual solution comparing with the machines of other manufacturers. In the next period it is planned a prototype construction of it. On the basis of machine manufacturer recommendations it is planned to provide the machine with adequate measuring equipment. The aim is to prevent expected potential problems at work operations with the machine. The measurements which are planned to be controlled are: electromotor and gear box temperature, oil level in gear box, discharge rate of waste, clearance between matrix and cylinder and oil adding to the cylinder bearings. In the article the system and its connections are shown with the analysed press machine.using a new system for hollows production.

Key words : Pellet machine, measurement, measuring equipment

1. UVOD

Peletirke modela "CERP-125" su mašine sa originalnom koncepcijom konstrukcije u ovoj oblasti u odnosu na mašine iste namene drugih proizvođača. Peletirke

¹⁾ Prof. dr Bojan M. Rančić, Mašinski fakultet, Niš, bojanr@masfak.ni.ac.yu

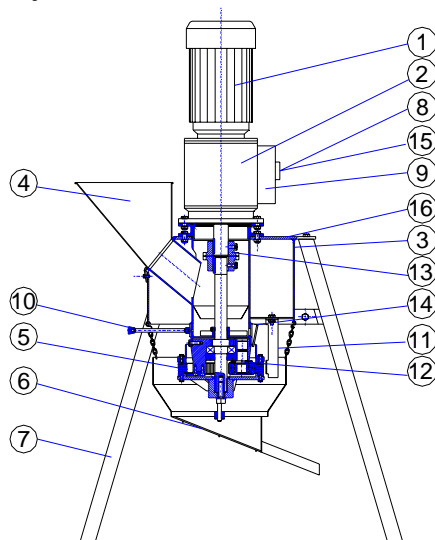
²⁾ Milirad D. Janković, saradnik Mašinski fakultet, Niš, mikijan@masfak.ni.ac.yu

³⁾ Prof. dr Dragan I. Temeljkovski, Mašinski fakultet, Niš, temelj@masfak.ni.ac.yu

⁴⁾ Prof. dr Stojance G. Nusev, Tehnički fakultet, Bitolj, MK, stolen@freemail.com.mk

modela "CERP - 125" su sa vertikalnom pogonskom osovinom a horizontalnim radnim organima koji proizvode pelete. Peletirke se proizvode u više veličina po kapacitetu, uloženoj električnoj energiji i veličini radnih organa. Projektovane su po istom principu i sa maksimalnim brojem unificiranih delova. Protok pogonske energije, protok materijala koji se prerađuje i način regulacije kapaciteta je identičan kod svih veličina peletirki "CERP-125". Dobro obučeni rukovalac peletirkom ima bezbroj mogućnosti u radu tj. proizvodnji "peleta" različitih veličina . Praksom i iskustvom će se osvedočiti da svaka nova komponenta (dodatak u recepturi) kao i njihov procentni (%) odnos u recepturi, proizvode specifične efekte u radu mašine, a kao rezultat mora biti kvalitetan proizvod po svim zahtevima tržišta.

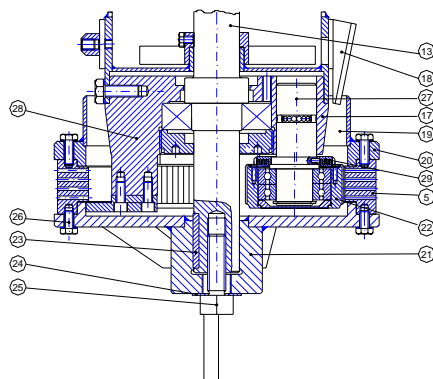
Pogonska energija elektro motora se predaje preko reduktora (2) - sl.1 na vratilo (13) koje na sebi nosi sklop matrice (5; 20; 21; 26) i vezne elemente (23; 24 i 25) . Kada se vratilo (13) i elementi matrice (5) okreću bez prisustva smeše (19) tj. na prazno, valjčići-potiskivači (22) mogu da se ne okreću jer između njih i matrice postoji tehnološko - funkcionalni zazor. Međutim, može se desiti da se neki od 2 ili 3 valjčića i okreće što u krajnjem slučaju nije nedostatak. Pritisni valjčići (22) su po funkciji "lenjivci" jer se na njih ne dovodi direktno pogonska energija. Uvođenjem smeše (19) u radni prostor matrice koja se okreće, dolazi do tehnološkog zaglavljivanja smeše između radnih površina matrice (5) i valjčića (22). Što je zaglavljivanje smeše jače, valjčići (22) dobijaju obimnu brzinu približnu obimnoj brzini matrice (5). Manja količina smeše (19) će se zalepiti na unutrašnju površinu matrice (5) i u obliku "filma" doći pod drugi ili treći valjčić (22).



Slika 1. 1- Elektro motor, 2- Reduktor, 3- Kućište, 4- Usipni koš, 5- Matrica, 6- Rešeto, 7- Nogare – noge, 8- Električni utikač, 9- elektro orman, 10- Regulator protoka, 11 - Lomač peleta, 12- Ekscentrična osovina, 13- Mehanički pogon, 14- Hranilica, 15- Centralni el. prekidač i 16- Fabrička tablica

Pogonski elektro motor (1) je trofazni asihroni (Z.K.) sa usklađenim tehničkim karakteristikama prema kapacitetu peletirke. Elektro motor (1) je direktno vezan prirubnicom za kućište reduktora (2). Reduktor (2) je prirubnicom pričvršćen na kućište peletirke (3). U reduktor se sipa odgovarajuće reduktorsko ulje do kontrolnog otvora sa

čepom. Pogonski mehanizam (13) za nosač matrice spojen je sa pogonskim reduktorom pomoću lančaste spojnice. Horizontalna matrica (5) sa nosačem je ugrađena na rukavac pogonskog mehanizma (13). Ravni klin u glavčini nosača matrice (5) obezbeđuje okretanje iste. Ekscentar rešeta (25) sl. 2 se uvrće u rukavac pogona (13) i posredstvom široke podloške sprečava da matrica (5) sklizne sa rukavca pogona (13).



Slika 2. 5 - Izmenjiva matrica, 5 - Izmenjiva matrica, 13 - Pogonsko vratilo, 17 - Telo, nosač pogonskog mehanizma, 18 - Usmerivač smeše na regulatoru, 19 - Smeša sirovine u prihvaćaju, 20 - Prihvatač jednodelni ili dvodelni, 21 - Glavčina nosača matrice, 22 - Ravni klin, 23 - Podloška, 24 - Vijak sa ekscentrom za rešeto, 25 - Vijci sklopa matrice, 26 - Ekscentrična osovina, 27 - Utvrđni vijak, 28 - Ploča sa lavirintima.

Rešeto (6) je obešeno lancima o kuke (3kom.) na kućište (3), a dno rešeta je navučeno na ekscentar (25) sl. 2. Pri okretanju matrice (5) i ekscentra, rešeto (6) se njiše. Okvir rešeta (6) ima ulogu sabirnika peleta i sitnih produkata. Njihanjem rešeta pelete se vode na uskladištenje, a sitni produkti propadaju kroz rešeto u sakupljač (sanduk). Usitnjeni drvni otpatci sipaju se u usipni koš (4), dolazi sprovodnom cevi do hranilice (14) koja na sebi ima kose lamele za usmerenje i potiskivanje smeše ka pritisknim valjcima u matrici. Količina smeše, koja ulazi u matricu (5), reguliše se prstenastim zasunom sa tri vertikalna usmerivača smeše u matricu. Usmerivači prekrivaju kose proporcionalne proreze na hranilici (3 kom.). Na hranilici su ugrađene ručice (10) - 3 kom.

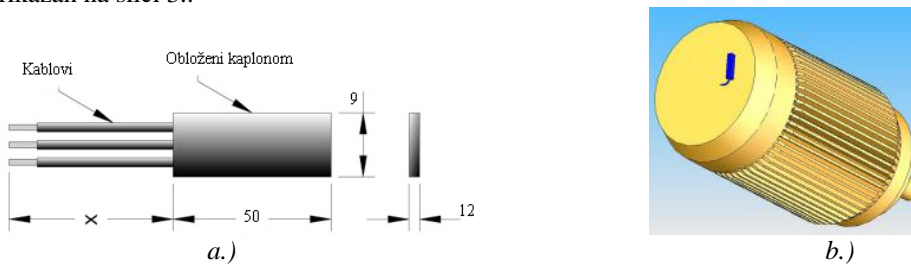
Uključivanjem elektro utikača (8) u odgovarajuću trofaznu elektro utičnicu, mašina se stavlja pod napon i spremna je za upotrebu. Puštanje mašine u rad ili zaustavljanje iste vrši se pomoću centralnog elektro prekidača (15). Pri prvom uključivanju elektro motora odmah prekontrolisati smer okretanja matrice. Smer okretanja je u pravcu strelice koja se nalazi na donjoj ivici osnovnog kućišta peletirke. Ako je smer suprotan od strelice treba zameniti mesta dve elektro faze na elektro priključnici.

2. PLAN UGRADNJE MERNIH UREĐAJA

Na osnovu preporuka proizvođača mašine o mogućim poteškoćama pri radu, mašinu treba opremiti odgovarajućom merno-regulacionom opremom u cilju preventivnog delovanja, a ona obuhvata merne uređaje za merenje sledećih veličina: merenje temperature elektromotora, merenje temperature reduktora, merenje nivoa ulja u reduktoru, regulisanje protoka sirovine, merenje i regulisanje zazora između matrice i valjčića i regulisanje količine i načina doziranja maziva u ležajeve valjčića.

2.1 Merenje temperature elektromotora

Izabran je kontaktni RTD senzor koji se lepi za kućište motora. Od senzora do digitalnog panela veza je preko kabla. Senzor je oznake: **321MP2CBA2**, proizvođača: RTD company, 15825 Central Avenue North East Ham Lake, MN 55304, USA, prikazan na slici 3.:

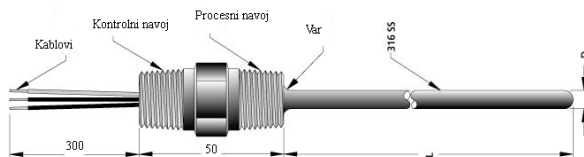


Slika 3. a.) Kontaktni RDT senzor i b.) Senzor u sklopu sa motorom.

Uređaj koji se koristi za obaveštenje o trenutnoj temperaturi je digitalni panel istog proizvođača oznake: 6881B1.

2.2 Merenje temperature ulja u reduktoru

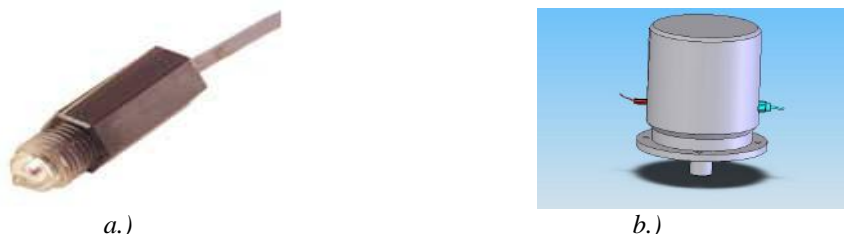
Izabran je umetnuti RTD senzor koji se postavlja u reduktor. Od senzora do digitalnog panela veza je preko kabla. Senzor je oznake: **110HP2B3S003A1A**, proizvođača: RTD company, 15825 Central Avenue North East Ham Lake, MN 55304, USA. Senzor je prikazan na slici 4. Uređaj koji se koristi za obaveštenje o trenutnoj temperaturi je digitalni panel istog proizvođača oznake: 6881B1.



Slika 4. Senzor temperature ulja.

2.3 Merenje nivoa ulja u reduktoru

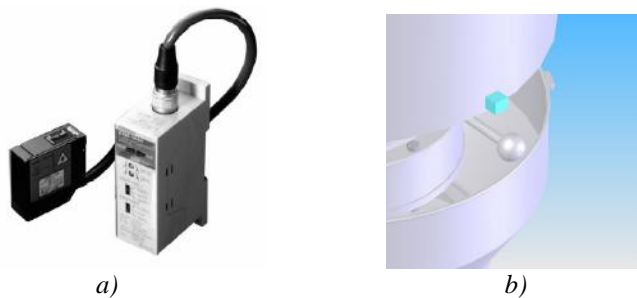
Za merenje nivoa ulja u reduktoru izabran je optički senzor ELS-1100. Kompanija koja ih proizvodi je **Gems Sensors.**, Plainville, Connecticut, USA,



Slika 5. a) Senzor nivoa ulja i b) sklop reduktora i senzora za nivo i temperaturu ulja

2.4 Merenje količine materijala

Za merenje protoka količine materijala izabran je laserski senzor pomeraja Z4M rezolucije 1.5 mikrona, koji meri do 140 milimetra. Potrebno ga je postaviti na mašinu na obod iznad ručice.



Slika 6. a) Senzor merenja pomeraja za određivanje količine materijala, b) položaj davača na obodu iznad ručice.

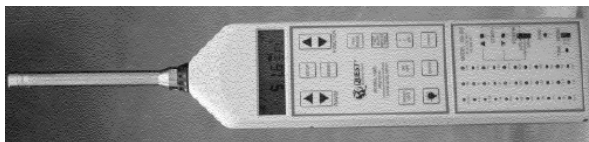
2.5 Merenje i regulacija maziva u ležajevima

Za zamenu maziva u ležajevima se koriste standardni alati kompanije koja je isporučila lešajeve a menjanje maziva izvršava onda kada je to propisao proizvođač ležaja. Svaki proizvođač daje svoju preporuku za vek maziva u ležaju.

2.6 Merenje vremena rada motora (radni vek maziva u ležaju).

Za merenje vremena rada motora izabran je uređaj **H5CN** – digitalni tajmer proizvođača OMRON ELECTRONICS LLC

Druga mogućnost merenja radnog veka maziva u ležaju jeste da se meri nivo buke u ležaju. Za merenje nivoa buke u ležaju može se koristiti merni instrument 1900 & 2900 INTEGRATING/ DATALOGGING SLM's prikazan na slici 7.

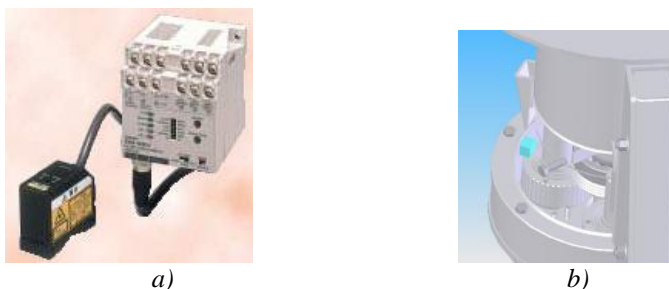


Slika 7. Merač nivoa buke

Ovaj način merenja radnog veka maziva u ležaju je dosta komplikovan za izvođenje na mašini za peletiranje, jer sama mašina pravi mnogo buke, pa su potrebna izuzetno precizna merenja, radi razgraničenja nivoa buke koju pravi mašina od nivoa buke koji pravi ležaj.

2.7 Merenje zazora između valjaka i matrice

Za merenje zazora između matrice i valjaka usvojen je optički senzor firme OMRON i to senzor **Z4M-N30V** regularni senzor prikazan na slici 8.



Slika 8. a) Optički senzor Z4M-N30V, b) Prikaz podsklopa senzora, matrice i valjka

3. ZAKLJUČAK

Trajnost i pouzdanost mašine za peletiranje u upotrebi najviše zavise od pravilnog rukovanja mašinom. Da bismo u potpunosti eliminisali mogućnost ljudske greške u ocenjivanju pravilnog rada mašine i na osnovu preporuka proizvođača mašine o mogućim poteškoćama pri radu, mašinu treba opremiti odgovarajućom merno-regulacionom opremom u cilju preventivnog delovanja, a ona obuhvata merne uređaje za merenje sledećih veličina: merenje temperature elektromotora, merenje temperature reduktora, merenje nivoa ulja u reduktoru, regulisanje protoka sirovine, merenje i regulisanje zazora između matrice i valjčića i regulisanje količine i načina doziranja maziva u ležajeve valjčića. Blagovremenom zamenom habajućih delova originalnim, mašina će imati pouzdan i dugotrajan rad.

LITERATURA

- [1] Inovacioni projekat, RAZVOJ SISTEMA ZA PRESOVANJE DRVNOG OTPADA PELETIRANJEM, Rukovodilac Prof. dr. V. Miltenović, Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu, Niš, 2004-2005.
- [2] Popović, P, Temeljkovski, D.: Mašine za obradu deformisanjem – drugi deo, noseće strukture – Univerzitet u Nišu, Niš, 1999.
- [3] SZR „METALKOP“ Bački Jarak, Veljka Vlahovića 37, Uputstvo za upotrebu, održavanje, i bezbedan rad, <http://www.metalkop.com>,
- [4] Miltenović, V.: Mašinski elementi - oblici, proračun, primena. Univerzitet u Nišu - Mašinski fakultet, Niš, VI-dopunjeno izdanje 2006.
- [5] Miltenović, V.: Mašinski elementi – tablice i dijagrami. Univerzitet u Nišu - Mašinski fakultet, Niš, VI-dopunjeno izdanje 2006.
- [6] Tica M.: Razvoj sistema za presovanje drvnog otpada primenom metode TRIZ. Magistarski rad, Niš. 2004.
- [7] Miltenović, V.: Razvoj proizvoda – strategija, metode, primena. Univerzitet u Nišu - Mašinski fakultet, Niš, I - izdanje 2003.
- [8] http://www.omron.com/product_info/ OMRON ELECTRONICS LLC One East Commerce Drive 885 Milner Avenue Schaumburg, L 60173
- [9] <http://www.rtdco.com/items/> , RTD company, 15825 Central Avenue North East Ham Lake, MN 55304, USA.
- [10] <http://www.quest-technologies.com/Sound/index.htm> , QUEST technologies, 1060 Corporate Center Drive • Oconomowoc, WI 53066 USA, 262.567.9157.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

OBRADA DRVETA REZANJEM SA OBRAZOVANJEM STRUGOTINE KLASIFIKACIJA I OPŠTI POJMOVI

B. Kršljak ¹⁾

Rezime: Sila rezanja, rad i snaga rezanja su neophodni parametri za konstrukciju, dimenzionisanje i izbor alata kao i izbor mašine za rezanje. U radu su pored opštih pojmova pri obradi drveta rezanjem sa nastajanjem strugotine analizirani elementi strugotine od kojih zavisi specifični otpor rezanja, kao i sila rezanja i snaga rezanja

PROCESSING WOOD BY CUTTING WITH WOOD CHIP FORMATION CLASSIFICATION AND GENERAL CONCEPTS

Abstract: The cutting force, the work and power of cutting are essential parameters for the construction, dimensioning and choice of tools and cutting machine. This paper analyzes (besides the general concepts of processing wood by cutting with wood chip formation) the elements of a wood chip from which the specific resistance of cutting, the cutting force and the cutting power depend.

1. UVOD

Obrada drveta rezanjem proučava se u naučnoj disciplini teoriji rezanja u kojoj se analiziraju i istražuju činioci koji utiču na rezanja drveta ili proističu iz procesa rezanja.

Iako je drvo obradiv materijal kao organska tvorevina izrazito je nehomeogene grade pa je postavljanje metodologije i rešavanje pitanja iz oblasti obrade drveta složenije u odnosu na obradu drugih materijala. Iz navedenog proizilazi da rezanje drveta spada u složene procese obrade.

Da bi se uspešnije izučavao proces obrade drveta rezanjem potrebno je poznavati opšte pojmove i definicije o obradi drveta rezanjem i tehnologiju procesa obrade.

2. TEHNOLOGIJA OBRADJE DRVETA REZANJEM

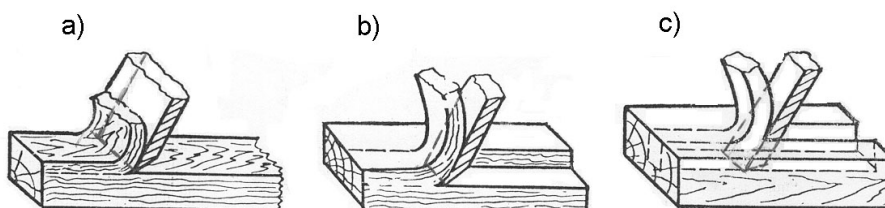
Obrada drveta rezanjem je proces obrade sa narušavanjem veze između vlakana po zadatoj trajektoriji sečiva. Da bi se ostvario ovaj proces neophodno je da postoji relativno kretanje između sečiva i predmeta obrade. U zavisnosti od značaja tih kretanja

¹⁾ Prof. dr Bogoljub Kršljak, dipl. maš. inž., redovni profesor univerziteta u Beogradu u penziji - oljko@sezampro.yu

prilikom obrade razlikuje se glavno i pomoćno kretanje. Ova kretanja mogu da izvode sečiva (alat) i predmet obrade naizmenično ili istovremeno. Relativno kretanje sečiva u predmetu obrade naziva se kretanjem rezanja, a njegova brzina brzinom rezanja.

Obrada drveta rezanjem izvodi se sa nastajanjem strugotine i bez nastajanja strugotine. Rezanje bez nastajanja strugotine karakteriše se time da je dužina rezanja (put sečiva) vrlo mali u odnosu na put sečiva pri rezanju sa nastajanjem strugotine. U ovu grupu spadaju vidovi obrade drveta kao što su: odsecanje tankih listova materijala na makazama i isecanje, prosecanje i probijanje lisnastih materijala prosekačima, probojcima i reznom pločom (matricom) na presama. Rezanje sa nastajanjem strugotine karakteriše se time što sečivo pri prolazu kroz materijal zapremisni deformiše odvojenu zapreminu drveta u različitim pravcima. Te deformacije izazivaju znatnu promenu zapremine strugotine i skoro uvek dovode do njenog razaranja. Skidanjem strugotine drvo se obrađuje rasecanjem, rendisanjem, glodanjem, bušenjem, sečenjem, ljuštenjem, tokarenjem, dubljenjem i brušenjem. Kako su za rezanje sa nastajanjem strugotine neophodni glavno i pomoćno kretanje, to su za proces rezanja značajni parametri elementi režima rezanja (brzina glavnog kretanja v , brzina pomoćnog kretanja u), kao i elementi strugotine (dužina l , debljina e i širina b).

Rezanje sa nastajanjem strugotine može biti otvoreno, poluzatvoreno i zatvoreno (slika 1). Kod otvorenog rezanja glavna rezna ivica sečiva u potpunosti zahvata celu širinu predmeta tj. tada izostaje obrada bočnih površina (slika 1a). Pri poluzatvorenom rezanju pored glavne rezne ivice u rezanju učestvuje i jedna pomoćna rezna ivica koja obrađuje jednu bočnu površinu predmeta (slika 1b). Kada u procesu rezanja pored glavne rezne ivice učestvuju i pomoćne rezne ivice, rezanje je zatvoreno (slika 1c).



Slika 1. Šeme rezanja sa nastajanjem strugotine:
a-otvoreno, b-poluzatvoreno, c-zatvoreno

Procesi rezanja sa nastajanjem strugotine su uglavnom složeni. Da bi se mogla pratiti i analizirati zbivanja prilikom obrade drveta rezanjem, složeni procesi se razlažu na više prostih (elementarnih) procesa. Rezanje koje se ne može više pojednostaviti naziva se prosto. Na slici 1a šematski je prikazano prosto (elementarno) rezanje, a na slici 1b,c šematski je prikazano složeno rezanje.

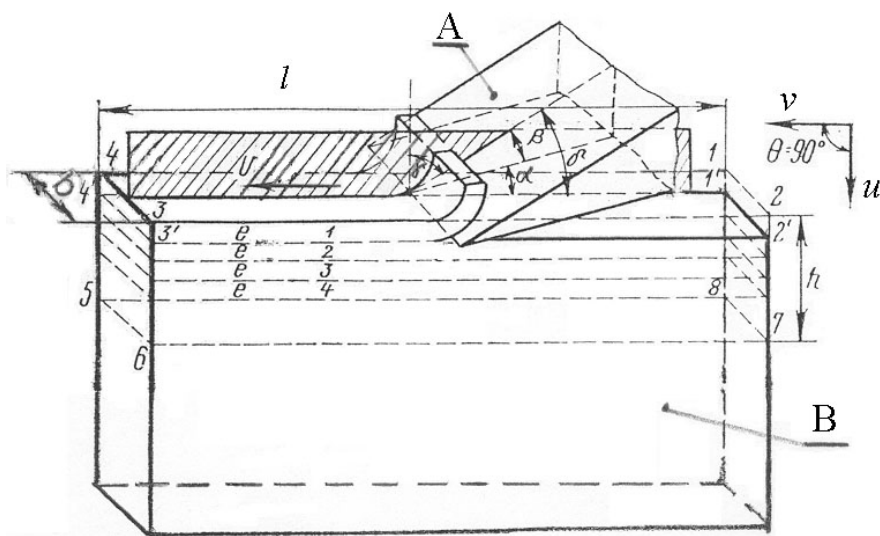
3. OPŠTI POJMOVI I DEFINICIJE

Opšti pojmovi i definicije koji su vezani za obradu rezanjem sa nastajanjem strugotine biće analizirani kod elementarnog rezanja (slika 2).

Nedefinisana zapremina drveta koja se odvaja od dela (predmeta obrade) u jednom ili više redova (prolaza alata) naziva se nominalna zapremina odrezanog dela (odreska), i na slici 2 predstavljena je zapreminom omeđenom brojevima 1-2-3-4-5-6-7-8, odnosno dimenzijom h .

Nominalna strugotina predstavlja zapreminu drveta 1-2-3-4-1'-2'-3'-4' odstranjenu za jedan zahvat odnosno prolaz sečiva. Širina nominalne strugotine b je veličina u pravcu rezne ivice sečiva (slika 2). Debljina nominalne strugotine e je najkraće rastojanje između dve susedne trajektorije rezanja. Pri pravolinijskim trajektorijama rezanja debljina strugotine je stalna veličina (slika 2), a pri krivolinijskim trajektorijama rezanja debljina strugotine je promenljiva veličina (slika 4b).

Površina poprečnog preseka nominalne strugotine je proizvod širine i debljine strugotine be (slika 2). Dužina nominalne strugotine l je dimenzija u pravcu trajektorije rezanja (slika 2). Dužina strugotine je znatno veća od njene debljine.

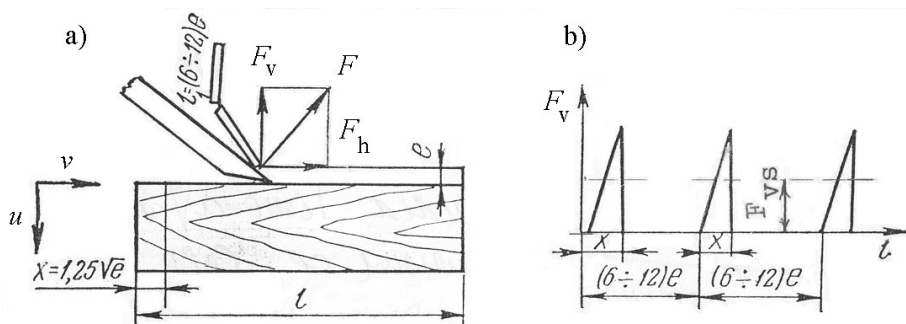


Slika 2. Prosto (elementarno) rezanje: A-sečivo, B-predmet obrade

Dužina kontakta predstavlja dužinu trajektorije sečiva u drvetu pri odrezivanju jedne strugotine i jednaka je širini predmeta obrade b (slika 2).

Stvarna strugotina ili samo strugotina predstavlja deformisanu zapreminu nominalne strugotine jer su u procesu rezanja drveta prisutne razne nepravilnosti i različite po veličini deformacije. Zato su stvarne dimenzije deformisane strugotine (debljina e_1 , širina b_1 i dužina l_1) promenljive, različite od nominalnih, i zavise od mnogih faktora i uslova rezanja. U procesu rezanja strugotina se skraćuje po dužini a povećava po debljini. Odnos $(l-l_1)/l = \zeta_1$ naziva se relativno skraćenje strugotine. Odnos $(e-e_1)/e = \zeta_2$ naziva se relativno povećanje debljine strugotine. Izraz $\zeta_0 = \zeta_1 + \zeta_1 \zeta_2 - \zeta_2$ predstavlja zapreminsku deformaciju strugotine (ako se smatra da je njena širina stalna).

Kod elementarnog rezanja (slika 2) presudan uticaj na strukturu i oblik strugotine ima vid rezanja. Struktura strugotine je najkompaktnija pri rezanju uzduž vlakana (uzdužnom rezanju) u odnosu na ostale vidove rezanja (poprečno, tangencijalno). Pri uzdužnom rezanju oblik strugotine zavisi od debljine strugotine i ugla rezanja. Na slici 3a pokazan je jedan od oblika formirane strugotine pri prostom rezanju koji se naziva lomljena strugotina. Ovaj oblik strugotine je u vidu parčića dužine l_1 . Prema ispitivanjima Time-a dužina elemenata strugotine $l_1 = (6-12)e$ bitno utiče na parametre procesa rezanja i formiranje hrapavosti obrađene površine. Broj elemenata lomljenje strugotine m na dužini l zavisi od vida rezanja. Kod prostog uzdužnog rezanja $m = l/l_1$.



Slika 3. Prosto rezanje uzduž vlakana: a) obrazovanje lomljene strugotine, b) dijagram promene sile rezanja

4. SILA REZANJA, SPECIFIČNI OTPOR REZANJA, SPECIFIČNI RAD REZANJA, SNAGA REZANJA

Rezultujuća sila otpora pomeranja sečiva u drvetu naziva se sila rezanja F (slika 3a). U procesu rezanja sila rezanja nije stalna, menja se od nule do maksimalne vrednosti (slika 3b). U svakom posmatranom momentu ona ima svoju trenutnu veličinu u zavisnosti od važećih momenata otpora.

Zapremina odvojene strugotine (nominalna zapremina) je $V = bel$ [cm³]. Nominalna zapremina strugotine odrezane u sekundi je $V' = V/t$ [cm³/s], gde je $t = l/v$ [s] vreme od otkidanja jednog elementa do otkidanja drugog elementa strugotine, l dužina strugotine i v brzina rezanja. Nominalna zapremina drveta odrezanog u sekundi je $V_s = bhu$ [cm³/s], gde je h [mm] debljina strugotine pri sečenju, visina odrezanog sloja pri glodanju ili visina proreza pri rasecanju (piljenju), i u [m/s] brzina pomaka.

Rad utrošen na odrezivanje nominalne zapremine je $W = F_s l = KV = Kbel$ [daNm], gde je K [daNm/cm³] specifični rad rezanja tj. rad utrošen na odrezivanje jedinice zapremine nominalne strugotine (1 cm³) i F_s srednja sila rezanja [daN]. Srednja sila rezanja služi za određivanje snage rezanja koju je potrebno znati pri proračunu i izboru elektromotora za pogon mašine. Pri elementarnom uzdužnom rezanju vertikalna komponenta sile rezanja F_v otcepljuje element strugotine od ostale mase drveta, dok horizontalna komponenta F_h treba da savlada sve otpore prodiranja sečiva u drvo. Prema ispitivanjima Time-a sila rezanja dostiže maksimalnu vrednost kada sečivo pređe put $x = 1.25\sqrt{e}$, nakon čega počinje otcepljenje elementa strugotine i sila rezanja opada približno do nule (Slika 3a,b).

Snaga utrošena na odrezivanje nominalne zapremine $P = KV_s/102 = Kbh u/102$ [kW]. Iz jednačine za rad sledi $K = W/bel = F_s l/bel = F_s/be = K'$ [daN/mm²], gde je K' specifični otpor rezanja.

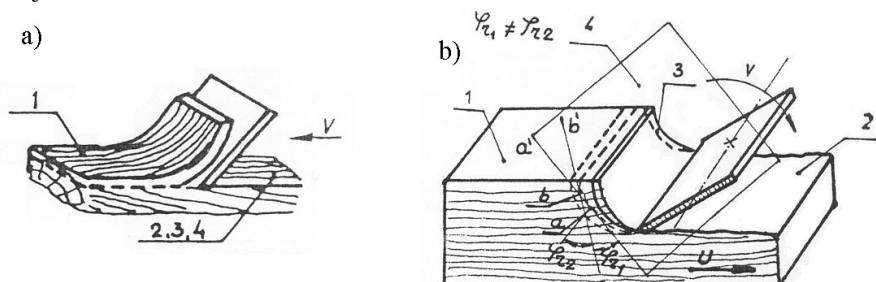
Pri prihvaćenim jedinicama merenja (F_s [daN], b [mm], e [mm], l [mm]) $K = K'$. Iako su ova dva pojma brojačno jednaka u fizičkom smislu su različita. Specifični otpor rezanja je srednji pritisak u poprečnom preseku strugotine, a specifični rad rezanja je rad utrošen na odrezivanje i deformaciju 1 cm³ drveta, i on karakteriše dinamiku procesa rezanja. Dimenziono sledi:

$$K = F_s l/bel \text{ [daNm/cm}^3\text{]} = [\text{daN}1000\text{mm}/(10\text{mm})^3] = K' = F_s/be \text{ [daN/mm}^2\text{]}.$$

Svaki proces obrade rezanjem u osnovi određuju tri člana: materijal koji se obrađuje, sečivo kojim se vrši obrada i radna kretanja koja stvaraju uslove neophodne za odgovarajuća pomeranja reznog alata u drvetu obezbeđujući proces obrade, tj. izmenu

oblika i zapremine dela. Svaka od tri komponente procesa rezanja uključuje znatnu količinu promenljivih faktora uticajnih na proces obrade.

Pri razmatranju procesa rezanja na predmetu obrade (slika 4) razlikujemo: obrađivanu površinu 1, sa koje se odrezuje strugotina ili niz strugotina koje čine odrezani sloj materijala, obrađenu površinu 2 dobijenu posle odrezivanja strugotine ili niza strugotina, površinu rezanja 3 obrazovanu na obrađivanom predmetu reznom ivicom sečiva. Pri pravolinijskom kretanju sečiva odnosno predmeta obrade (Slika 4a) ravan rezanja, površina rezanja i obrađena površina poklapaju se, što karakteriše proces rezanja. Pri kružnom kretanju sečiva (Slika 4b) poklapanja površina nema. U ovom slučaju površina rezanja je krivolinijska i predstavlja prelaz između obrađivane i obrađene površine. Ravan rezanja 4 tangentna je ravan na površinu rezanja 3 i prolazi kroz rezu ivicu sečiva. Pri kružnom kretanju sečiva svakom položaju rezne ivice na površini rezanja odgovara svoja ravan rezanja. Ovako određene (definisane) površine pri rezanju odnose se na sečiva sa pravolinijskom reznom ivicom. Za sečiva sa krivolinijskom reznom ivicom svakoj tački na reznoj ivici odgovara sopstvena krivolinijska površina rezanja, pa i sopstvena ravan rezanja tangencijalna na površinu rezanja.



Slika 4. Površine pri rezanju: a) pravolinijsko kretanje sečiva, b) kružno kretanje sečiva

5. ZAKLJUČAK

Izučavanje stvarnih (realnih) procesa rezanja drveta bazira se na opštim pojmovima i zakonitostima elementarnog rezanja. Bez poznavanja tih osnovnih pojmova i zakonitosti ne bi bilo moguće doći do odgovarajućih rešenja vezanih za fiziku rezanja, tehnologiju složenog rezanja, kao i razvijanje i usavršavanje konstrukcije i tehnologije izrade alata za obradu drveta rezanjem.

LITERATURA

- [1] Beršadskij L. A., Cvetkova I.N, Rezanje drevesini, Višejšaja škola, Minsk, 1975.
- [2] Analickij V.V., Ljubčenko I.B., Stanki i instrumenti derevo obradativajuščih predprijatij, Lesnaja promišlennost, Moskva, 1977.
- [3] Kršljak B., Mašine i alati za obradu drveta I, "Uljarice-public", Beograd 2002.



SAVREMEN KONCEPT PROJEKTOVANJA GLODAČKIH GLAVA U RUDARSTVU I IZRADI PROFILA TUNELA

A. Babić ¹⁾, N. Ilić ²⁾

Rezime: Glodačke glave poseduju jedinstvenu mogućnost i fleksibilnost za iskopavanje od mekih ka tvrdim formacijama stena, i stoga imaju široku primenu u podzemnom rudarenju i izradi tunela. Specifičnost projektovanja glodačkih glava se sastoji u sagledavanju funkcionalnih zahteva i njihovoj primeni, u cilju povećanja produktivnosti i smanjenja troškova, kako proizvodnje, tako i održavanja.

Ključne reči : Glodačke glave, funkcionalni zahtevi

NEW CONCEPT OF ROADHEADER DESIGN IN MINING AND TUNNELING INDUSTRIES

Abstract : Roadheaders offer a unique capability and flexibility for the excavation of soft to medium strengt rock formations, therefore, are widely used in underground mining and tunneling operations. Specific of roadheader design is sympathetic with functional demands and their application, in aim of increasing productivity and reduction of costs, in manufacturing and in maintenance.

Key words: Roadheaders, functional demands

1. UVOD

Upotreba sistema za mehaničko iskopavanje u rudarstvu i građevinarstvu sve više potiskuje konvencionalne tehnike bušenja i miniranja. Na ovaj način se povećava produktivnost i smanjuju troškovi u radu. Kao dodatna prednost, mehaničko iskopavanje uključuje značajno povećanu sigurnost u radu.

Jedna od primena glodačkih glava je iskopavanje u tunelima (putnih, železničkih infrastrukturnih objekata), kako za proširenje tako i za rekonstrukciju/ojačanje podzemnih struktura. Njihova primena se ogleda u mogućnosti iskopavanja skoro bilo kog otvorenog profila, različitih oblika i veličina.

Oblikovanje infrastrukturnih objekata se odvija metodama obrade i sastoji se u

¹⁾ Prof. dr Arandel Babić, Mašinski Fakultet, Kraljevo, Srbija, babic.a@maskv.edu.yu

²⁾ Nemanja Ilić, Mašinski Fakultet, Kraljevo, Srbija, ilic.n@maskv.edu.yu

Rad se realizuje u okviru projekta MNTR TP-6345A: «Razvoj specijalnih glodačkih glava za obradu putnih i železničkih infrastrukturnih objekata» koji finansiraju Ministarstvo nauke i životne sredine Republike Srbije i CORUN, a.d. Užice

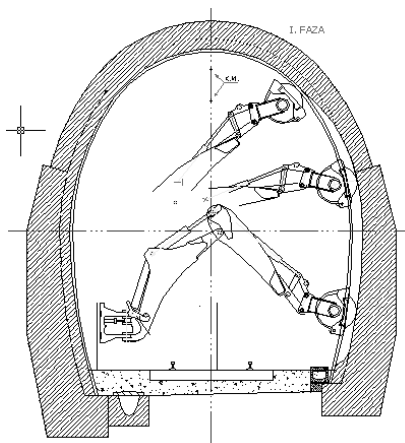
uklanjanju ili skidanju materijala sa objekata. Materijala skida se, najčešće, u slojevima i to istosmernim glodanjem. Površina obrade se oblikuje usvojenom metodom. Metod obrade definišu glavno i pomoćno kretanje u određenoj kinematici reznog alata i objekta.

2. GLODAČKE GLAVE U IZRADI PROFILA TUNELA

Danas, u Srbiji izrada tunela igra značajnu ulogu u razvoju infrastrukture saobraćajnih sistema. Izražena je potreba za izgradnjom novih i proširenjem postojećih. Trenutno su aktuelni poslovi na proširenju i ojačanju postojećih tunela. Kao primer navodi se potreba za proširenjem više od 20km dužine železničkih tunela.

Proširenje tunela, slika 1, najčešće se realizuje kroz sledeće operacije:

- Proširenje kalote tunela po celoj dužini,
- Ukopavanje kanala po obimu profila tunela.



Slika 1. Glodačka glava u zahvatu pri obradi profila tunela

Obrada kalote tunela vrši se skidanjem unutrašnjeg sloja betona. Razlozi mogu biti različiti. Ili se radi o dimenzionom proširenju tunela ili skidanju postojećeg oštećenog sloja betona radi reparacije.

Obrada kanala se odvija pomoću specijalizovanih alata, najčešće glodačkih glava i doboša, radi stabilizacije strukture unutrašnjosti tunela. Ovu operaciju karakterišu alati relativno velikog prečnika i male širine a sve u zavisnosti od funkcionalnih prostornih oblika objekata obrade. Projektovanje alata za realizaciju navedenih zahvata se realizuje primenom savremenih metoda projektovanja pomoću računara i primenu odgovarajućih CA alata. CIRPP Mašinskog fakulteta u Kraljevu kroz realizaciju projekata tehnološkog razvoja već duži niz godina intenzivno razvija CA alate za savremeno projektovanje u rudarstvu i građevinarstvu.

3. OPŠTA STRUKTURA OBRADNOG SISTEMA GLODAČKIH GLAVA

Kinematika procesa obrade infrastrukturnih objekata je jedan od opredeljujućih faktora u projektovanju sklopa glodačkih glava. Sinteza funkcionalnih zahteva i njihove geometrijske interpretacije predstavljaju vrlo kompleksan problem.

U procesu obrade pomenutih infrastrukturnih objekata, projektna rešenja glodačkih glava podržavaju specifikaciju funkcionalnih zahteva.

Osnovni elementi koji sačinjavaju strukturu obradnog sistema glodačke glave su:

- **Doboš**, izrađen ili livenjem ili od čeličnog lima debljine $\delta=20\div 22$ mm, na kojem su postavljeni noževi u odgovarajućem broju (n) i prostornom rasporedu. Karakterističan parametar u projektovanju doboša je odnos širine rezanja ($B_{rez.}$) i prečnika $B_{rez.}/D$,
- **Vratilo pogona** izvedeno jerazdvojivoj vezi sa dobošem. Pogon obezbeđuje hidro-motor koji je u direktnoj vezi sa vratilom,
- **Kućište sa ležajima**,
- **Hidro-motor**, potrebnog protoka ulja (lit/min.) koji obezbeđuje odgovarajući broj obrtaja glodačke glave, i radnog pritiska (bar) za postizanje predviđenog obrtnog momenta (Nm).

Obrada kanala različitih oblika i širina se zasniva na konceptualnoj analizi varijantno generisanih i projektovanih sklopova glodačkih glava uz maksimalno uvažavanje tipiziranih i unificiranih komponenata i podsklopova.

4. JEDAN PRISTUP U PROJEKTOVANJU GLODAČKIH GLAVA U OBRADI PROFILA TUNELA

Osnovni kriterijum u projektovanju glodačkih glava je **efektivnost procesa rezanja** kao odnos uložene energije i količine skinutog materijala. Glodački alat prodire u beton na bazi pritiska koji vrši alat na podlogu i obrtnog momenta koji se prenosi od pogonske grupe mašine tj. u ovom slučaju od hidromotora. Geometrija alata i otpornost na habanje imaju dominantan uticaj na efektivnost procesa rezanja.

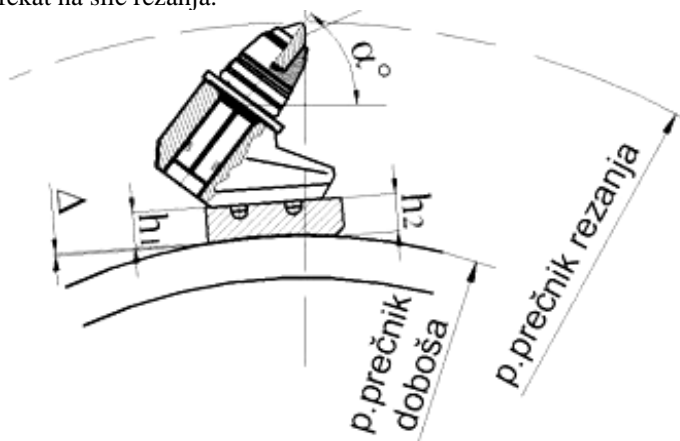
U okviru realizacije roširenja nekih tunela (Mojkovac), sa izvođačem radova (Hidrotehnika-Hidroenergetika), stečena su odgovarajuća eksploataciona iskustva u projektovanju i izradi novih glodačkih glava za ukopavanje kanala pri ojačanju tunela. Dimenzije kanala su širine 250mm i dubine 235mm.

4.1 Definisavanje rezne geometrije

Osnovna geometrija rezanja je definisana prostornim položajem noža na dobošu glodačke glave. U ovom slučaju, u obradi betonskih obloga, uglovi na bazi eksperimentalnih eksploatacionih istraživanja su:

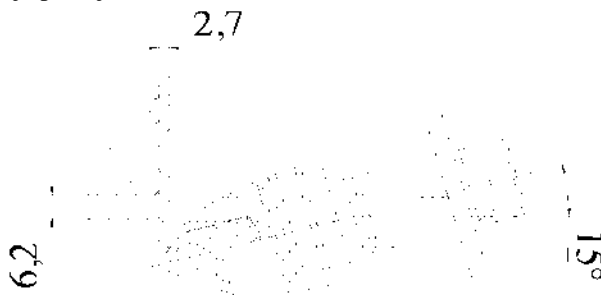
- $\alpha = 60^\circ$ - Napadni ugao, koji se definiše kao ugao između ose noža i njene projekcije na ravan podloge, u trenutku dodira,
- $\beta = 15^\circ - 20^\circ$ - Ugao rotacije; ugao između projekcije ose na ravan podloge i pravca rezanja,
- $\gamma = 10^\circ - 15^\circ$ - Ugao nakretanja; ugao koji se nalazi u ravni upravnoj na ravan podloge i pravac rezanja, a predstavlja ugao između projekcije noža na tu ravan i pravca upravnog na podlogu.

Troškovi eksploatacije definisani preko efektivnosti procesa rezanja obuhvataju još dva parametra **S**-razmak reznih vrhova noževa i **P**-dubinu prodiranja. Njihov odnos **S/P**, zajedno sa tipom noža i svojstvima podloge definišu efektivnost procesa rezanja, kao odnos uložene energije i količine skinutog materijala. Na slici 3. je prikazan izgled noža u zahvatu, gde je $S=2,7$ mm, a $P=6,2$ mm. Razmak između reznih vrhova noževa ima značajan efekat na sile rezanja.



Slika 2. Prikaz noža na dobošu

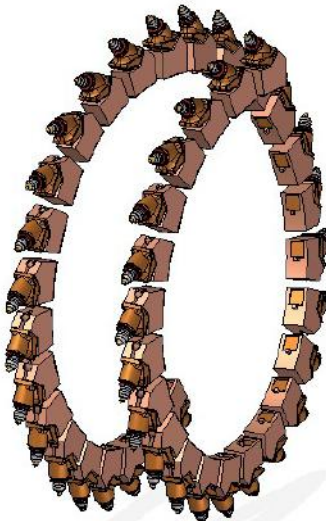
Mali razmak između noževa znači veoma neefikasan proces rezanja i stvaranje prašine. Kada se razmak povećava, rezanje postaje efikasnije do izvesne mere kada međudejstvo frakcija između susjednih noževa prestaje. U procesu rezanja betona javlja se sitna prašina koja može dospeti u zonu između tela noža i držača i na taj način onemogućava rotaciju noža u držaču. Ovo za posledicu ima nepravilno habanje alata a samim tim i skraćenje postojanosti alata.



Slika 3. Nož u zahvatu

Imajući u vidu eksploataciona iskustva u obradi betonskih podloga raspored noževa je postavljen kao na slici 3. da bi se skinuti materijal pretvorio u veoma sitne čestice. Povećano taloženje skinutog materijala na glodačkom dobošu je obezbeđeno na prostoru koji obezbeđuje dodatna pločica visine h_1/h_2 . Na ovaj način se obezbeđuje direktna zaštita okretanja noža u držaču. Da bi rotacija noža bila dugotrajno obezbeđena potrebno je vršiti izduvavanje prašine iz zone rotacije noža. Izduvavanje se vrši smenski pomoću komprimovanog vazduha.

Konačan raspored noževa na dobošu glodačkih glava prikazan je na slici 4.



Slika 4. Prostorni raspored noževa na polovini doboša

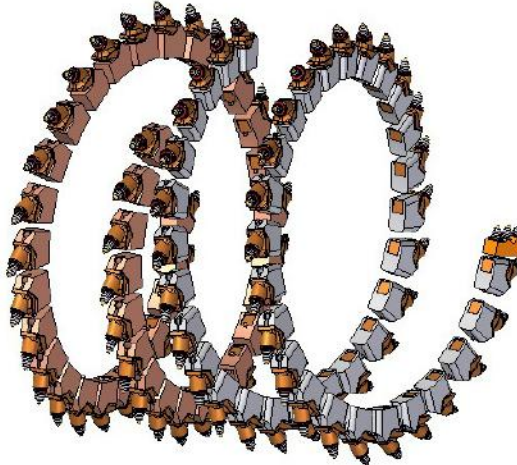
4.2 Proračun osnovnih parametara glodačkih glava

U projektovanju glodačkih glava sistematizovano je deset koraka u proračunu osnovnih parametara napred definisanog alata za obradu unutrašnjosti tunela:

1. Preporučeni odnos **S/P**, iznosi između 2 i 4. U našem slučaju **S/P** ima vrednost 2,3.
2. Broj obrtaja glodačke glave je 100 o/min i proizilazi iz brzine rezanja koja je u ovom slučaju $V_b = 180 \left[\frac{m}{min} \right]$,
3. Potreban broj noževa na glodačkom dobošu je 42, sa uglom vrha tvrdog metala $\frac{\alpha}{2} = 50^\circ$
4. Procena normalne sile na glodački nož je $F_n = 6,75 \left[kN \right]$
5. Na osnovu sila koje deluju na glodačku glavu vrši sračunati potrebni obrtni moment iznosi 20 kNm i odgovara snazi za pokretanje glodačke glave od 125 kW.
6. Procenjena vrednost zapremine materijala koji se obrađuje, po jedinici dužine tunela, iznosi $15 m^3$,
7. Maksimalni učinak obradnog sistema se izračunava u sedmom koraku, na osnovu prethodno usvojenih karakteristika. Ovo predstavlja teorijski maksimum zapremine i težine materijala koji se može iskopati i u ovom slučaju iznosi 34.8 t/čas,
8. Učinak glodačke glave u jedinici vremena, je 6 m/čas,
9. Iskorišćenje glodačke glave se izračunava u devetom koraku, kao procentualno vreme upotrebe po smeni u odnosu na vreme koje obradni sistem ne radi. Ovo se najčešće odnosi na vreme koje je potrebno za tekuće održavanje glodačke glave, kao i za zamenu oštećenih noževa, i iznosi 99.87%
10. Na kraju se izračunava količina uklonjenog materijala po jednoj smeni koja u ovom slučaju iznosi oko 200t.

5. FORMIRANJE FAMILIJE GLODAČKIH GLAVA

U okviru savremenog projektovanja na osnovu funkcionalnih zateva izvršeno je varijantno projektovanje familije glodačkih doboša. Na slici 5. prikazan je izgled glodačkog doboša veće širine. Ovo je dobijeno preslikavanjem rasporeda noževa sa doboša manje širine.



Slika 5. Druga varijanta rasporeda noževa

Na ovaj način ovako uspostavljen raspored noževa predstavlja osnovu za dalje projektovanje familija komponenata glodačkih glava a samim tim formiranje familije sistema glodačkih glava.

6. ZAKLJUČAK

Imajući u vidu da glodačke glave u obradi infrastrukturnih objekata postižu mnogo veći učinak (veća brzina obrade i smanjenje troškova po jedinici uklonjenog materijala) u odnosu na klasične metode, razvijen je sistem automatskog projektovanja proizvoda uz korišćenje savremenih kompjuterskih alata.

Glodačke glave pripadaju kompleksnim relativno skupim proizvodima projektovanim na bazi velikog broja funkcionalnih zahteva i ograničenja. Imajući u vidu ovaj aspekt u projektovanju su dominirala dva kriterijuma i to :

- Proizvod mora da ispuni zahteve kupaca jer je to uslov za formiranje procesa i kasnije proizvodnju,
- Finalni proizvođač mora da uvaži raspoloživo stanje nabavke komponenata na globalnom tržištu, kako bi diktirao kroz projektovanje varijantna rešenja proizvoda, njihov kvalitet i rokove isporuke.

LITERATURA

- [1] Babić, A., Miodragović G, Petrović A., Sistem analiza sistema alata mašina za obradu infrastrukturnih objekata, Časopis Instituta IMK „14. oktobar“, Kruševac, broj (22-23) 3-4/2005, str. 169.175.

- [2] Asbyru, B., Ozdemir, L., Rozgonyi, T., Frustum Bit Technology for Continuous Miner and Roadheader Applications, Pat Willis, CSIR, The South African Institute of Mining and Metallurgy, Center for Mine Mechanization and automation.



UVODNI REFERAT

ANALIZA PROCESA VIŠEFAZNOG MASIVNOG DEFORMISANJA

V. Marinković¹⁾

Rezime: *Kombinovani i višefazni procesi obrade deformisanjem spadaju u racionalne i produktivne tehnološke procese za izradu delova složeng oblika. Klasično projektovanje ovakvih tehnoloških procesa podrazumeva simbiozu inženjerskog znanja i principa "trial and error". Ovakav pristup je posledica ozbiljnih teškoća u predikciji tečenja metala tokom procesa deformisanja. Jedan uspešan primer dat je u ovom radu.*

Pouzdaniji pristup za praćenje tečenja metala tokom procesa deformisanja i projektovanje optimalnih tehnoloških procesa predstavlja primena metoda fizičkog modelovanja i/ili numeričke simulacije pomoću računara.

Ključne reči: *kombinovano i višefazno deformisanje, zakon najmanjeg otpora, inženjerski metod, numerička simulacija*

AN ANALYSIS OF THE BULK FORMING MULTIPHASE PROCESS

Abstract: *Combined and multiphase metal forming processes belong to the rational and productive technological processes for making intricately shaped parts. The classic design of such technological process implies a symbiosis of engineering knowledge and the „trial and error“ principle. This approach is a consequence of serious difficulties in the metal flow prediction during the forming process. One successful example is given in this paper.*

A more reliable approach to the metal flow monitoring during the forming process and the optimal technological process design is an application of the physical modeling method and/or numerical computer-aided simulation.

Key Words: *Combined and Multiphase Forming, Law of the Least Resistance, Engineering Method, Numerical Simulation*

1. UVOD

Izrada delova složene geometrije masivnim (zapreminskim) deformisanjem se, po pravilu, obavlja u više operacija (stupnjeva). Ovakav tehnološki postupak podrazumeva oblikovanje u više uzastopnih alata, u kojima se realizuju elementarne operacije (stupnjevi) obrade [1], [2], [3].

¹⁾ Prof. dr Velibor Marinković, Mašinski fakultet, Niš, Srbija

Karakterističan primer za ovakav tehnološki postupak jeste obrada složenih delova deformisanjem u hladnom stanju na višepozicionim automatima [4].

Tehnološki postupak se može bitno racionalizovati ukoliko se više operacija obrade deformisanjem objedini i realizuju u jednom alatu, za jedan hod mašine (prese).

Reprezentativni proces deformisanja kojim se objedinjuju dve do tri elementarne operacije jeste kombinovano istiskivanje [5]. Kombinovano istiskivanje predstavlja takav proces masivnog deformisanja kod kojeg materijal obratka teče u različitim pravcima i/ili smerovima istovremeno. Najširu primenu u praksi našli su sledeći procesi kombinovanog istiskivanja: puno istosmerno – šuplje suprotnosmerno i šuplje istosmerno – šuplje suprotnosmerno [6], [7], [8], [9]. Iz navedenog se vidi da se kombinovanim istiskivanjem objedinjuju istovrsne operacije obrade deformisanjem.

Naravno, kombinovano masivno deformisanje može obuhvatiti i raznovrsne elementarne operacije, npr. istosmerno istiskivanje – izvlačenje sa redukcijom (stanjenjem) [10], suprotnosmerno istiskivanje – sabijanje [11] itd.

Tehnološki postupak koji se realizuje po elementarnim operacijama je skup, pri čemu troškovi rastu proporcionalno porastu broja operacija, pre svega zbog skupih alata i znatnog utroška energije i vremena za obradu i manipulaciju sa obratkom.

Međutim, ovakav tehnološki postupak ima i određene prednosti. Za svaku elementarnu operaciju obrade deformisanjem postoje razrađeni i dovoljno pouzdani inženjerski proračuni i eksperimentalni (iskustveni) podaci i preporuke. Naime, mogu se dovoljno tačno proceniti energetske parametri procesa (sila, deformacioni rad), projektovati adekvatni alati i izvršiti pravilan izbor mašine i druge opreme. Dalje, primenom zakona o postojanosti zapremine mogu se tačno definisati dimenzije obratka po operacijama (stupnjevima). Ovo sledi otuda što kod elementarnih operacija obrade masivnim deformisanjem materijal prinudno ističe kroz predviđene otvore (procepe) u alatu, tj. materijal ima samo jedan stepen slobode tečenja.

Kombinovani procesi obrade deformisanjem se karakterišu time da imaju dva ili više stepeni slobode tečenja materijala. Pri tome treba imati u vidu da su alati glomazniji i složenije konstrukcije, što po nekada zahteva i primenu presa višestrukog dejstva.

Međutim, glavno ograničenje šire primene kombinovanih procesa obrade deformisanjem jeste nemogućnost da se garantuju dimenzije izratka (po crtežu). Naime, kada materijal obratka ima više stepeni slobode tečenja, onda se on ponaša u skladu sa zakonom najmanjeg otpora, drugim rečima, teče u pravcima u kojima su otpori deformisanju najmanji.

Problem je u tome što se elementarnim metodima teorije plastičnosti ovakvo ponašanje materijala ne može analizirati. Zato je za osvajanje tehnološkog postupka obrade materijala kombinovanim deformisanjem ponekad potrebno izvesti i veći broj skupih i dugotrajnih proba i korekcija (princip – "trial and error"). Tada u najvećoj meri dolazi do izražaja iskustvo projektanta – tehnologa.

2. KOMBINOVANO, VIŠEFAZNO I SUKCESIVNO DEFORMISANJE

Kao što je napred navedeno, kombinovanim deformisanjem se realizuje više elementarnih operacija istovremeno, u jednom alatu, za jedan hod prese. Pri tome se podrazumeva da materijal može da teče slobodno u više pravaca i/ili smerova.

Od kombinovanog deformisanja treba razlikovati sukcesivno deformisanje, koje se može realizovati za jedan hod prese, u jednom alatu, odnosno setu alata. Pri tome elementarne operacije obrade deformisanjem mogu biti raznovrsne ili istovrsne. Za prvi slučaj tipičan primer je duboko izvlačenje bez redukcije – izvlačenje sa redukcijom

(stanjenjem). Za drugi slučaj može se kao karakterističan primer uzeti vučenje žice kroz više matrica ili izvlačenje sa redukcijom kroz više prstenova.

S druge strane, kod kombinovanog deformisanja retko se dešava da se kompletan proces, od početka do kraja, realizuje u takvom vidu. Naime, zbog povećanih otpora, tečenje materijala u nekim pravcima (smerovima) se može prekinuti. Kako je kretanje pokretnog dela alata kontinualno, materijal nadalje teče u pravcu (smeru) najmanjeg otpora.

Primeru radi, ako proces kombinovanog deformisanja obuhvata tri elementarne operacije, može se desiti da se samo jedna operacija obrade deformisanjem realizuje u potpunosti. Pri pogrešno projektovanom tehnološkom procesu kombinovanog deformisanja može se čak desiti da pojedine predviđene elementarne operacije potpuno izostanu.

Iz navedenog sledi da je praktično nemoguće garantovati dimenzije izratka (prema crtežu) primenom procesa kombinovanog deformisanja.

Zato je pri projektovanju procesa kombinovanog deformisanja neophodno, pre svega, praktično iskustvo i istraživački rad.

Isti zaključak važi i za neke elementarne operacije obrade deformisanjem sa više stepeni slobode tečenja materijala (slobodno sabijanje prstena i dr.).

Dakle, da bi se garantovala tražena geometrija izratka mora se tehnološki proces i alat tako projektovati da se tečenje materijala u pravcu najmanjeg otpora ograniči u momentu kada je realizacija date elementarne operacije okončana. Time se u daljem odvijanju procesa deformisanja materijalu omogućuje da teče u drugim predviđenim pravcima (smerovima), kako bi se realizovale preostale elementarne operacije.

U ovakvim slučajevima radi se o faznom deformisanju. Očigledno je da fazno deformisanje može obuhvatiti raznovrsne ili istovrsne elementarne operacije obrade deformisanjem.

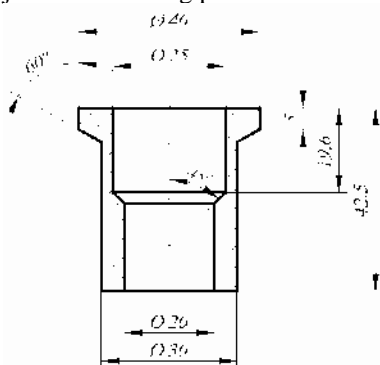
Prepreke tečenju materijala ne moraju biti fiksirane. Cilj postavljanja pokretnih prepreka tečenju materijala može biti otežavanje tečenja materijala u određenom pravcu (smeru), čime se vrši svojevrsna regulacija procesa deformisanja i/ili stvaranje povoljnog naponskog stanja u zoni plastičnih deformacija radi podizanja deformabilnosti datog materijala.

3. PRIMER VIŠEFAZNOG DEFORMISANJA

Primer tehnološkog procesa izrade delova složene geometrije deformisanjem nije unapred definisan. Po pravilu, moguće su različite varijante tehnološkog procesa za dobijanje jednog istog proizvoda. Kako svaka varijanta tehnološkog procesa treba da obezbedi traženi oblik i dimenzije izratka, za izbor optimalne varijante postavljaju se različiti kriterijumi, na primer: minimalni troškovi izrade; maksimalna produktivnost; ravnomerna distribucija mehaničkih svojstava materijala po presecima i dr. Rešenja će biti povoljnija ukoliko je više kriterijuma istovremeno zadovoljeno. Kako se to retko dešava, jednom od mogućih kriterijuma se daje prioritet.

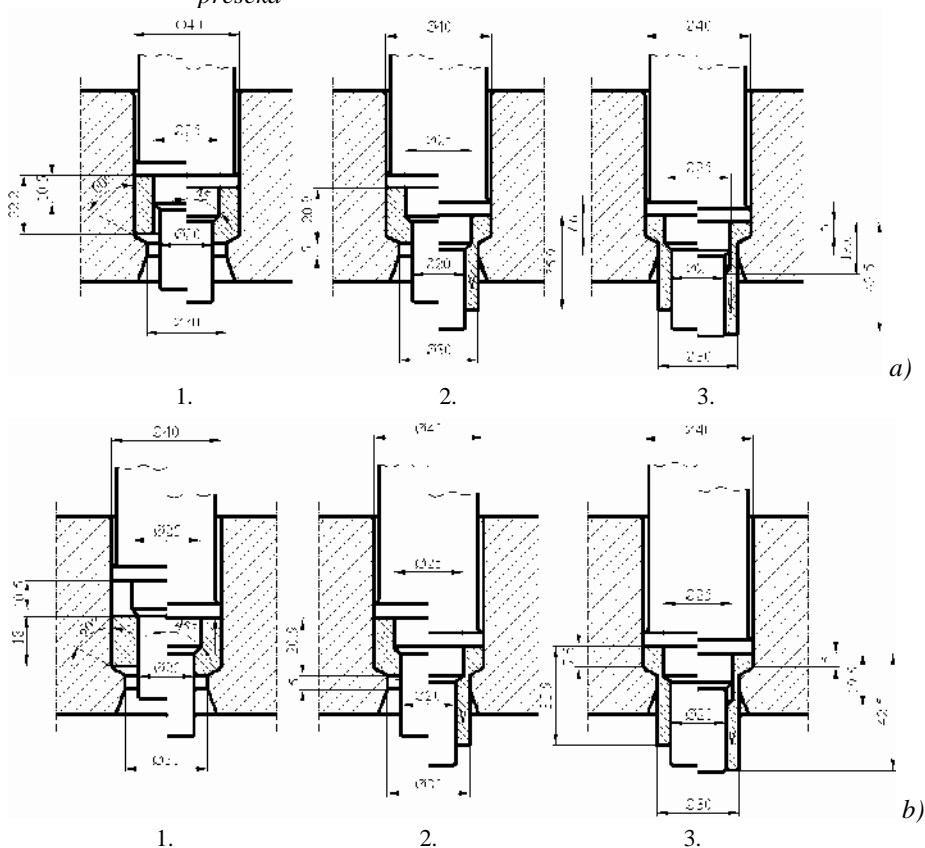
Na slici 1. je prikazan šuplji element za koji treba projektovati takav tehnološki proces obrade deformisanjem u hladnom stanju, koji će obezbediti minimalnu naknadnu obradu rezanjem (AlMg1SiCu, $K=331.81(0.0061+\varphi)^{0.105}$, $\mu \approx 0.11$ —ulje "PRES 510 EP" [12]). Za elemente ovakvog oblika tehnološki procesi višefaznog deformisanja se nameću kao kao najpogodnije rešenje [13], [14], [15].

U pomenutim literaturnim izvorima naznačeni su samo principi višefaznog deformisanja, ali ne i konkretna rešenja. Za izradak sa slike 1. mogu se projektovati dve varijante tehnološkog procesa višefaznog deformisanja.

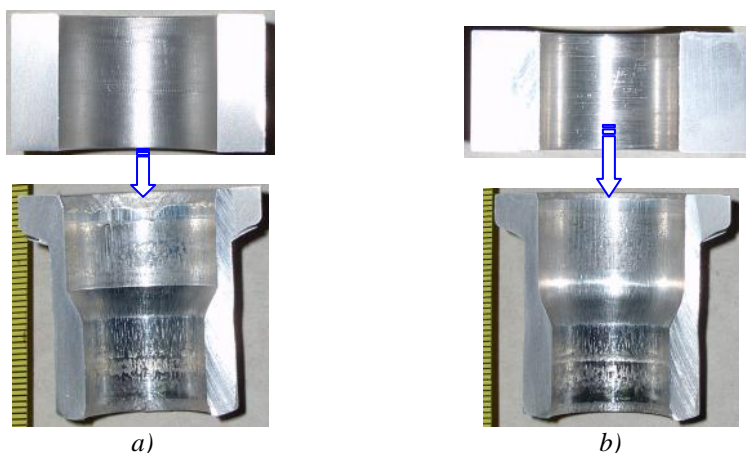


Slika 1. Šuplji element promenljivog preseka

Kao što se sa slike 2. i slike 3. može videti, za obe varijante (I/II) tehnološkog procesa se koristi isti alat, ali različiti pripremi. Takođe, obe varijante tehnološkog procesa se sastoje od tri faze, pri čemu se razlikuju samo po prvoj fazi. Iz izloženog se lako zaključuje da se kao kriterijum za izbor optimalne varijante tehnološkog procesa ne može uzeti maksimalna produktivnost ili minimalni troškovi izrade, pošto bi ovi kriterijumi dali praktično isti rezultat za obe varijante.

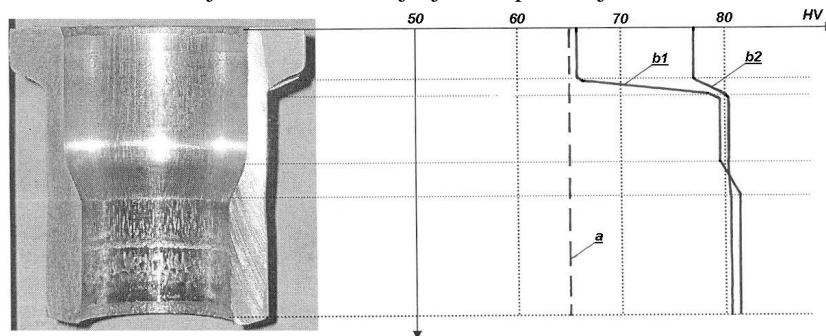


Slika 2. Varijante procesa višefaznog deformisanja: a) var. I (1. sabijanje, 2. istosmerno šuplje istiskivanje- ϕ 20, 3. istosmerno šuplje istiskivanje- ϕ 25) ; b) var. II (1. suprotnosmerno šuplje istiskivanje, 2. istosmerno šuplje istiskivanje- ϕ 20, 3. istosmerno šuplje istiskivanje- ϕ 25)



Slika 3. Priprema-izradak: a) varijanta I; b) varijanta II

U konkretnom slučaju preporučuje se druga varijanta tehnološkog procesa, jer obezbeđuje ravnomerniji raspored deformacija i mehaničkih svojstva po meridijanskom preseku izratka (slika 4). Kako materijal pri obradi deformisanjem u hladnom stanju ojačava (kao i u razmatranom primeru), homogeniji raspored mehaničkih svojstava po preseku izratka obezbeđuje mu duži vek trajanja u eksploataciji.

Slika 4. Raspored mehaničkih svojstava (tvrdoće) po uzdužnom preseku izratka:
a-tvrdoća priprema; b1-tvrdoća izratka(varijanta I);
b2-tvrdoća izratka (varijanta II)

4. ZAKLJUČAK

Izrada složenih delova je najracionalnija i najproduktivnija ako se zasniva na kombinovanom deformisanju, tj. na procesima sa više stepeni slobode tečenja materijala.

Kombinovani procesi deformisanja se često (saglasno zakonu najmanjeg otpora) transformišu u procese višefaznog deformisanja, što nije lako unapred predvideti.

Zato je za inženjersku praksu najpogodnije složene procese deformisanja svesti na višefazne. Tada su moguće dva slučaja. U prvom slučaju je tečenje materijala po fazama potpuno – jednoznačno -definisano (npr. varijanta I, slika 2a/slika 3a), dok se u drugom slučaju pretpostavlja model tečenja materijala po fazama (npr. varijanta II, slika 2b/ slika 3b). U konkretnom primeru koji je tretiran u ovom radu uvedena prepostavka o smeru tečenja materijala u prvoj fazi procesa deformisanja je potvrđena eksperimentalno.

Generalno posmatrano, međutim, nedovoljno pouzdana predikcija tečenja materijala u procesima kombinovanog i višefaznog deformisanja jeste glavni razlog nedovoljne primene ovakvih tehnoloških procesa u praksi.

Pouzdan način da se precizno analizira ponašanje materijala u procesima obrade deformisanjem svake vrste jeste primena fizičkog modelovanja i/ili numeričke simulacije. Upotreba savremenih (komercijalnih) softvera za numeričku simulaciju procesa obrade deformisanjem omogućava brzo, pouzdano i jeftino projektovanje tehnoloških procesa i alata za izradu delova zadanog oblika i dimenzija, bez unutrašnjih i spoljašnjih defekata, što će biti predmet daljih istraživanja.

LITERATURA

- [1] *Amirov M. G., Belkov E. G., Bogojavlenskij K. N. i dr.:* Kovka i šampovka, Tom 3, Holodnaja objemnaja šampovka, "Mašinstroenie", Moskva, 1987, s. 384.
- [2] *Spur G., Stöferle Th.:* Handbuch der Fertigungstechnik, Band 2/2, Umformen. Carl Hanser Verlag, München/Wien, 1984, S. 1099.
- [3] *Kim H., Altan T.:* Cold forging of steel-practical examples of computerized part and process design. Journal of Materials Processing Technology 59 (1996).
- [4] *Mitropoljskij J. A., Filippov J. K.:* Osobennosti tehnologičeskich processov holodnoj objemnoj šampovki polih detalej iz cvetnih metallov na mnogo-pozicionnih avtomatah, "Kuznečno - šampovočnoe proizvodstvo", No 9, 1985.
- [5] *Aliev I. S.:* Tehnologičeskie vozmožnosti novih sposobov kombinirovannogo vidavlivanija. "Kuznečno - šampovočnoe proizvodstvo", No 2, 1990, s. 7-10.
- [6] *Geiger R.:* Der Stofffluß beim kombinierten Napffließpressen. Verlag W. Girardet, Essen, 1976, S. 196.
- [7] *Kuzman K. et al.:* Control of material flow in a combined backward can -forward rod extrusion. Journal of Materials Processing Technology 60 (1996) 141-147.
- [8] *Evdokimov A.K. i dr.:* Primenenie kombinirovannogo vidavlivanija v proizvodstve rabočih cilindrov gazonapolnennih amortizatorov, "Kuznečno-šampovočnoe proizvodstvo", No 5, 1986, s. 12-13.
- [9] *Lee D. J. et al.:* New processes to prevent a flow defect in the kombuned forward-backward cold extrusion of a piston-pin. Journal of Materials Processing Technology 139 (2003) 422-427.
- [10] *Kudo H., Shinozaki K.:* Estrusione a freddo con forza ausiliaria di trazione per ridurre la pressione sul puncone, Riv.mecc. 24, No 550, 1973.
- [11] *Marinković V.:* Novi tehnološki postupak izrade šupljih elemenata sa vencem plastičnim deformisanjem u hladnom ili toplom stanju. 1. međunarodni skup TM '93, Knjiga 3, Vrnjačka Banja, 1993, s. 392-397.
- [12] *Marinković V.:* Determination of constants in Swift's flow curve. 5th International scientific Conference 'RIM 2005', Bihać, 2005, pp. 205-211.
- [13] *Artes A. E., Kobzianidze D. G.:* Soveršenstvovanie tehnologičeskich processov holodnoj objemnoj šampovki detalej iz trubnih zagotovok. "Kuznečno-šampovočnoe proizvodstvo", No 2, 1990, s. 7-8.
- [14] *Simon Joseph A.:* Method of cold forming tubes with interior thicker sections. Patent No 87741 (USA), 1981.
- [15] *Simon Joseph A.:* Process for extruding a metal tube with inwardly thickened end portions. Patent No 87717 (USA), 1981.



DEFORMABILNOST MATERIJALA PRI SABIJANJU PUNOG I ŠUPLJEG VALJKA RAVNIM I IZDUBLJENIM PLOČAMA

D. Vilotić ¹⁾, D. Movrin ²⁾, M. Plančak ³⁾, I. Trbojević ⁴⁾, M. Kraišnik ⁵⁾

Rezime: Slobodno sabijanje valjka ravnim pločama spada u elementarne operacije zapreminskog deformisanja. Međutim, sabijanje valjka može se izvoditi alatima različitog oblika što utiče na naponko-deformaciono stanje i deformabilnost materijala. U ovom radu analizirano je slobodno sabijanje punog i šupljeg valjka ravnim i izdubljenim pločama. Cilj istraživanja bio je utvrđivanje uticaja geometrije alata na naponsko-deformaciono stanje i deformabilnost materijala. Eksperimenti su izvedeni na uzorcima od Č 4146 (EN: 100Cr6).

Ključne reči: deformabilnost materijala, sabijanje, cilindar, ravne ploče, izdubljene ploče

MATERIAL FORMABILITY AT UPSETTING OF CYLINDER BY FLAT AND HOLLOW PLATES

Abstract: Upsetting of cylinder by flat dies is one of the elementary bulk metal forming operation. But, upsetting of cylinder can also be performed by the dies different than flat, which influences on stress-strain state, and material formability. This paper describes the analysis of upsetting of cylinder and hollow cylinder by flat and hollow plates. The aim of this research was determination influences of die geometry on stress – strain state and material formability. Experimental investigation has been carried out on specimens of steel Č4146 (EN: 100Cr6).

Key words: Material fomability, Upsetting, Cylinder, Flat plates, Hollow plates

1. UVOD

Deformabilnost predstavlja osobinu materijala da se u određenim uslovima obrade trajno deformiše bez pojave razaranja ili nekog drugog oštećenja strukture

¹⁾ D. Vilotić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, vilotic@uns.ns.ac.yu

²⁾ D. Movrin, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija,

³⁾ M. Plančak, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija,

⁴⁾ I. Trbojević, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija,

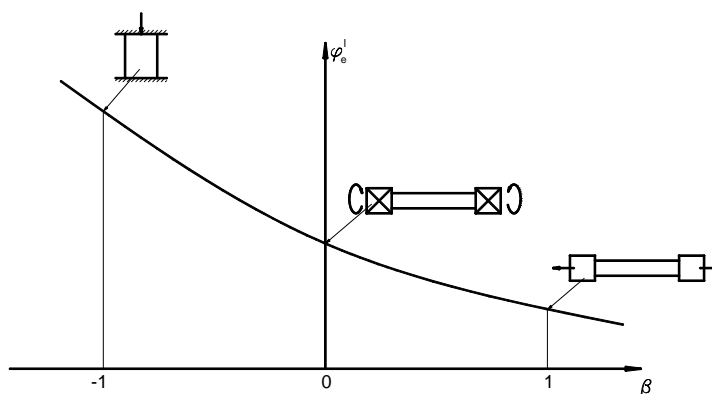
⁵⁾ M. Kraišnik, Mašinski fakultet, Istočno Sarajevo, Republika Srpska, BiH,

milijakraisnik@yahoo.com

materijala. Deformabilnost se kvantifikuje ukupnom deformacijom do trenutka pojave oštećenja materijala (φ_{eg}), a zavisi od vrste materijala, polazne strukture, temperature obrade, brzine deformacije, naponskog stanja i drugih faktora [1, 2]. Grafička interpretacija zavisnosti granične deformacije od pokazatelja naponskog stanja (β) predstavlja dijagram granične deformabilnosti (DGD). Pokazatelj naponskog stanja određen je izrazom:

$$\beta = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_e} \quad (1)$$

gde su: $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – komponente glavnih napona, σ_e – efektivni napon.



Slika 1. Dijagram granične deformabilnosti

Metodologija određivanja DGD bazirana je na primeni osnovnih modela deformisanja [1, 2]: jednoosno zatezanje ($\beta = +1$), jednoosno sabijanje valjka ($\beta = -1$) i čisto uvijanje ($\beta = 0$). U slučaju nemonotonih procesa, koji dominiraju u tehnologiji plastičnog deformisanja, primenjuje se metodologija Kolmogorova za određivanje srednje vrednosti pokazatelja naponskog stanja [3]:

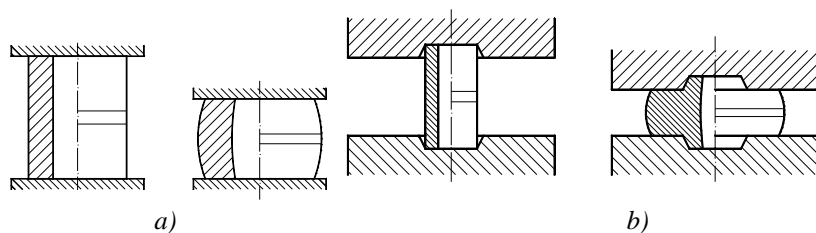
$$\beta_{sr} = \frac{1}{\varphi_{eg}} \int_0^{\varphi_{eg}} \beta(\varphi_e) d\varphi_e \quad (2)$$

gde je $\beta(\varphi_e)$ - istorija deformacije.

Kao polazna osnova u ovom radu korišćena je kriva granične deformabilnosti iz rada [4], koja je određena pomoću tri osnovna modela deformisanja: slobodno sabijanje valjka, uvijanje (torzija) i zatezanje. Srednje vrednosti granične deformacije za ove modele prikazane su u tabeli 1. U tako određen dijagram unešene su vrednosti granične deformacije dobijene sabijanjem šupljeg valjka ravnim i izdubljenim pločama (slika 2).

Tabela 1. Granične deformacije osnovnih modela

	β	φ_{el}
Torzija	0	0,448
Aksijalno zatezanje	1	0,129
Sabijanje valjka	-0,767	1,075



Slika 2. Sabijanje šupleg valjka: a) ravnim pločama, b) izdubljenim pločama

2. SABIJANJE PUNOG I ŠUPLJEG VALJKA RAVNIM PLOČAMA

Pri sabijanju punog i šupljeg valjka ravnim pločama na kontaktnim površinama prisutno je trenje koje ometa radijalno tečenje materijala i utiče na naponsko stanje u obratku. Kritična oblast na obratku nalazi se na spoljnoj površini (u meridijalnoj ravni) pa se za određivanje naponskog stanja primenjuje metodologija bazirana na proporcionalnosti devijatora napona i devijatora deformacije [1,2], na osnovu čega se dobijaju komponente napona:

$$\sigma_z = -K \left[1 + \frac{1+2\cdot\alpha}{2+\alpha} + \left(\frac{1+2\cdot\alpha}{2+\alpha} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$\sigma_\theta = \sigma_z \cdot \left(\frac{1+2\cdot\alpha}{2+\alpha} \right) \quad (3)$$

gde je α odnos deformacija:

$$\alpha = \frac{d\varphi_\theta}{d\varphi_z} \approx \frac{\varphi_\theta}{\varphi_z} \quad (4)$$

φ_z i φ_θ komponente logaritamske deformacije u pravcu osa z i θ .

Pokazatelj naponskog stanja β određuje se prema izrazu:

$$\beta = \frac{\sigma_r + \sigma_\theta + \sigma_z}{K} = \frac{\sigma_z + \sigma_\theta}{\sigma_e} \quad (5)$$

Efektivna deformacija na spoljnoj površini valjka određuje se prema izrazu [1,2]:

$$\varphi_e = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{1 + \alpha + \alpha^2} \cdot \varphi_z \quad (6)$$

S obzirom da je proces sabijanja valjka nemonoton, to se pri izračunavanju pokazatelja naponskog stanja mora koristiti izraz (2).

Određivanje deformabilnosti pri sabijanju šupljih valjaka ravnim pločama vršeno je na uzorcima početnih dimenzija $\phi 20/\phi 5 \times 25$ mm (slika 5b), dok su rezultati za sabijanje punih valjaka dobijeni na uzorcima dimenzija $\phi 20 \times 25$ mm (slika 5a).

Prosečne vrednosti granične deformacije i srednje vrednosti pokazatelja naponskog stanja za slučaj sabijanja punih i šupljih valjaka ravnim pločama, prikazane su u tabeli 2.

Tabela 2. Granična def. pri sabijanju ravnim pločama

	β	φ_{ei}
Puni valjci	-0,767	1,075
Šuplji valjci	-0,631	0,935



Slika 3: Uzorci pre i posle sabijanja ravnim pločama - a) puni valjci, b) šuplji valjci

3. SABIJANJE PUNOG I ŠUPLJEG VALJKA IZDUBLJENIM ALATIMA

Ovakav način deformisanja podseća na proces kovanja u otvorenom kalupu. U centralnom delu obratka tečenje metala je otežano, a pukotine se takođe pojavljuju u meridjalnoj ravni. Radi toga je za određivanje granične deformacije i pokazatelja naponskog stanja korišćena ista metodologija kao pri sabijanju valjka ravnim pločama.

Eksperimenti sabijanja šupljeg valjka izdubljenim alatima izvedeni su na uzorcima $\phi 20/\phi 5 \times 40$ mm i $\phi 20/\phi 5 \times 50$ mm, dok su rezultati za sabijanje punih valjaka dimenzija $\phi 20 \times 40$ mm i $\phi 20 \times 50$ mm preuzeti iz rada [4]. Udubljenje na pločama je iznosilo 5 mm.



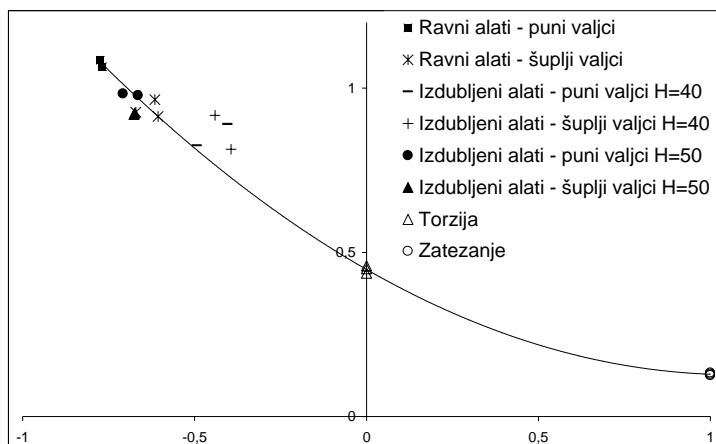
Slika 4. Uzorci pre i posle sabijanja izdubljenim alatima - a) puni valjci, b) šuplji valjci

Granične deformacije i srednje vrednosti pokazatelja naponskog stanja, kod ovog vida deformisanja prikazani su u tabeli 3.

Tabela 3. Granična def. pri sabijanju izdubljenim pločama

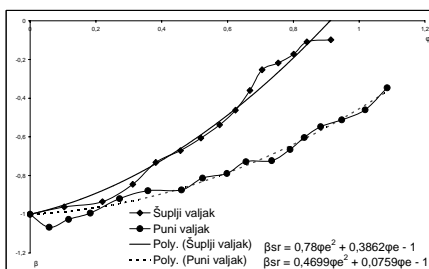
	β	φ_{el}
Puni valjci $H_0=40$ mm	-0,468	0,858
Puni valjci $H_0=50$ mm	-0,684	0,980
Šuplji valjci $H_0=40$ mm	-0,418	0,865
Šuplji valjci $H_0=50$ mm	-0,675	0,922

Na slici 5 prikazan je DGD konstruisan na bazi izvedenih eksperimenata sabijanja šupljeg i punog valjka ravnim i izdubljenim pločama.

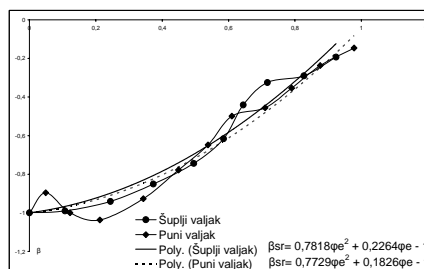


Slika 5. Dijagram granične deformabilnosti za Č 4146

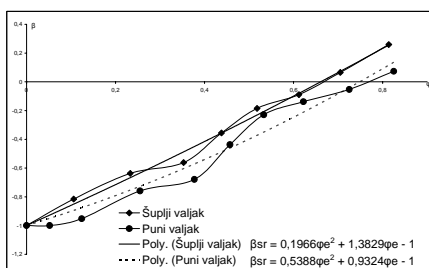
Na slikama 6, prikazana je promena pokazatelja β u zavisnosti od efektivne deformacije – «istorija deformisanja» pri sabijanju punog i šupljeg valjka pomoću ravnih i izdubljenih ploča. Primećuje da kod šupljih valjaka «istorija deformisanja» ima tendenciju ka pozitivnom β faktoru, što ukazuje na nepovoljnije naponsko stanje kod ovih modela deformisanja.



a)



b)



c)

Slika 6. Istorija deformisanja

- a) pri sabijanju punog i šupljeg valjka ravnim pločama,
- b) b) pri sabijanju punog i šupljeg valjka izdubljenim pločama (H=40mm),
- c) c) pri sabijanju punog i šupljeg valjka izdubljenim pločama (H=50mm)

4. ZAKLJUČAK

Rezultati ispitivanja deformabilnosti čelika Č4146 (EN:100Cr6) pokazuju da ona u najvećoj meri zavisi od naponskog stanja, tj. pokazatelja naponskog stanja β . Granična deformacija znatno je viša u uslovima pritisknog naponskog stanja u odnosu na istu u uslovima zateznog naponskog stanja.

Najviše vrednosti granične deformacije nastale su pri sabijanju punih valjka ravnim pločama. Granična deformacija je niža kod sabijanja punih valjka izdubljenim alatima, jer je kod tih procesa zbog otežanog radijalnog tečenja, došlo do pogoršanja naponskih uslova. Kod sabijanja šupljih valjaka, deformabilnost je niža u odnosu na rezultate pri sabijanju punog valjka zbog intenzivnijeg tečenja metala u tangencijalnom pravcu. Kod analiziranih procesa sabijanja valjka povećanje visine uzorka neznatno utiče na povećanje granične deformacije zbog smanjenja uticaja zone ometenog tečenja na naponsko stanje u meridijalnoj ravni obratka.

Rezultati deformabilnosti materijala pri sabijanju šupljih valjka ravnim i izdubljenim alatima u osnovi podržavaju opštu zakonitost DGD.

Napomena

Rezultati prikazani u ovom radu deo su rezultata istraživanja na projektu "Istraživanje, razvoj i primena NEAR NET SHAPE FORMING tehnologije u proizvodnji elemenata kotrljajnih ležaja i karadna", koji finansira Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije, evid. broj TR 6333 B.

LITERATURA:

1. Vujović V., Shabaik A., A new workability criteria for ductile fracture. Trans. ASME Journal, Engineering Materials and Technology. Vol. 108, pp. 245-249., 1986.
2. Vilotić D., Ponašanje čeličnih materijala u različitim obradnim sistemima hladnog zapreminskog deformisanja, FTN Novi Sad, 1987.
3. Kolmogorov V.L., Plastičnost i razrušenje, Metalurgija, Moskva, 1977.
4. Kraišnik M., Deformabilnost materijala, Seminarski rad, FTN Novi Sad, 2005.
5. Vilotić D., Plančak M., Grbić S., Alexandrov S., Chikanova N., An Approach to Determining the Workability Diagram Based on Upsetting Tests, Journal Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures, Vol.1, No 26 (2003), pp.305-310.
6. Aleksandrov S., Vilotić D., Goldstein R., Chikanova N., The Determination of the Workability Diagram, Journal Mechanics of Solids, Vol. 34, No. 4, pp. 118-125, 1999., by Allerton Press, Inc.



NOVI PRISTUP DIMENZIONISANJU VIŠESTEPENIH ALATA

M. Nožić ¹⁾, H. Đukić ²⁾

Rezime: U radu je ponuđen novi način dimenzionisanja višestepenih alata za izvlačenje sa redukcijom debljine zida.

Problem dimenzionisanja se rješava tako što se prvo proračuna minimalan broj prstenova u višestepenom alatu, na osnovu poznatih dimenzija radnog predmeta, a zatim se odrede dimenzije tih prstenova po Modelu 1. [2]

Ključne riječi: višestepeni alati, duboko izvlačenje sa redukcijom debljine zida

1. UVOD

Dosadašnja proizvodna praksa u dimenzionisanju višestepenih alata bazirala se na određivanju prečnika prstenova u alatu sa ciljem potiznja dimenzionalne tačnosti i kvaliteta izrađivanih dijelova.

Broj prstenova u višestepenim alatima određivan je na osnovu broja operacija izvlačenja pri izvlačenju na jednostepenim alatima.

Na taj način se pravi prva greška, jer je proces izvlačenja na višestepenim alatima sa stanovišta naponsko-deformacione analize znatno složeniji proces od izvlačenja na jednostepenim alatima.

Nedostaci dosadašnjeg načina dimenzionisanja višestepenih alata ogledaju se i u tome što nisu uzimani u obzir: opterećenje alata, način njegove preraspodjele na pojedine prstenove u alatu i plastične osobine obrađivanog materijala.

Kao posljedica takvog pristupa, u praksi se pojavljuju problemi vezani za velike zastoje zbog čestih izmjena alata, vremenske gubitke i troškove, tj. nestabilan proces izvlačenja.

Da bi se to izbjeglo i ostvarili uslovi za stabilan proces izvlačenja, kompleksan problem dimenzionisanja višestepenih alata treba rješavati sa aspekta opterećenja alata i načina njegove preraspodjele unutar samog alata.

Minimalan broj prstenova u višestepenom alatu može se izračunati na osnovu poznatog ukupnog stepena deformacije, koji se treba izvršiti na tom alatu.

¹⁾ Doc. dr Mirna Nožić, Univerzitet «Džemal Bijedić» Mostar, Mašinski fakultet, Maršala Tita bb, 88000 Mostar, BiH, mirna.nozic@unmo.ba

²⁾ Prof. dr Himzo Đukić, Sveučilište u Mostaru, FSR, Matice Hrvatske bb, 88000 Mostar, BiH, himzo.djukic@sve-mo.ba

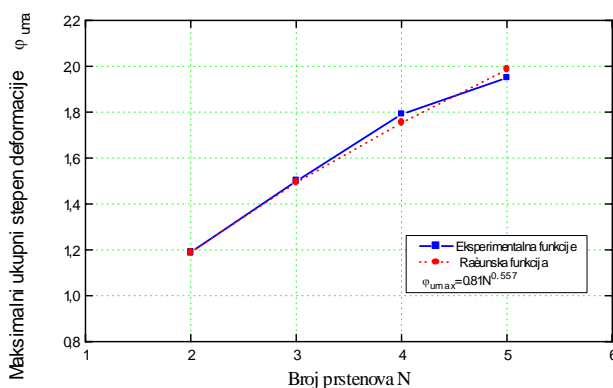
2. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA GRANIČNE DEFORMABILNOSTI

Za dobijanje izraza za izračunavanje minimalnog broja prstenova u višestepenim alatima, neophodno je bilo izvršiti eksperimentalna istraživanja granica maksimalnog stepena deformacije koji se može izvršiti na tim alatima.

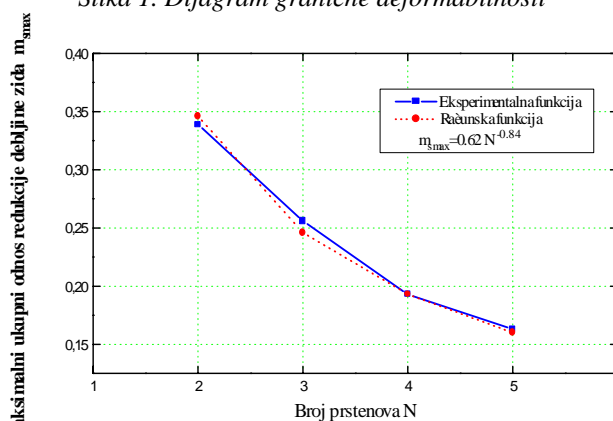
Istraživanja su provedena u laboratorijskim uslovima sa cilindričnim pripremcima od CuZn 28. Kao rezultat su dobivene maksimalne vrijednosti logaritamskih stepeni deformacije sa kojim se ostvaruje stabilan proces izvlačenja, bez pojave kidanja radnih predmeta, i to:

- za dvostepeni alat (N=2) $\varphi_{u \max} = 1.19$
- za trostepeni alat (N=3) $\varphi_{u \max} = 1.50$
- za četverostepeni alat (N=4) $\varphi_{u \max} = 1.79$
- za petostepeni alat (N=5) $\varphi_{u \max} = 1.95$

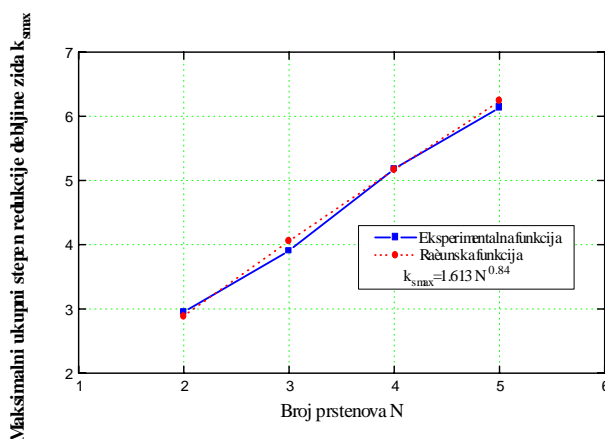
Na osnovu utvrđenih granica, urađeni su dijagrami granične deformabilnosti za višestepene alate izraženi preko maksimalnog ukupnog stepena deformacije – slika 1, preko maksimalnog ukupnog odnosa redukcije debljine zida – Slika 2 i preko maksimalnog ukupnog stepena redukcije debljine zida – Slika 3.



Slika 1. Dijagram granične deformabilnosti



Slika 2. Dijagram granične deformabilnosti



Slika 3. Dijagram granične deformabilnosti

Sa dijagrama granične deformabilnosti (Slika 1) može se uočiti da sa porastom broja prstenova u višestepenom alatu, raste i maksimalni ukupni stepen deformacije koji se može izvršiti na tom alatu.

Eksperimentalna kriva može se aproksimirati eksponencijalnom funkcijom u obliku:

$$\varphi_{u\max} = c \cdot N^d \quad (1)$$

gdje su:

$\varphi_{u\max}$ - maksimalni ukupni stepen deformacije;

N – broj prstenova u višestepenom alatu;

c – koeficijent;

d – eksponent eksponencijalne funkcije.

Regresionom analizom određene su vrijednosti koeficijenta c i eksponenta d , tako da pretpostavljena eksponencijalna funkcija ima oblik:

$$\varphi_{u\max} = 0.81 \cdot N^{0.557} \quad (2)$$

Eksponencijalna funkcija vrijedi za pripreme od CuZn 28 (stanje meko žareno) i $N = 2, 3, 4$ i 5 prstenova. Koristeći veze između logaritamske deformacije (φ), odnosa redukcije debljine zida (m_s) i stepena redukcije debljine zida (k_s) izraz (2) može se napisati preko odnosa redukcije debljine zida u obliku:

$$m_{s\max} = 0.62 \cdot N^{-0.84} \quad (3)$$

i preko maksimalnog stepena redukcije debljine zida u obliku:

$$k_{s\max} = 1.613 N^{0.84} \quad (4)$$

Poređenje eksperimentalnih i računskih vrijednosti maksimalnog ukupnog stepena deformacije, maksimalnog odnosa redukcije debljine zida i maksimalnog stepena redukcije debljine zida dato je u Tabelama 1, 2 i 3.

Tabela 1. Računske i eksperimentalne vrijednosti maksimalnog ukupnog stepena deformacije za dvostepene, trostepene, četverostepene i petostepene alate.

Broj prstenova N	Maksimalni ukupni stepen deformacije $\varphi_{u \max}$		Razlika $\Delta \varphi_{u \max}$	Greška (%)
	Računska vrijednost $\varphi_{u \max R}$	Eksperimentalna vrijednost $\varphi_{u \max E}$		
2	1.191	1.19	0.001	0.1
3	1.493	1.50	0.007	0.4
4	1.753	1.79	0.037	2
5	1.985	1.95	0.035	1.7

Tabela 2. Računske i eksperimentalne vrijednosti maksimalnog ukupnog odnosa redukcije debljine zida za dvostepene, trostepene, četverostepene i petostepene alate

Broj prstenova N	Ukupni odnos izvlačenja $m_{s \max}$		Razlika $\Delta m_{s \max}$	Greška (%)
	Računska vrijednost $(m_{s \max})_R$	Eksperimentalna vrijednost $(m_{s \max})_E$		
2	0.346	0.339	0.007	2.02
3	0.246	0.256	0.01	4.06
4	0.193	0.193	0	0
5	0.160	0.163	0.003	1.88

Tabela 3. Računske i eksperimentalne vrijednosti maksimalnog ukupnog stepena redukcije debljine zida za dvostepene, trostepene, četverostepene i petostepene alate

Broj prstenova N	Maksimalni ukupni stepen redukcije debljine zida $k_{s \max}$		Razlika $\Delta k_{s \max}$	Greška (%)
	Računska vrijednost $k_{s \max R}$	Eksperimentalna vrijednost $k_{s \max E}$		
2	2.89	2.95	0.06	2.08
3	4.059	3.906	0.153	3.77
4	5.169	5.181	0.012	0.23
5	6.234	6.135	0.099	1.59

3. ODREĐIVANJE MINIMALNOG BROJA PRSTENOVA U VIŠESTEPENOM ALATU

Iz dijagrama granične deformabilnosti, prikazanog na Slici 1, može se doći do izraza za minimalan broj prstenova u višestepenom alatu za poznati logaritamski stepen deformacije (φ_u), koji treba izvršiti na tom alatu. Koristeći izraz (2) dobija se izraz za određivanje minimalnog broja prstenova u obliku:

$$N_{\min} = 1.46 \varphi_u^{1.8} \quad (5)$$

Dobivena vrijednost N_{\min} zaokružuje se na prvi veći cijeli broj.

Izraz za minimalan broj prstenova u višestepenom alatu može se dobiti i preko odnosa redukcije debljine zida (m_s) i preko stepena redukcije debljine zida (k_s), u obliku:

$$N_{\min} = 1.79 m_s^{-1.19} \quad (6)$$

$$N_{\min} = 0.57 k_s^{1.19} \quad (7)$$

4. ODREĐIVANJE DIMENZIJA (PREČNIKA) PRSTENOVA U VIŠESTEPENOM ALATU

Nakon što se preko ponuđenih izraza (5), (6) i (7) odredi broj prstenova u višestepenom alatu, potrebno je pristupiti određivanju dimenzija (prečnika) tih prstenova.

Eksperimentalno je dokazano da je za dimenzionisanje višestepenih alata za izvlačenje sa redukcijom debljine zida najbolje koristiti Model 1. [1, 2] Dimenzije prstenova računaju se na slijedeći način:

$$\begin{aligned} d_1 &= \sqrt{d^2 + 4 \cdot A_0 \cdot e^{-\varphi_1/\pi}} \\ d_2 &= \sqrt{d^2 + 4 \cdot A_0 \cdot e^{-(\varphi_1 + \varphi_2)/\pi}} \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \\ d_p &= \sqrt{d^2 + 4 \cdot A_0 \cdot e^{-(\varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_p)/\pi}} \end{aligned} \quad (8)$$

gdje su:

- d - prečnik izvlačka,
- d_1, \dots, d_p - prečnici prvog, odnosno posljednjeg prstena u višestepenom alatu,
- A_0 - površina poprečnog presjeka platine,
- $\varphi_1 - \varphi_p$ - logaritamski stepen deformacije za prvi, odnosno p-ti prsten.

5. ZAKLJUČAK

Novi pristup dimenzionisanju višestepenih alata baziran je na: eksperimentalnom određivanju granične deformabilnosti za višestepene alate sa dva, tri, četiri i pet prstenova za izvlačenje, određivanju minimalnog broja prstenova u višestepenom alatu i određivanju prečnika svih prstenova u višestepenom alatu po Modelu 1.

Model 1 polazi od teoretske pretpostavke da su svi prstenovi u višestepenom alatu jednako opterećeni. Model uzima u obzir plastične osobine obrađivanog materijala i očvršćavanje u toku procesa obrade.

Ovako definisan novi pristup dimenzionisanju višestepenih alata, baziran na eksperimentalnim rezultatima, daje veoma dobre rezultate, što je provjereno na svim višestepenim alatima sa dva, tri, četiri i pet prstenova. Isti pristup se može primjeniti na bilo koji materijal koji se koristi u praksi za izvlačenje sa redukcijom debljine zida.

6. LITERATURA

1. Đukić H., Popović P.: Metoda proračuna dubokog izvlačenja sa redukcijom debljine zida. Časopis Obrada deformisanjem u mašinstvu, br.2, Novi Sad, 1984.
2. M. Nožić: Prilog istraživanju pojedinačnog i ukupnog opterećenja višestepenih alata za izvlačenje sa redukcijom debljine zida, Doktorska disertacija, Mostar 2005.
3. H. Đukić, M. Nožić: Determining maximal deformation level for multi-stage tools , 9th International Research/Expert Conference “Trends in the Development of Machinery and Associated Technology” TMT 2005, Antalya, Turkey 26.- 30. septembar 2005.
4. M. Nožić, H. Đukić :“Single and total load of rings in plus ring tools”, 7th International Research/Expert Conference “Trends in the Development of Machinery and Associated Technology” TMT 2003, Barcelona-Spain, 15.-17. septembar 2003.



ZNAČAJ SILE DRŽANJA U REALIZACIJI UPRAVLJANJA PROCESOM DUBOKOG IZVLAČENJA

S. Aleksandrović¹⁾, M. Stefanović²⁾

Rezime. Upravljanje procesom dubokog izvlačenja podrazumeva realizaciju upravljačkog sistema sposobnog da autonomno generiše odgovarajuća dejstva (preko jedne ili više upravljačkih promenljivih) za vreme trajanja procesa oblikovanja i time koriguje njegov tok.

U radu se daje analiza uticaja najvažnijeg upravljajućeg parametra - sile držanja i mogućnosti njegove primene u složenim sistemima upravljanja. Dati su i konkretni rezultati primene promenljive sile držanja na primeru izvlačenja cilindričnog komada od galvanski pocinkovanog niskougljeničnog čeličnog lima.

Ključne reči: tanki limovi, duboko izvlačenje, promenljiva sila držanja, upravljanje.

SIGNIFICANCE OF BLANK HOLDING FORCE IN REALIZATION OF DEEP DRAWING PROCESS CONTROL

Abstract. Deep drawing process control means realization of control system able to generate proper action independently (through one or more control parameters) during forming process and in that way make necessary correction of process course.

Influence analysis of most important control parameter – blank holding force and application possibilities in complex control systems are given in this article. Also, presented are experimental results of variable blank holding force application on the example of cylindrical part deep drawing. Material was low carbon steel sheet with galvanized zinc coating.

Key words: thin sheets, deep drawing, variable holding force, process control.

1. UVOD

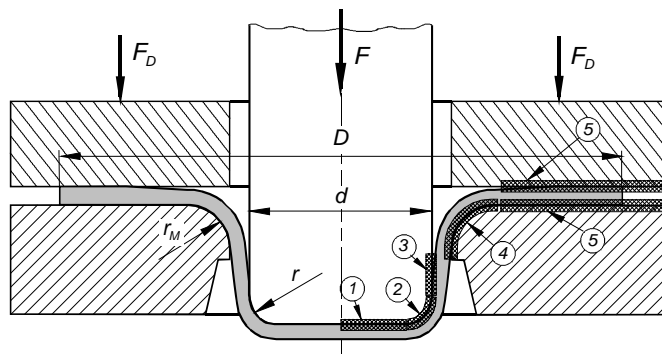
Duboko izvlačenje tankih limova zauzima, po mnogim kriterijumima, najvažnije mesto u okviru metal forming tehnologija i jedno od dominantnih mesta u industriji prerade metala uopšte. Zato sa nesmanjenim intenzitetom traje izučavanje svih aspekata procesa i daju se nova rešenja sa ciljem dobijanja boljih rezultata i težnjom ka

¹⁾ Dr Srbslav Aleksandrović, vanr. prof., Mašinski fakultet, Kragujevac, srba@kg.ac.yu

²⁾ Dr Milentije Stefanović, red. prof., Mašinski fakultet, Kragujevac, stefan@kg.ac.yu

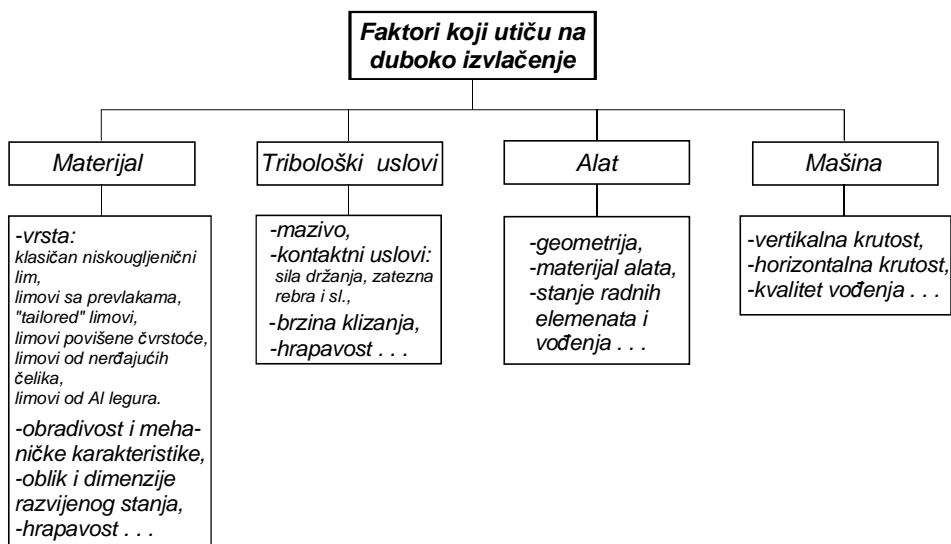
ostvarenju upravljanja tokom procesa plastičnog oblikovanja. Istraživanja, čiji je deo rezultata izložen u ovom radu usmerena su ka istom cilju.

Na sl. 1 data je osnovna šema procesa sa identifikacijom karakterističnih zona trenja. U zonama 1 i 2 praktično nema klizanja i još krajem šezdesetih godina [1] uočeno je da pojačano trenje u ovim zonama povoljno utiče na trajanje procesa i dubinu izvlačenja.



Slika 1. Osnovna šema dubokog izvlačenja

Između zona 2 i 3 je kritično mesto za nastajanje pukotine. Ugeometrijskom smislu to je kraj radijusa dna i početak cilindričnog dela komada. U zonama 4 i 5 trenje je najintenzivnije, a njegovo smanjivanje daje povoljne efekte. Sa aspekta uticaja na proces veliki značaj ima zona 5 (kontakt držača, lima i matrice).

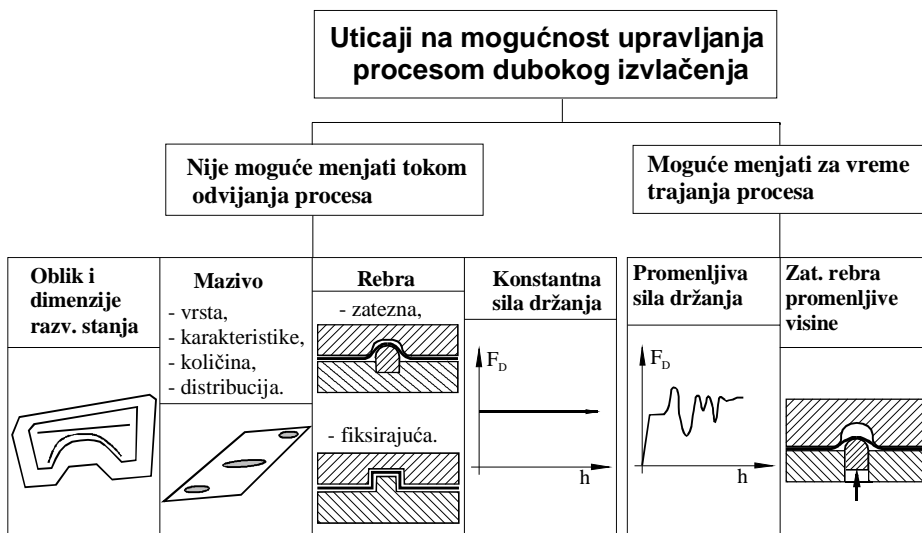


Slika 2. Uticajni faktori na proces dubokog izvlačenja

Većinu triboloških faktora (slika 2) moguće je relativno lako menjati iako imaju suštinski uticaj na proces. Izmena maziva, zona podmazivanja ili sile držanja je jednostavnija od rekonstrukcije alata, zamene mašine i materijala ili sl.

2. MOGUĆNOSTI ZA UPRAVLJANJE PROCESOM

Ako upravljanje shvatimo kao dejstvo upravljajućih (ili upravljačkih) parametara koji u sistemu povratne sprege neprekidno (za vreme trajanja procesa) koriguju upravljane promenljive, važno je u startu identifikovati raspoložive uticaje i odgovarajuće parametre procesa (slika 3).



Slika 3. Prikaz uticaja na proces oblikovanja

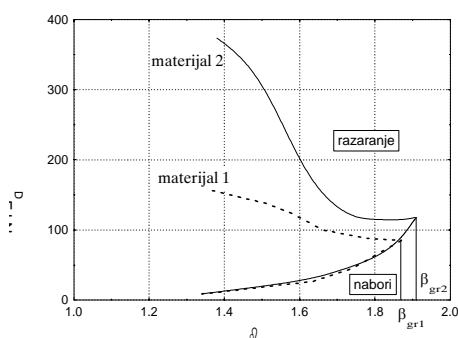
Za vreme trajanja procesa moguće je delovati samo preko dva uticaja: držanja (parametar-sila držanja) i pokretnih zateznih rebara (parametar-hod ili visina). Ovde će se isključivo govoriti o korišćenju sile držanja kao upravljajućeg (ili upravljanog) parametra.

Jedan od najjednostavnijih načina za orijentacionu procenu uticaja sile držanja jeste izračunavanje komponenti napona izvlačenja po klasičnoj formuli za maksimalnu

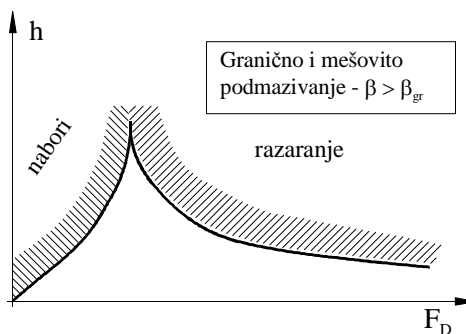
silu izvlačenja cilindričnog komada [2]. U tabeli 1 dati su intenziteti ukupnog napona kao i sve četiri komponente. Dato je i procentualno učešće komponenti u ukupnom naponu [2]. U navedenom primeru napon usled trenja na držaču uzima najmanje učešće sa 4,4%. To odgovara realnosti ali učešće raste sa porastom sile držanja. U [2] je pokazan porast sile izvlačenja zavisno od povećanja intenziteta sile držanja, za manje i veće geometrije komada. Maksimalna sila izvlačenja može da se poveća i do 40 % promenom sile držanja. U uslovima jačeg trenja i manje brzine deformisanja uticaj sile držanja na odvijanje procesa postaje veoma značajan.

Tabela 1

Naponi pri izvlačenju (MPa)		
σ_{uiz}	504	%
σ_r	382,8	75,9%
σ_{trd}	21,83	4,4%
σ_{trm}	68,8	13,7%
σ_{savis}	30,56	6,0%



Slika 4. Sila držanja i stepen izvlačenja



Slika 5. Dubina izvlačenja i sila držanja

Jedan od najilustrativnijih načina za razumevanje uticaja sile držanja je prikaz zavisnosti sile držanja od stepena izvlačenja (slika 4) i zavisnosti dubine izvlačenja od sile držanja (slika 5). Važno je uočiti optimalne intenzitete F_D s obzirom na postizanje maksimalne dubine i maksimalnog stepena izvlačenja.

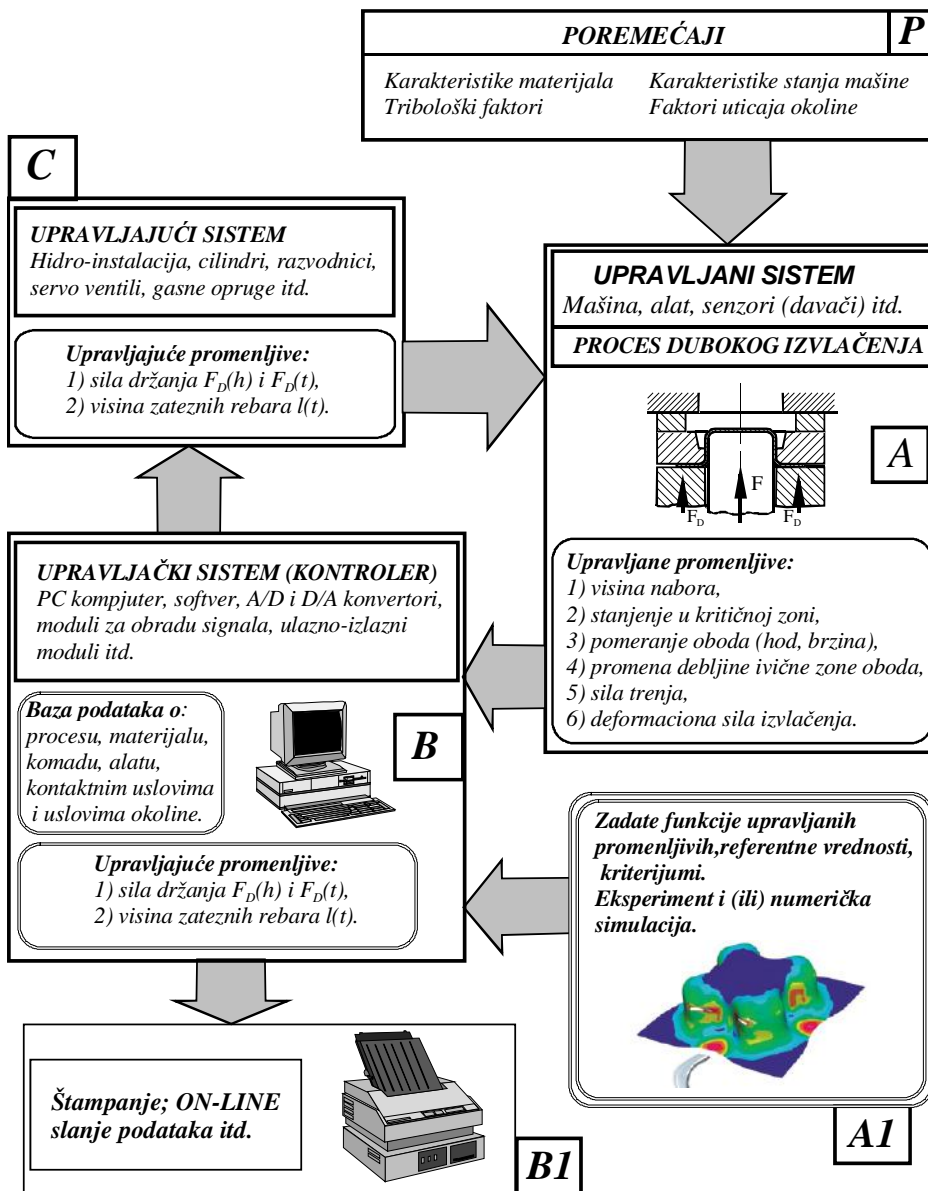
Upravljanje procesom dubokog izvlačenja, u širem smislu, može se definisati kao skup dejstava u okviru jedinstvenog sistema, sa ciljem autonomnog odvijanja procesa plastičnog deformisanja, automatskog reagovanja na poremećaje i promenljive ulazne faktore i dobijanje oblikovanog predmeta projektovanih, odnosno što boljih karakteristika.

Okvir u kome se proces uspešno odvija čine dva neprihvatljiva defekta: pojava nabora na obodu i pojava razaranja (pukotine) u kritičnoj zoni komada. Već je ukazano da se tokom procesa mogu menjati (i iskoristiti kao upravljačka dejstva) samo dva značajna parametra procesa: sila držanja i visina zateznih rebara. Ostvarivanje promenljive funkcionalne zavisnosti tokom procesa bilo koje od dve pomenute veličine postalo je moguće tek tokom zadnjih par decenija zahvaljujući razvoju kompjuterskih sistema za akviziciju i upravljanje.

Između pojave defekata (nabora i razaranja) i sile držanja, načelno postoji jasna veza. Optimalan intenzitet sile držanja sprečava pojavu nabora, ali često, i malo povećan može da rezultira lokalizovanim stanjenjem ili razaranjem. Na prvi pogled se čini da je, zbog relativno lake identifikacije ključnih parametara idejno-teorijsko rešenje upravljanja, jednostavno. U realnim uslovima pokazalo se da nije tako. Razlozi su sledeći: gotovo nemoguće lociranje kritične zone na komadu i merenje stanjenja lima što je jedini direktan parametar vezan za kriterijum kritične deformacije i opasnosti od razaranja, teškoće oko korišćenja visine nabora kao parametra iako je merenje relativno lako, postojanje istovremenog uticaja više faktora (materijal komada i alata, geometrija komada i alata, stanje mašine, tribološki uslovi, uticaj okoline itd.), složenost se povećava u uslovima većih brzina itd.

Slika 6 daje opštu shemu sistema potpunog upravljanja procesom dubokog izvlačenja. Uspostavlja se povratna sprega između stvarne (aktuelne, trenutne) vrednosti odgovarajuće upravljane promenljive (blok A) i njene zadate funkcije (blok A1). Korekcije upravljanih promenljivih vrše se odgovarajućim dejstvima upravljajućih promenljivih (blokovi B i C). Treba primetiti da se pri tehničkom izvođenju blokovi A i C često objedinjuju. Realnu i, za sada, teško rešivu teškoću predstavlja nemogućnost merenja stanjenja lima u kritičnom pojasu i lokalizacije zone najintenzivnije

deformacije koja prethodi lomu. Rešenja se traže preko korišćenja posrednih parametara, kao što je hod ili brzina uvlačenja ivice oboda [3].



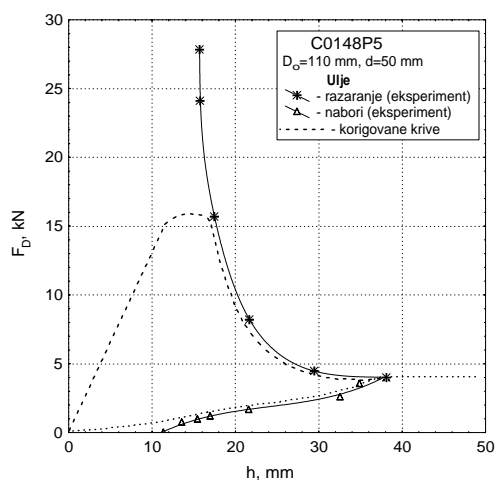
Slika 6. Opšta shema upravljanja procesom dubokog izvlačenja

Definisanje ciljnih (zadatih) funkcija upravljanih promenljivih takođe predstavlja značajnu poteškoću. Potrebno je sprovesti eksperimentalna istraživanja ili numeričke simulacije na savremenim softverima [4]. Ako se obod deli na više nezavisnih zona složenost sistema se u velikoj meri povećava.

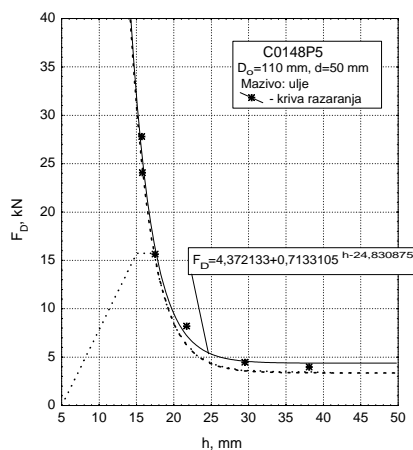
Iz prethodno načelno nabrojanih karakteristika, lako se zapaža velika složenost sistema za potpuno upravljanje koju prate znatni troškovi i visoka ukupna cena. U [5] je dat predlog pojednostavljenog pristupa gde se definišu funkcije sile držanja tokom predhodnih istraživanja (eksperimenti i/ili kompjuterske simulacije). Zadatak upravljačkog sistema sada se sastoji samo u realizaciji funkcije promenljive sile držanja (PSD) tokom procesa.

Jedan od mogućih pristupa za definisanje PSD dat je na slikama 7, 8 i 9. Osnovu čine eksperimentalne granične krive nabora i razaranja (slika 5). Ako se zamene mesta koordinatnim osama, analitički obrade i koriguju eksperimentalne krive, dobijaju se funkcije PSD u zavisnosti od hoda, odnosno vremena, koje se direktno mogu koristiti u upravljačkom sistemu.

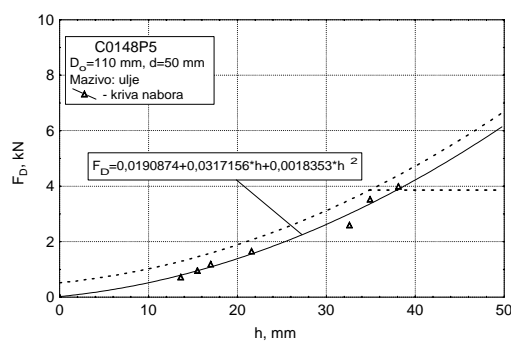
Moguće je sprovesti i drugačije pristupe sa ciljem definisanja zavisnosti PSD [5]. Dobijaju se funkcionalne zavisnosti opadajućeg, rastućeg, kombinovanog i pulzirajućeg karaktera.



Slika 7. Granične krive sile držanja



Slika 8. Korigovane krive sile držanja



Slika 9. Korigovane krive sile držanja

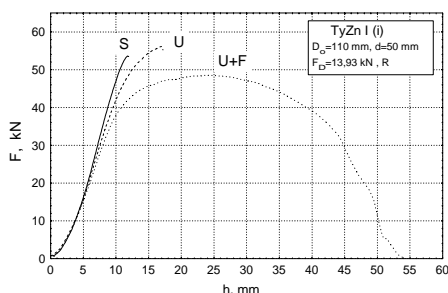
3. REZULTATI EKSPERIMENTA

Ovde će biti prikazani rezultati primene pojednostavljenog sistema upravljanja, odnosno primene promenljive sile držanja. Aparatura je formirana na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu i njena osnovna karakteristika je mogućnost realizacije PSD tokom trajanja procesa u proizvoljnom obliku (kontinualne analitički date funkcije, prekidne zavisnosti ili diskretne vrednosti). Ostale osobine i detalji dati su u [5].

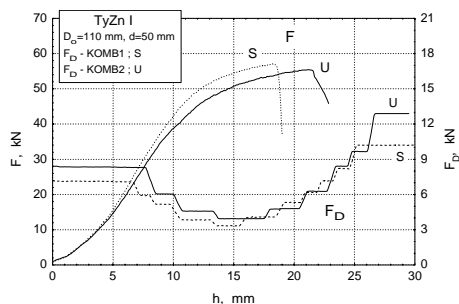
Primer koji će biti prikazan odnosi se na cilindrični komad nominalnog prečnika 50 mm sa stepenom izvlačenja 2,2. Debljina lima je 0,8 mm. Materijal je jednostrano galvanski pocinkovan niskouglenični čelični lim namenjen za duboko izvlačenje.

Na slici 10 date su zavisnosti deformacionih sila od hoda za tri različita kontaktna stanja na obodu (S—suve površine odmašćene acetonom; U—primena ulja, mešovito trenje i U+F—primena ulja i PET folije, površine potpuno razdvojene). U slučaju najvećeg trenja (S) postignuta dubina izvlačenja iznosi 13,1 mm. Pri mešovitom trenju (U) dubina je 17,2 mm dok se pri minimalnom trenju dobija puna dubina komada. Primenjena je sila držanja konstantnog intenziteta od 13,93 kN dobijena na osnovu empirijskih preporuka i istraživanja autora [5].

Primena PSD opravdana je samo u uslovima pojačanog trenja, tako da se na slici 11 vide zavisnosti deformacionih sila izvlačenja pri suvom i mešovitom trenju. Prikazane su i zavisnosti PSD realizovane radom upravljačkog sistema. Reč je o kombinovanim (opadajuće–rastućim) funkcijama dobijenih posebnim postupkom [5]. Primenom ovakve PSD za suvo trenje, dubina izvlačenja kao najznačajniji makro parametar uspešnosti procesa, poveća se za 39,7% (18,3 mm). Za mešovito trenje povećanje dubine iznosi 26,2 % (21,7 mm).

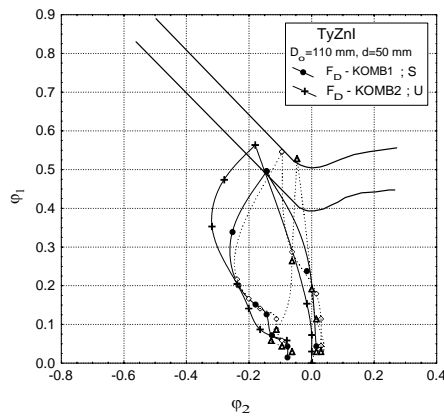


Slika 10. Sile izvlačenja



Slika 11. Sile izvlačenja

Slika 12 daje prikaz distribucija glavnih površinskih deformacija datih paralelno sa krivama dijagrama granične deformabilnosti za korišćeni materijal. Isprekidanim linijama date su distribucije za uslove primene konstantne sile držanja, a punim za primenu PSD. Jasno se zapaža otklon obe petlje distribucija dobijenih pri PSD, u levu stranu ka bezbednijoj zoni deformisanja ispod krive razaranja dijagrama granične deformabilnosti.



Slika 12. Distribucije deformacija

4. ZAKLJUČAK

Sistemi potpunog upravljanja procesom dubokog izvlačenja još uvek su veoma retki i u industrijama najrazvijenijih zemalja, ali su zato predmet stalnih istraživanja. Pojednostavljenjem pristupa koji podrazumeva upravljanje silom držanja tokom procesa, moguće je dobiti zadovoljavajuće rezultate uz znatno manja ulaganja. Potrebno je prethodno izvršiti istraživanje obradivosti i definisati funkcije promenljive sile držanja. Prikazani primer pokazuje da rezultati mogu da budu značajni.

Ovakvi efekti su posebno važni u uslovima primene najnovijih materijala (Al legure, limovi povišene čvrstoće itd.) koji su znatno lošije obradivosti u odnosu na klasične niskouglenične limove.

5. LITERATURA

1. M. Stefanović: Tribologija dubokog izvlačenja, monografija, Mašinski fakultet i Jug. društvo za tribologiju, Kragujevac, 1984.
2. S. Aleksandrovič, M. Stefanovič: Significance and limitations of variable blank holding force application in deep drawing process, ICMEN 05, Kallithea of Chalkidiki, 2005., Greece, proc. pp. 245–253.
3. E. Doege et al.: Contactless on-line measurement of material flow for closed loop control of deep drawing, Journal of Materials Processing Technology, 130–131, 2002., pp. 95–99.
4. H. Koyama, R. Wagoner, K. Manabe: Blank holding force control in panel stamping process using a database and FEM-assisted intelligent press control system, Journal of Materials Processing Technology, 152, 2004., pp. 190–196.
5. S. Aleksandrovič: Sila držanja i upravljanje procesom dubokog izvlačenja, monografija, Mašinski fakultet Kragujevac, 2006.



НУМЕРИЧКА СИМУЛАЦИЈА ОБРАДЕ У ЗАТВОРЕНОМ КОВАЧКОМ АЛАТУ

П. Станковић¹⁾, М. Шљивић²⁾

Резиме. У данашњој пракси успех у изради чак и најједноставнијих делова добијених ковањем је још увек углавном базирано на искуству конструктора алата. Међутим ако се жели бити конкурентан на тржишту, мора се размишљати о улагањима у рачунарску подршку како процеса конструисања, тако и анализе процеса и израде производа. За симулацију су конструисане две врсте алата из којих се добијају идентични готови комади. Испитиван је утицај облика алата, облик припремка, и величине радијуса у алату на силу ковања и ток материјала у алату током деформисања. Симулације су изведене помоћу једног од најјачих софтверских алата DEFORM 3D.

Кључне речи: нумеричка симулација, затворени ковачки алат, утицајни параметри, софтвер DEFORM 3D

NUMERIC FORMING SIMULATION IN CLOSED FORGING TOOL

Summary. In today's practice, the success of producing even the most simple parts using hammering is still mainly down to the experience of the tool user. To be competitive in today's market we must consider investing in mathematical models of the process of construction as well as analysis of the process of production itself. For the simulation we constructed two types of tools and finished with identical pieces. Research was performed on the influence of the shape of the tools, the shape of preparation, the radius of the tools, the force hammering materials and materials of the tools during deformation. Simulations have been produced with a help of one of the strongest computer tools DEFORM 3D.

Key works: numeric simulation, closed forging tool, DEFORM 3D

1. УВОД

Циљ рачунарске симулације обраде у затвореном ковачком алату је пре свега остварење најважнијег циља за успех на тржишту:

¹⁾ Мр. Предраг Станковић, Машински факултет, Бања Лука, Република Српска, spreadrag@teol.net

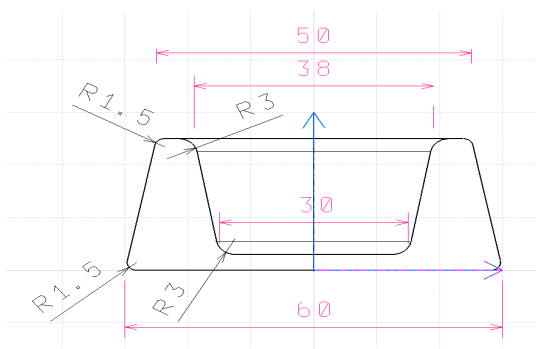
²⁾ Проф. Др Милан Шљивић, Машински факултет, Бања Лука, Република Српска, slivicm@urc.bl.ac.yu

- висок квалитет производа,
- ниски трошкови израде и,
- кратак развојни период при увођењу новог производа.

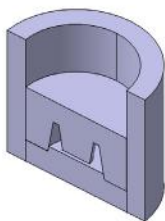
Нумеричко решавање добија своју вредност пре свега због применљивости добијених резултата и малим одступањем у односу на експерименталне.

Резултати могу имати практични значај а да би се то реализовало, софтвер који се користи мора бити специјализован за област у којој се користи и да поседује једноставну комуникацију са корисником. У комбинацији са инжињерским „осећајем“ софтвер може да доведе до добрих решења али такође и до супротног ефекта ако се не схвати софтвер.

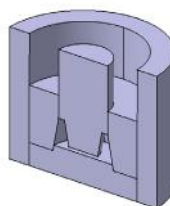
Пример симулације је изведен за цилиндричну чауру израђену од \check{C} .1430, (слика 1). Симулација је изведена софтвером DEFORM 3D v5.0 (Service Pack 3) инсталираном на РС рачунару P4 2,4 Ghz са 512 Kb RAM-а под оперативним системом Windows XP. Симетричност радног дела, а самим тим и алата је узета у обзир, тако да је симулација рађена за четвртину модела, чиме се је вишеструко смањило време одвијања симулације. Урађено је тридесет симулација ковања где су се варирале три величине радијуса ($r_0, r_{1,5}$ и r_3), пет облика припремка и две варијанте облика алата (слика 2. и 3.).



Слика 1. Цилиндрична чаура



Слика 2. Концепција алата А



Слика 3. Концепција алата Б

Због специфичности анализираног проблема ковања у затвореном алату, треба тачно одредити запремину гравуре алата. Сви облици припремака имали су исту запремину као и запремина гравуре.

Софтвер (САТИА) је кориштен за моделирање, јер располаже модулом за израчунавање свих потребних величина (запремине, површине, тежине у

зависности од врсте материјала, позицију тежишта итд.) конструисаног модела. За сваку симулацију софтвер DEFORM 3D пружа велики број релевантних података. Подаци се добијају у графичком и нумеричком облику. На сликама 5. и 6. виде се графички резултати симулација.

2. ПЛАН СИМУЛАЦИЈЕ

Основа за ово истраживање је симулација стварног процеса коришћењем програмског алата за симулацију запреминске обраде метала DEFORM 3D. Да би се експеримент /симулација могао извести потребно је било створити услове за његово одвијање. План експеримента/симулације је концепцијски усмерен тако да омогући истраживање уз услов да се са што мање материјалних улагања постигне максимум употребљивих информација. То се, пре свега, односи на веома скупу опрему, алате и мерне инструменте. Све горе наведено замењено је симулирањем стварног процеса коришћењем једне од најмодернијих и најквалитетнијих алатки за симулацију стварних процеса на рачунару у области запреминске обраде метала. За конструисање алата и радних комада кориштен је програм CATIA P3 V5R10. Поред тога овај процес се због своје сложености показао као веома интересантан за симулацију.

3. РЕЗУЛТАТИ УТИЦАЈА ОБЛИКА АЛАТА, ВЕЛИЧИНЕ РАДИЈУСА И ОБЛИКА ПРИПРЕМКА НА СИЛУ КОВАЊА

На избор врсте машине за израду чауре у производњи пресудан елемент је сила ковања. Софтвер за симулацију DEFORM 3D аутоматски генерише дијаграм силе ковања у зависности од времена трајања обраде, корака симулације и корака алата. Из дијаграма се могу естраховати сви елементи од којих је конструисан дијаграм у виду посебног фајла који се може анализирати неким од програма за анализу (нпр. EXCEL). На следећим дијаграмима и табелама виде се силе потребне за обраду у свим алатима, са свим припремцима и свим радијусима. Да би се анализирали добијени резултати као основа за анализу узета је најмања потребна сила добијена симулацијама да се откује тражена чаура. Утврђено је да је најмања сила потребна за обраду остварена у алату Б са припремком Р1 и радијусом R0. Њена вредност је 753319,31 N (табела 1.). Максимална сила потребна за обраду остварена је у алату А са припремком Р2 и радијусом R1,5. Њена вредност је 3028804,25 N. У табели 2. дата је процентуална разлика између сила у односу на најмању и у њој се види да је концепција алата Б много повољнија од концепције А. У концепцији Б процентуална разлика између сила у односу на најмању се креће у распону од 39,2 % до 116,35 %. У концепцији А процентуална разлика између сила у односу на најмању се креће у распону од 45,08 % до 302,06 %.

На слици 4. имамо дијаграмски приказ величине силе ковања из кога је лако закључити да је облик алата Б без обзира на облик припремака и радијуса у алату прихватљивији за употребу, јер су силе ковања вишеструко мање. Процентуална разлика (табела 3.) између величине силе потребне за ковање у алату А у односу на алат Б за сваки припремак зависно од радијуса.

31. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA SCG

Табела 1. Преглед сила ковања за између израду чауре

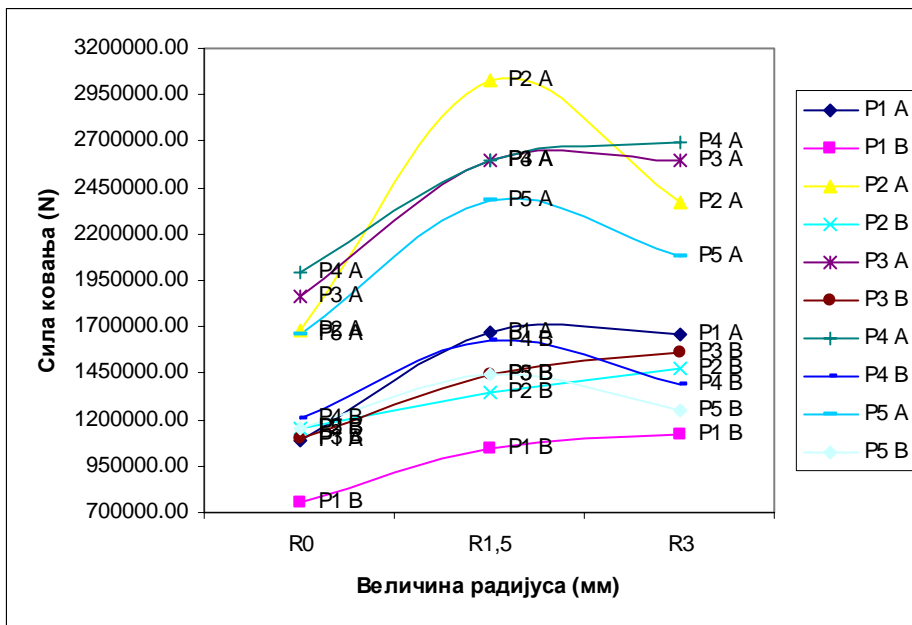
		Максимална сила (N)		
		R0	R1,5	R3
Облик алата А	P1	1092909,25	1668786,63	1653872,75
	P2	1683535,88	3028804,25	2370421,25
	P3	1863977,75	2594749,00	2600235,75
	P4	1996415,63	2593116,00	2696318,50
	P5	1663029,88	2385833,50	2083366,00
Облик алата Б	P1	753319,31	1048844,88	1118413,50
	P2	1152301,25	1347674,88	1475115,63
	P3	1102390,25	1440580,00	1565169,50
	P4	1204010,38	1629812,38	1386106,88
	P5	1151694,25	1439670,13	1251296,88

Табела 2. Процентуална разлика најмање остварене силе ковања у односу на остале силе

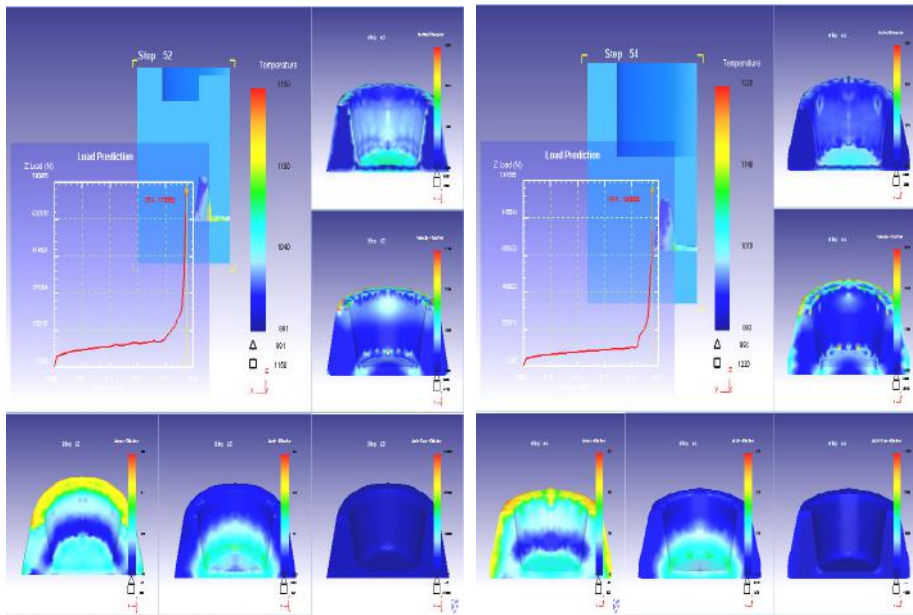
		Razlika sile kovanja u (%)		
		R0	R1,5	R3
Облик алата А	P1	45,08%	121,52%	119,54%
	P2	123,48%	302,06%	214,66%
	P3	147,44%	244,44%	245,17%
	P4	165,02%	244,23%	257,93%
	P5	120,76%	216,71%	176,56%
Облик алата Б	P1	0,00%	39,23%	48,46%
	P2	52,96%	78,90%	95,82%
	P3	46,34%	91,23%	107,77%
	P4	59,83%	116,35%	84,00%
	P5	52,88%	91,11%	66,10%

Табела 3. Процентуална разлика између силе ковања у алату А у односу на алат Б

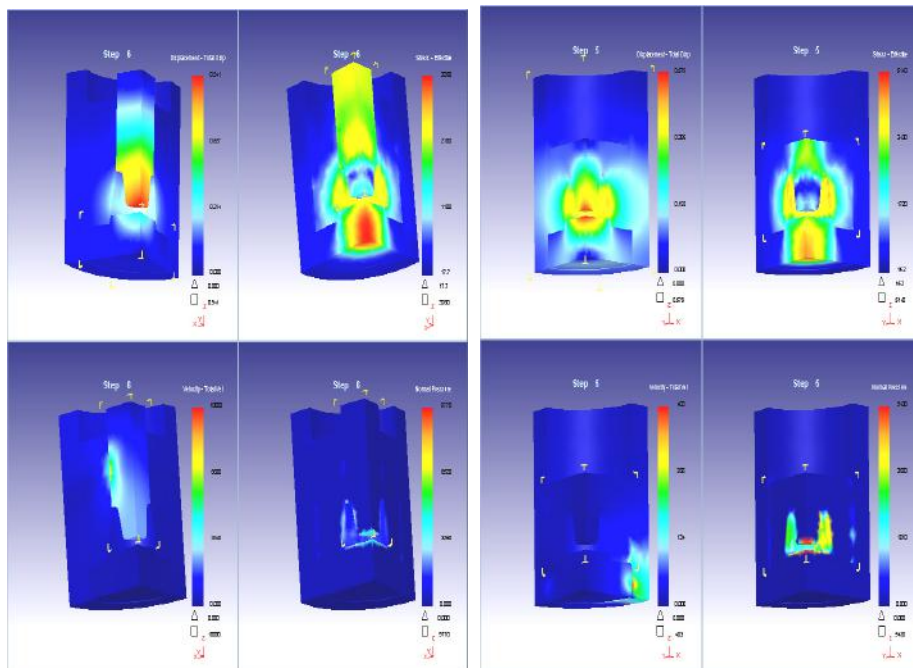
	P1	P2	P3	P4	P5
R0	45,08%	70,52%	101,10%	105,19%	67,88%
R1,5	82,29%	223,16%	153,21%	127,87%	125,60%
R3	71,08%	118,85%	137,40%	173,93%	110,45%



Слика 4. Графички приказ величине силе ковања у зависности од облика алата (А, Б) и припремке (P1, P2, P3, P4, P5)



Слика 5. Графички резултати (алат А) напонских стања која се добијају симулацијом



Слика 6. Графички резултати (алат Б) који се добијају симулацијом за напрезања алата

4. ЗАКЉУЧАК

У раду је приказана примена једне од најчешће кориштене нумеричке методе у симулацији запреминске обраде метала – методе коначних елемената имплементираних у програмски пакет DEFORM 3D.

Сада смо у могућности да нумеричком симулацијом дефинишемо конструисање алата, анализу технолошког процеса као и да одредимо деформациону способност материјала и особине самог процеса у зависности од процесних параметара. На ток материјала углавном у фази попуњавања гравуре, највећи утицај на смер и брзину материјала при попуњавању гравуре имају радијуси који су варирани у симулацијама. Облик припремка има мали утицај. На пластично деформисање или деформациону силу највећи утицај имао је облик алата. Разлике су се кретале у границама од 40 % до 300 %. Радијуси су утицали незнатно а облик припремка у мањој мери.

5. ЛИТЕРАТУРА

1. Kobayashi, S., Oh, S.I. and Altan T.: „*Metalforming and the Finite-Element Method*“, Oxford University Press. 1989.
2. Zienkiewicz, O.C. and Taylor, R.L.: „*The Finite Element Method*“, McGraw- Hill. 1989.
3. Планчак, М., Вилотић, Д.: „*Технологија пластичног деформисања*“, ФТН Нови Сад, 2003.
4. Шљивић, М.: “ *Технологија пластичности I*“, Универзитет у Бањој Луци, Бања Лука, 1998.
5. V. Mandić: “*Fizičko modeliranje i numerička simulacija kao osnov novog koncepta projektovanja alata za toplu zapreminsku obradu*“, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2002.
6. Avitzur Betzalel: “*Handbook on Metal Forming Processes*”, New York, 1983.
7. H. Kudo: “*Some Analytical and Experimental Studies of Axisymmetric Cold Forging and Extrusion –I*”, Int. J. Mech. Sci., 2, 1960, pp102–127
8. H. Kudo: “*Some Analytical and Experimental Studies of Axisymmetric Cold Forging and Extrusion –II*”, Int. J. Mech. Sci., 3, 1961, pp91–117
9. *Deform 3D User Manual*, Scientific Forming Technologies Corp. 5038 Reed Road Columbus, Ohio USA Web: www.deform.com

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

RAZVLAČENJE TAILORED BLANKS OD MATERIJALA RAZLIČITE DEBLJINE

Ž. Babić¹⁾

Rezime: U radu su dati rezultati ispitivanja karakteristika pri razvlačenju tailored blanks dobijenih laserskim zavarivanjem limova debljine 0,8 i 1,5 mm. Razmatrana je promjena sile tokom razvlačenja pojedinačnih limova konstantne debljine i tokom razvlačenja tailored blanks. Razvlačenje je vršeno do pojave pukotine na komadu, te zaustavljanje procesa neposredno nakon pojave pukotine. Date su razlike između maksimalno ostvarenih dubina razvlačenja. Istraživana je distribucija deformacija primjenom grafometrijskog postupka u meridionalnom, obimnom i normalnom pravcu.

Ključne reči: tailored blanks, razvlačenje, sila razvlačenja, distribucija deformacija

STRETCH FORMING OF DIFFERENT THICKNESS TAILORED BLANKS

Abstract: The paper presents analysis results for characteristics during the stretch forming of laser welded tailored blanks, produced of 0.8 and 1.5 mm thick sheets. Stretch forming force changes have been considered during the stretch forming of separate sheets, having constant thickness, and tailored blanks stretch forming. Stretch forming was being performed until a fracture occurs in the pieces, which was the moment of stopping the process. The differences between maximal stretch depths were given. Strain distributions in meridional, tangential and perpendicular direction were explored using a graphometric method.

Key words: tailored blanks, stretch forming, stretch forming force, strain distribution

1. UVOD

Poslednjih godina ostvaruju se sasvim novi koncepti konstrukcije i proizvodnje automobilskih i kamionskih karoserija čiji je cilj smanjenje mase, povećanje konstrukcione krutosti i pasivne sigurnosti.

Različiti dijelovi karoserije imaju različite zahtjeve u pogledu izdržljivosti na opterećenja, različite zahtjeve u pogledu površinske zaštite i različite zahtjeve u pogledu potrebne krutosti pri eksploataciji vozila, a naročito pri sudaru. Zahvaljujući razvoju tehnike laserskog zavarivanja, koja omogućava veliku brzinu zavarivanja, usku zonu uticaja toplote, te sistem automatske kontrole i otkrivanja grešaka, posljednjih godina

¹⁾ Dr Živko Babić, Mašinski fakultet, Banja Luka, BiH-RS, babicz@urc.bl.ac.yu

tailored blanks tehnologija je jedna od tehnologija u preradi metala sa najbržim porastom primjene.

S obzirom na kombinacije vrste limova koji učestvuju u zavarivanju u pogledu debljine, kvaliteta materijala i stanja površina moguće su različite varijante tailored blanks.

U toku procesa obrade lima najčešće postoji kombinacija čistog dubokog izvlačenja i razvlačenja [2].

Proces razvlačenja se odvija pod dejstvom dva zatežuća glavna normalna napona koji djeluju u ravni lima. Da bi se realizovala šema čistog dvostranog zatezanja obod priprema se čvrsto priteže držačem sa zateznim rebrom i ne vrši se njegovo podmazivanje da bi se izbjeglo klizanje i uvlačenje u otvor matrice. U toku razvlačenja dolazi do povećanja površine lima na račun smanjenja debljine lima.

Poželjno je da trenje između izvlakača i materijala bude što manje, pa se u toku ispitivanja vrši podmazivanje i razdvajanje izvlakača i materijala pomoću polietilenske folije. Pri razvlačenju za kriterijum obradivosti se može uzeti najveća dubina razvlačenja u momentu razaranja. Kvalitetniji pristup izučavanju deformisanja lima predstavlja određivanje raspodjele deformacija u karakterističnim presjecima.

2. KARAKTERISTIKE MATERIJALA

U eksperimentu su korišćene table tailored blanks debljine 0,8-1,5 mm inostranog proizvođača. Limovi iz kojih su spojeni tailored blanks tehnologijom laserskog zavarivanja su čelični CKLS ZStE 180 BH03ZE (odgovara DIN brojnoj oznaci 1.0395). Znači da je riječ o limovima sa BH efektom čije su površine sa obe strane zaštićene prevlakom cinka.

Hemijske karakteristike materijala su određene u laboratoriji preduzeća ČAJAVEC Banja Luka i date u tabeli 1.

Tabela 1. Hemijske karakteristike osnovnih materijala tailored blanks

Materijal	Hemijski elementi								
	C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	Cu [%]	Cr [%]	Ni [%]	Al [%]
ZStE180 BH 0,8 mm	0,02	0,15	<0,05	0,010	0,014	0,028	0,03	0,03	0,07
ZStE180 BH 1,5 mm	0,03	0,15	<0,05	0,017	0,015	0,028	0,04	0,03	0,061

Na osnovu ispitivanja epruveta zatezanjem dobijene su vrijednosti osnovnih mehaničkih karakteristika materijala (Tabela 2 i 3).

Iz dobijenih vrijednosti mehaničkih karakteristika materijala iz kojih su zavareni tailored blanks može se zaključiti da se radi o limovima sa niskom granicom tečenja i niskom granicom zatezne čvrstoće, a sa povoljnim vrijednostima n-faktora i r-faktora.

Od materijala sa ovakvim karakteristikama može se očekivati dobra deformabilnost pri dubokom izvlačenju i razvlačenju.

Tabela 2. Mehaničke karakteristike tanjeg lima

Materijal: ZStE180 BH s=0,8 mm				
Karakteristike materijala	Ugao			Srednja vrijednost
	0°	45°	90°	
Granica tečenja R_p [MPa]	202,10	211,50	197,45	205,64
Zatezna čvrstoća R_m [MPa]	294,86	309,60	294,74	302,20
Odnos R_p/R_m	0,69	0,68	0,67	0,68
Prekidno izduženje A_{80} [%]	29,03	26,95	29,05	27,99
n-faktor	0.192	0.192	0.166	0.185
r-faktor	1,73	1,16	1,87	1,48
Δr -faktor				0,64

Tabela 3. Mehaničke karakteristike debljeg lima

Materijal: ZStE180 BH s=1,5 mm				
Karakteristike materijala	Ugao			Srednja vrijednost
	0°	45°	90°	
Granica tečenja R_p [MPa]	174,35	183,80	182,36	181,05
Zatezna čvrstoća R_m [MPa]	262,17	263,76	263,76	263,36
Odnos R_p/R_m	0,67	0,70	0,69	0,69
Prekidno izduženje A_{80} [%]	36,69	35,05	35,43	35,56
n-faktor	0,217	0,193	0,214	0,204
r-faktor	1,79	1,35	2,07	1,64
Δr -faktor				0,58

3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI RAZVLAČENJA

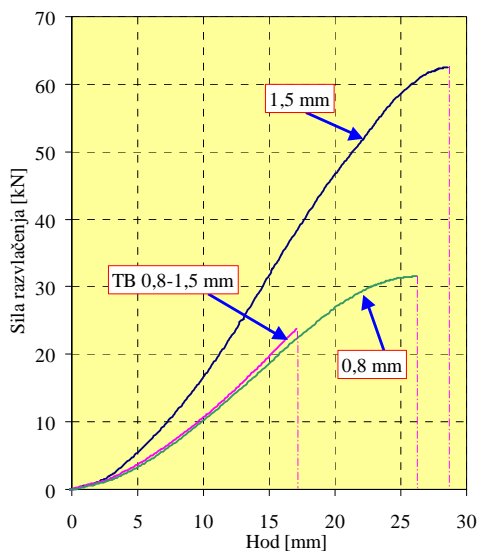
Vršena su razvlačenja osnovnih limova od kojih su izrađeni tailored blanks i razvlačenja priprema iz tailored blanks uz korišćenje polusfernog izvlačka prečnika 50 mm. Alat za razvlačenje je montiran na univerzalnoj hidrauličnoj mašini za ispitivanje lima u Laboratoriji za obradu deformisanjem Mašinskog fakulteta u Kragujevcu. Polazni pripremak kružnog oblika isijecan je iz trake na kojoj je elektrohemijskim putem nanešena kružna mreža. Trake su odmašćene pomoću industrijskog acetona. Kružni pripremak se po obodu steže pomoću prstenastog držača maksimalnom silom držanja čime je spriječeno klizanje lima između držača i matrice. Da bi se trenje između kontaktnih površina koje klize svelo na minimum i postigla maksimalna dubina razvlačenja, kontakte površine između izvlačka i materijala su podmazivane i razdvajane polietilenskom folijom. Korišćeno je sredstvo za podmazivanje proizvođača FAM Kruševac, tip PRES 509EP koje se koristilo u procesu dubokog izvlačenja u firmi ČAJAVEC Banja Luka. Spada u mineralna ulja sa antihabajućim i mazivnim dodacima, predviđeno za podmazivanje u procesima sa visokim kontaktnim pritiscima. Polietilenska folija je proizvođača NORAPLAST Banja Luka i pokazala je dobre karakteristike jer nije dolazilo do njenog cijepanja tokom procesa, tako da su kontaktne površine uspješno razdvajane tokom cijelog procesa razvlačenja.

Razvlačenje je vršeno do pojave pukotine na komadu, odnosno postizanja maksimalne sile. Brzina razvlačenja od 20 mm/min omogućavala je praćenje procesa i

vizuelnu promjenu sile na analognom pokazivaču sile na mašini, te zaustavljanje procesa neposredno nakon pojave pukotine.

Na Slici 1 je dat prikaz sile razvlačenja za ispitivanje osnovnih limova iz kojih su izrađeni tailored blanks i sila razvlačenja priprema iz tailored blanks.

Vrijednosti sila razvlačenja se značajno razlikuju zbog uticaja debljine lima i zbog uticaja zavara.



Slika 1: Sila razvlačenja u funkciji hoda izvlačka

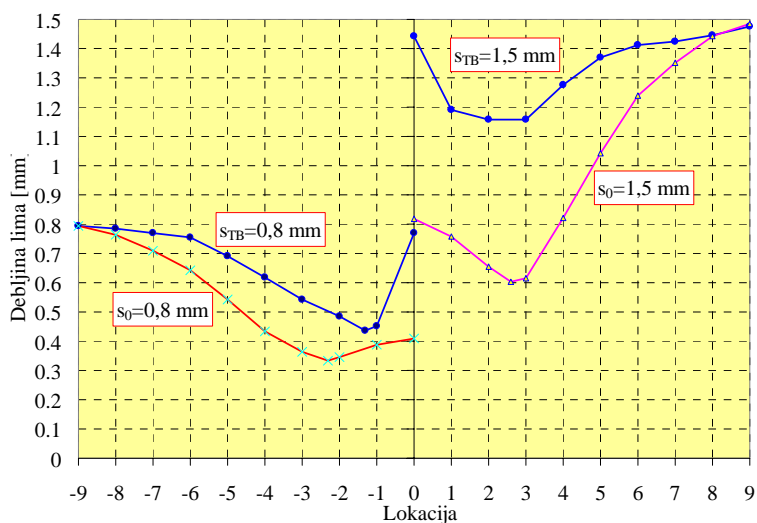
Maksimalna dubina razvlačenja tailored blanks je iznosila 17,1 mm, što je znatno ispod vrijednosti maksimalne dubine razvlačenja za osnovne limove iz kojih je tailored blanks sastavljen, koje su iznosile 28,6 mm za debljinu 1,5 mm i 26,6 mm za debljinu 0,8 mm. Očigledan je značajan uticaj zavara na maksimalnu dubinu razvlačenja, što znači da su mogućnosti razvlačenja tailored blanks sa linijom zavara u zoni maksimalnih deformacija znatno smanjene.

Pored sile razvlačenja istraživana je distribucija deformacija primjenom grafometrijskog postupka. Na razvučenim dijelovima došlo je do deformacije elemenata mreže i na osnovu izmjerenih osa elipsi izračunate su sve tri glavne deformacije, tj. deformacije u meridionalnom, obimnom i normalnom pravcu.

Uočena je razlika između mjesta i oblika pukotine kod razvlačenja tailored blanks u odnosu na razvlačenje osnovnih materijala konstantne debljine.

Na Slici 2 prikazana je promjena debljine lima u zoni razvlačenja u slučajevima kada je priprema konstantne debljine 0,8 i 1,5 mm, te u slučaju razvlačenja tailored blanks 0,8-1,5 mm sa linijom zavara u pravcu prečnika priprema.

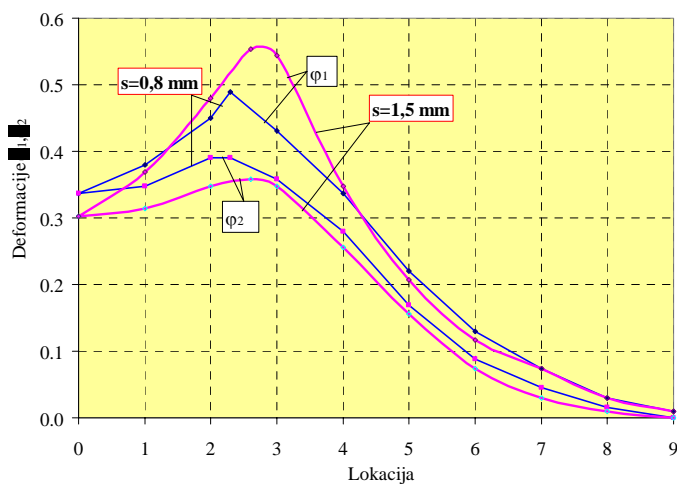
Uočljivo je da sve zone tailored blanks ne teku jednako. Tanji lim se plastično deformiše dok se deblji nalazi u elastičnom području, sve dok tanji lim ne ojača i natjera i deblji lim da se plastično deformiše. Dolazi do pomjeranja zavara u pravcu debljeg lima. Položaj pola komada (najviša tačka razvučenog materijala) se znatno razlikuje kod hidrauličkog razvlačenja i razvlačenja čvrstim izvlačaćem. To je naročito izraženo kod većih odnosa debljina.



Slika 2: Promjena debljine kod razvlačenja lima 0,8 mm, lima 1,5 mm i tailored blanks 0,8-1,5 mm

Kod razvlačenja tailored blanks pojava pukotine nastaje, kao što se i očekuje, u tanjem limu. Pukotina je uvijek paralelna sa linijom zavara i blizu linije zavara.

Na Slici 3 prikazana je distribucija deformacija za razvlačenje limova debljine 0,8 i 1,5 mm. Uočljive su veće vrijednosti deformacija u meridionalnom pravcu kod lima debljine 1,5 mm u poređenju sa limom debljine 0,8 mm. Vidljivo je da je do pukotine došlo u zoni između lokacije 2 i 3.

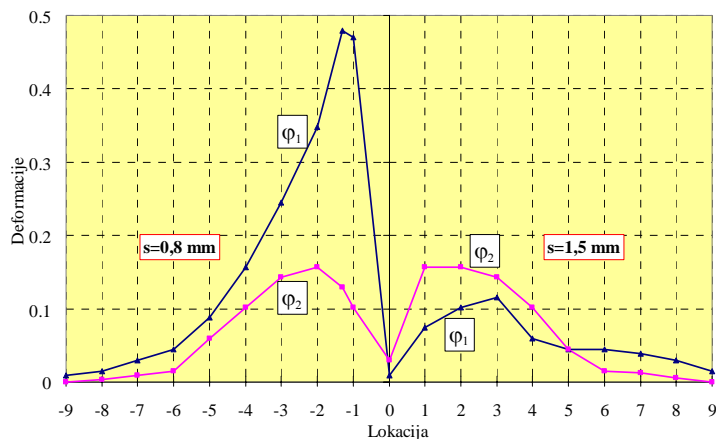


Slika 3: Distribucija deformacija kod razvlačenja osnovnih limova 0,8 mm i 1,5 mm

Kod razvlačenja tailored blanks javljaju se različiti stepeni deformacija u tanjem i debljem materijalu. Izračunate su deformacije u svakom elementu mreže i dobijena njihova raspodjela prema Slici 4. U meridionalnom pravcu u tanjem materijalu su iznosi stepena deformacija mnogo veći u odnosu na deblji materijal. Međutim, u obimnom pravcu nisu uočljive velike razlike. Znači da tanji materijal u pravcu okomitom na zavar

trpi velike deformacije usljed čega dolazi do pojave pukotine čiji pravac se prostire paralelno sa linijom zavora.

Promjena debljine razvučene epruvete iz tailored blanks prikazana na Slici 2 pokazuje da je stanjenje lima u debljem dijelu mnogo manje nego kod razvlačenja epruvete iz konstantne debljine, ali je to stanjenje i u tanjem materijalu manjeg iznosa pri pojavi pukotine.



Slika 4: Distribucija deformacija kod razvlačenja tailored blanks 0,8-1,5 mm

4. ZAKLJUČAK

Za ocjenu ponašanja tailored blanks pri razvlačenju nije dovoljno poznavati karakteristike razvlačenja limova iz kojih su tailored blanks sastavljeni, već je neophodno provesti ispitivanja samih tailored blanks. Kod oblikovanja tailored blanks mora se cijeli komad posmatrati u pojedinim zonama u kojima se lokalno javljaju naponsko-deformaciona stanja. Kod razvlačenja tailored blanks na uspješnost i stabilnost procesa naročito je izražen uticaj naponsko deformacionog stanja u zoni linije zavora. Kod zatezanja u pravcu poprečno na zavar dolazi do pojave pukotine u tanjem materijalu sa znatno manji stepenom izduženja u odnosu na osnovni materijal. Utvrđena je znatno manja dubina razvlačenja u slučaju razvlačenja tailored blanks.

Dobijeni rezultati mogu koristiti kod razvijanja i primjene novih koncepcija alata koje omogućavaju regulaciju pritiska držača u različitim zonama deformisanja, te mogućnost regulisanja pomjeranja linije zavora i tečenja materijala.

LITERATURA

- [1] Babić Ž., Deformabilnost tailored blanks pri dubokom izvlačenju, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Banja Luka, 2004.
- [2] Stefanović M., Tribologija dubokog izvlačenja, Jugoslovensko društvo za tribologiju i Mašinski fakultet u Kragujevcu, monografija, 1994.
- [3] Babić Ž., Šljivić M., Application of tailored blanks in the automotive industry, Journal for technology of plasticity, Novi Sad, Vol. 27 (2002.), s. 61-71.



ANALIZA SUPROTNOSMERNOG ISTISKIVANJA POMOĆU UBET-A

M. Vilotić¹⁾, M. Plančak²⁾, D. Movrin³⁾

Rezime: Analiza procesa tehnologije plastičnog deformisanja vrši se primenom različitih teorijskih, eksperimentalnih i numeričkih metoda. U ovom radu proces suprotnosmernog istiskivanja analiziran je metodom UBET-a uz eksperimentalnu proveru deformacione sile.

Ključne reči: suprotnosmerno istiskivanje, gornja granica, UBET, deformaciona sila

BACKWARD EXTRUSION ANALYSIS BY UBET

Abstract: Analysis of forming technology process is conducted by applying different theoretical, experimental and numerical methods. In this paper process of backward extrusion has been analyzed by UBET method with experimental verification of forming load.

Key words: Backward extrusion, Upper bound, UBET, Forming load

1. UVOD

Hladno istiskivanje jedna je od najznačajnijih metoda TPD koja omogućuje izradu kvalitetnih proizvoda od čelika i drugih materijala s visokom proizvodnošću. Osnovni problemi hladnog istiskivanja proizlaze iz činjenice da se proces izvodi uz ekstremno visoko opterećenje alata, koje doseže do 2500 MPa pa i više, što zahteva posebnu pažnju pri konstruisanju alata, definisanju faza obrade i izboru materijala za alat. Pri tome je posebno važno ustanoviti distribuciju naponsko-deformacionih komponenti po zapremini obratka i na kontaktnim površinama. Analiza procesa tehnologije plastičnog deformisanja (TPD) podrazumeva određivanje naponsko-deformacionog stanja po zapremini obratka, određivanje kontaktnih napona, komponenti brzina deformacije i parametara procesa, tj. deformacione sile i deformacionog rada. U tu svrhu primenjuju se različite metode: teorijske, teorijsko-eksperimentalne, eksperimentalne i numeričke. Neke od metoda ograničene su samo na određenu vrstu veličina, na primer: metoda koordinatne mreže daje samo informacije o deformacijama, metoda ravnih preseka informacije o glavnim i kontaktnim naponima, metoda gornje granice informacije o najvećoj vrednosti deformacione sile itd. Novije

¹⁾ Marko Vilotić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, markovil@uns.ns.ac.yu

²⁾ M. Plančak, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, plancak@uns.ns.ac.yu

³⁾ Dejan Movrin, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, dejanmovrin@gmail.com

metode kao što su metoda konačnih elemenata (MKE) i druge, daju kompleksnije informacije o naponima, deformacijama, tečenju metala, parametrima procesa i dr.

Za suptilniju analizu naponsko-deformacionog stanja i parametara procesa kod pojedinih metoda TPD, potrebno je primeniti preciznije metode analize kao što su UBET i MKE. U ovom radu prikazani su rezultati analize suprotnosmernog istiskivanja dobijeni metodom UBET-a. Cilj rada je provera mogućnosti analize hladnog suprotnosmernog istiskivanja metodom UBET. Metoda UBET bazirana je na metodi gornje granice, odnosno, na ekstremalnom principu koji glasi:

“Od svih kinematski dozvoljenih polja brzina brzina stvarno kinematsko polje čini izraz (1) minimalnim” [2].

$$L = L_1 + L_2 + L_3 = \frac{2\sigma_e}{\sqrt{3}} \int_V \sqrt{\frac{1}{2} \dot{\epsilon}_{ij} \cdot \dot{\epsilon}_{ij}} dV + \int_A \tau |\Delta v| dA - \int_A \sigma_i v_i dA \quad (1)$$

gde su:

- L_1 - snaga unutrašnjeg deformisanja
- L_2 - snaga koja se troši na diskontinuitetima brzina i na spoljašnje trenje
- L_3 - snaga spoljnih napona. Ovaj član se retko pojavljuje.
- $\dot{\epsilon}_{ij}$ - brzina deformacije
- Δv - relativna brzina na granicama diskontinuiteta
- τ - tangencijalni napon

“Kinematski dozvoljeno polje brzina je svako polje koje zadovoljava granične uslove i uslove kontinuiteta [2].”

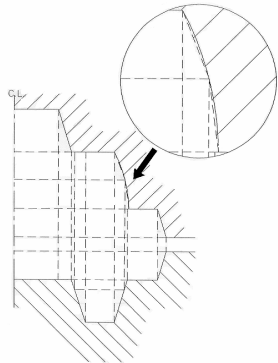
2. ANALIZA SUPROTNOSMERNOG ISTISKIVANJA POMOĆU UBET-a

UBET (Upper Bound Elemental Technique) je kompjuterski program koji je razvijen na University of Leeds, a baziran je na metodi gornje granice. Program omogućuje simulaciju deformisanja osnosimetričnih i prizmatičnih tela. Osnovni ulazni podaci u programu su oblik priprema, geometrija gornjeg i donjeg alata, podaci o materijalu i koeficijentu trenja. Proračun koji UBET vrši baziran je na podeli osnosimetričnog priprema na skup elementarnih regiona (slika 1) za koje već postoji rešenje po metodi gornje granice [4, 5].

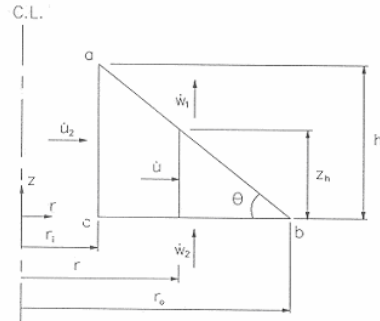
Osnovni oblici regiona sa kojima se vrši aproksimacija kontinuuma su: jedan region pravougaonog poprečnog preseka i četiri regiona trouglastog poprečnog preseka. Svako osnosimetrično telo može se aproksimirati kombinovanjem ovih regiona [3].

Podelu obratka na regione automatski vrši algoritam, međutim, broj regiona ili elemenata može biti promenljiv (može se povećati ili smanjiti). Ako podela koju je izvršio program nije zadovoljavajuća, moguće je umesto nje koristiti manuelnu podelu. U ovom radu analiziran je i uticaj broja elemenata na tačnost izračunavanja deformacione sile.

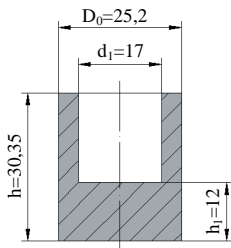
Analiza suprotnosmernog istiskivanja izvršena je za obradak sa dimenzijama prema slici 3, od materijala Č1221. Kriva tečenja za Č1221 je određena metodom Rastegajeva i aproksimirana izrazom $K = 439.13 + 285.24 \cdot \varphi_e$ [MPa]. Analizom procesa obuhvaćeno je određivanje deformacione sile, distribucije efektivnog napona i efektivne deformacije.



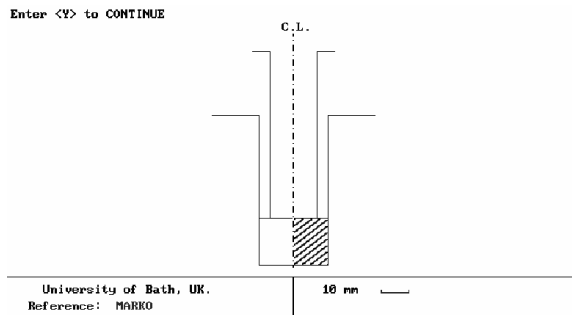
Slika 1. Aproksimacija krivolinijske konture [3]



Slika 2. Jedan od regiona (trouglasti)

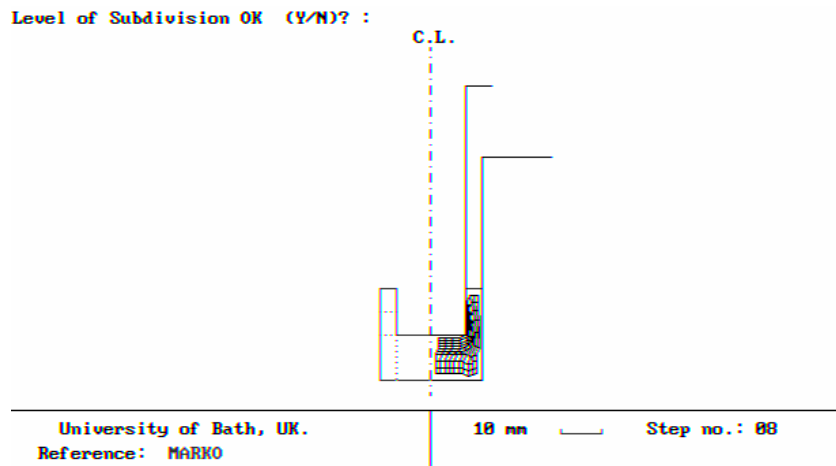


Slika 3. Dimenzije obratka



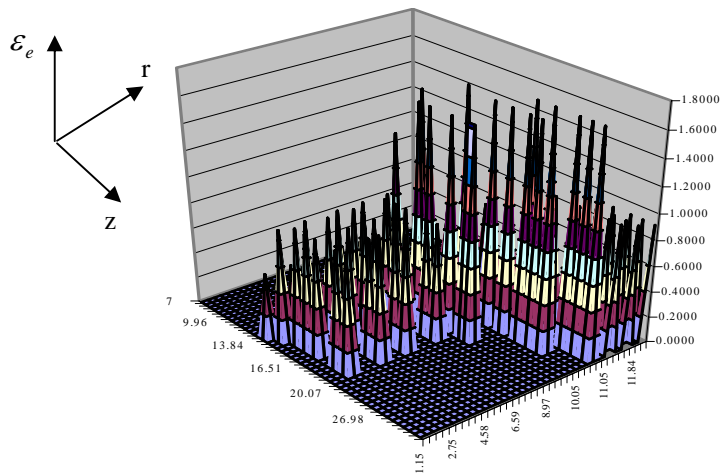
Slika 4. Screenshot pri nultom inkremenu

Nakon inicijalizacije programa i unošenja ulaznih podataka o materijalu i trenju, geometriji pripremljena i alata dobija se grafički prikaz početne faze deformisanja (slika 4). Konačni stadijum deformisanja prikazan je na slici 5.

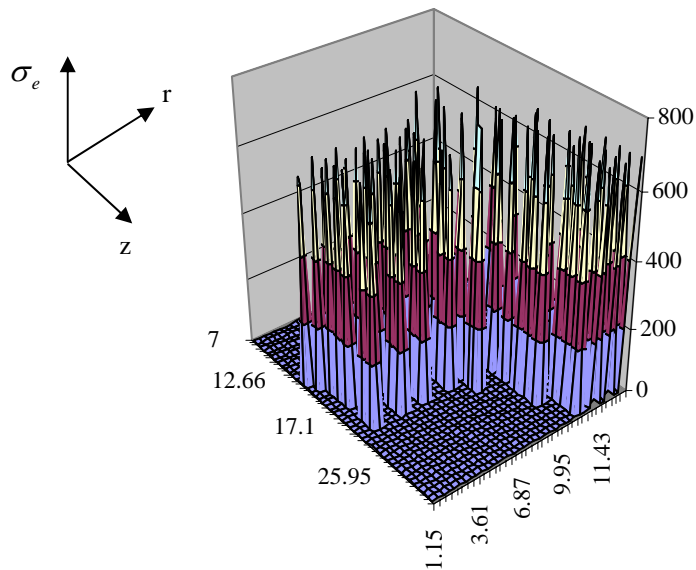


Slika 5. Screenshot na kraju procesa deformisanja

Deo rezultata analize prikazan je na narednim dijagramima, a provera deformacione sile izvršena je eksperimentalno. Dijagram efektivne deformacije (slika 6) pokazuje da je deformacija najveća u zonama prelaza unutrašnje površine u dno obratka, a najmanja u zonama ispod čela žiga. Shodno tome menja se i efektivni napon (slika 7).

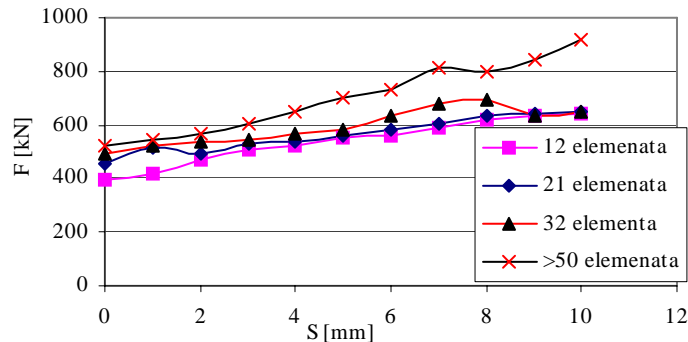


Slika 6. Dijagram efektivne deformacije ($s = 10 \text{ mm}$)



Slika 7. Dijagram efektivnog napona ($s = 10 \text{ mm}$)

Ilustracija uticaja broja elemenata na dijagram deformacione sile kod suprotnosmernog istiskivanja analiziranog obratka prikazana je na slici 8. U ovom slučaju povećanje broja elemenata dovodi do određenog povećanja deformacione sile. Rešenje najbliže eksperimentalnom dobijeno je podelom domena na 12 elemenata (slika 11).



Slika 8. Uticaj broja elemenata na vrednost sile

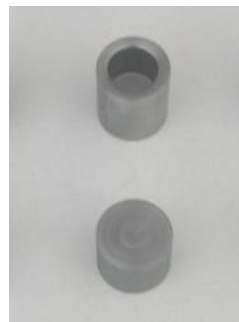
3. EKSPERIMENT

Eksperimentalna ispitivanja su podeljena u dva dela. U prvom delu određena je kriva tečenja metodom Rastegajeva koja je korišćena za proračun naponskih komponenti i deformacione sile, a u drugom određen je dijagram deformacione sile pri suprotnosmernom istiskivanju. Mašina na kojoj su vršena eksperimentalna ispitivanja je hidraulična presa, trostrukog dejstava, proizvođača SACK&KIESELBACH, nominalne sile 6.3 MN.

Cilj eksperimentalnog ispitivanja suprotnosmernog istiskivanja bio je određivanje dijagrama deformacione sile u zavisnosti od hoda žiga, za uzorke od Č 1221, sa početnim dimenzijama $\text{Ø}25,2 \times 22$ mm. Suprotnosmerno istiskivanje izvedeno je u postojećem alatu (sl. 9) u Laboratoriji za tehnologiju plastičnog deformisanja Fakulteta tehničkih nauka. Prečnik matrice je $\text{Ø}25,2$ mm, a prečnik žiga $\text{Ø}17$ mm. Istiskivanje je izvedeno sa hodom od 10 mm.



Slika 9. Alat za istiskivanje

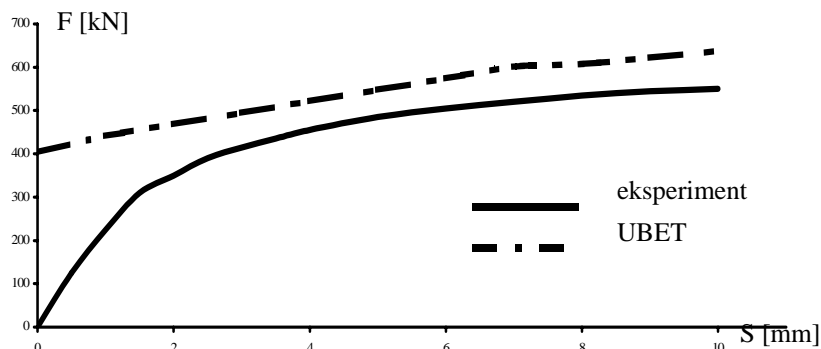


Slika 10. Pripremak i gotov deo

Tokom istiskivanja kontinualno je registrovan $F - S$ dijagram uz pomoć $x - y$ pisača.

Eksperiment je izveden sa više ponavljanja procesa istiskivanja. Podmazivanje priprema pre istiskivanja vršeno je mineralnim uljem – koeficijent trenja $\mu=0,12$.

Na slici 11 je prikazan dijagram deformacione sile u zavisnosti od hoda alata određen eksperimentalno i pomoću UBETa.



Slika 11. Uporedni prikaz sile dobijene eksperimentom i UBET-om

4. ZAKLJUČAK

Deformaciona sila dobijena UBET-om veća je od eksperimentalne, što je i razumljivo jer je to metoda zasnovana na metodi gornje granice.

UBET metoda ima značajnu prednost u odnosu na neke druge metode, jer osim dijagrama deformacione sile omogućuje analizu tečenja metala, zatim određivanje kontaktnog opterećenja kao i određivanje distribucije efektivne deformacije i efektivnog napona po preseku obratka. Jednostavna je i brza za primenu, ali podrazumeva raspolaganje s odgovarajućim programom. U odnosu na MKE UBET ima znatno manje mogućnosti.

Napomena

Rezultati prikazani u ovom radu deo su rezultata istraživanja na projektu "Istraživanje, razvoj i primena NEAR NET SHAPE FORMING tehnologije u proizvodnji elemenata kotrljajnih ležaja i karadna", koji finansira Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije, evid. broj TR 6333 B.

LITERATURA:

- [1] Plančak, M., Vilotić, D.: Tehnologija plastičnog deformisanja, FTN, Novi Sad 2003.
- [2] Plančak, M.: Obrada metala deformisanjem, časopis, FTN, Novi Sad, 1981, 101-119. str.
- [3] Christensen, P.: Computer Aided Design of Forging Dies Using the Upper Bound Elemental Technique, TU Denmark, Institute of Manufacturing Engineering, 1987.
- [4] J. N. Thornton, A.N. Bramley, An approximate method for predicting metal flow in forging and extrusion operations, Vol. 194, No. 2, ISSN 0020-3483, pp. 9-15, Department of Mechanical Engineering, University of Leeds, 1980.
- [5] A. N. Bramley, J. N. Myrons, The use of Forging simulations Tools, Material and design 21, (2000), pp. 279-285, Elsevier Publishing, 2000.



ODREĐIVANJE VELIČINE DEFORMACIJE KOD HLADNOG ISTISKIVANJA ALUMINIJUMSKIH ELEMENATA – EKSPERIMENTALNI I NUMERIČKI PRISTUP

P. Skakun ¹⁾, M. Škunca ²⁾, M. Plančak ³⁾, L. Šidanin ⁴⁾, M. Math ⁵⁾,
D. Vilotić ⁶⁾

Rezime: U ovom radu prikazana je metoda za određivanje veličine stepena deformacije koja je zasnovana na fenomenu zavisnosti veličine rekristalisanog zrna i prethodno ostvarenog stepena deformacije. Da bi se primenila ova metoda, potrebno je konstruisati kalibracionu krivu. Navedena metoda primenjena je kod definisanja deformacionog stanja na poprečnom preseku ozubljenja sa ravnim bokovima. Materijal je bio Al99,5. Eksperimentalni rezultati upoređeni su sa rezultatima numeričke simulacije procesa, urađene u programskom paketu MSC.MarcMentat 2003. Vrednosti deformacija dobijene eksperimentalnim i numeričkim putem pokazale su dobro slaganje.

Ključne reči: hladno istiskivanje Al, veličina deformacije, numerička simulacija

STRAIN STATE DETERMINATION IN COLD EXTRUDED ALUMINIUM ELEMENT – EXPERIMENTAL AND NUMERICAL APPROACH

Abstract: In this paper special technique, used to obtain information related to the strain rate, has been shown. This technique is based on phenomena of dependence between recrystallized grain size and prior deformation. To apply this technique it is necessary to determine calibration curve. Using this technique strain state in the cross section of gear like element with straight parallel flank made of Al99,5 was determined. Experimental results were compared with the results of numerical simulation which was performed using MSC Marc Mentat 2003, comercial FE program package. Comparison between FE simulation and experimental results shows good agreement.

Key words: cold extrusion of aluminium, strain rate, numerical simulation

¹⁾ P. Skakun, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, SCG, plavkas@uns.ns.ac.yu

²⁾ M. Škunca, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, Hrvatska, mskunca@fsb.hr

³⁾ M. Plančak, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, SCG

⁴⁾ L. Šidanin, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, SCG

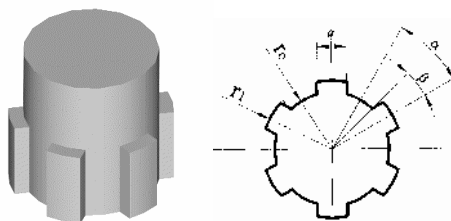
⁵⁾ M. Math, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, Hrvatska

⁶⁾ D. Vilotić, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, SCG

1. UVOD

Definisanje naponskog i deformacionog stanja po zapremini dela dobijenog nekom od metoda obrade deformisanjem neophodno je pri svakoj analizi procesa i predstavlja jedan od osnovnih koraka za određivanje osnovnih parametara procesa (deformacione sile, deformacionog rada). Brojni programi koji omogućavaju numeričku simulaciju procesa u današnje vreme su najčešći način da se dođe do podataka ne samo o osnovnim parametrima procesa, već i da se ostvari detaljna analiza sa mogućnošću ukazivanja na potencijalne greške. I pored ovakvih mogućnosti koje simulacija procesa pruža, podaci dobijeni u eksperimentu su važni za simulaciju i uključuju se u nju.

Osnova za metodu prikazanu u ovom radu koja je korišćena za određivanje deformacionog stanja po zapremini dela dobijenog hladnim istiskivanjem predstavlja zavisnost između veličine rekristalisanog zrna i prethodno ostvarene deformacije. Da bi ova metoda mogla da se primeni neophodno je odrediti kalibracionu krivu koja povezuje ove dve veličine. Deformaciono stanje je određeno kod ozubljenja sa ravnim bokovima dobijenog hladnim istiskivanjem, slika 1. Materijal je bio Al 99,5



Slika 1: Ozubljenje sa ravnim bokovima

U radu [1] prikazana je primena ove metode kod definisanja deformacionog i naponskog stanja dela dobijenog hladnim suprotnosmernim istiskivanjem. Materijal obratka je bio čelik, tako da kod određivanja veličine zrna nije bilo problema jer su granice zrna jasno vidljive. Kada je uzorak napravljen od aluminijuma, potrebna je posebna priprema kako bi se granice zrna učinile vidljivim [2].

2. PRIPREMA UZORAKA

Svi uzorci koji su korišćeni, i za eksperiment istiskivanja i za određivanje kalibracione krive morali su da budu pripremljeni na isti način. Priprema uzoraka obuhvatala je sledeće korake:

- iz šipke Al 99,5 u vučenom stanju isecani su uzorci koji su žareni na temperaturi 600°C, 16 sati (hlađenje na vazduhu);
- uzorci su zatim deformisani za veličinu defirmacije $\varphi=0.25$ (da bi se dobio ujednačen stepen deformacije po celoj zapremini uzorka, sabijanje je izvedeno po metodi Rastegajeva);

- nakon slobodnog sabijanja za $\varphi=0.25$, uzorci su žareni na 500°C još jedan sat i hlađeni na vazduhu. Na taj način se dobija homogena struktura, sa veoma ujednačenom veličinom zrna.

Jedan deo uzoraka pripremljenih na ovaj način korišten je u eksperimentu istiskivanja ozubljenja sa ravnim bokovima, a drugi deo uzoraka je korišten za određivanje kalibracione krive.

3. ODREĐIVANJE KALIBRACIONE KRIVE

Uzorci korišteni za određivanje kalibracione krive su deformisani metodom slobodnog sabijanja po Rastegajevu za veličinu logaritamske deformacije u intervalu od 0,1 do 1,2 sa intervalom povećanja 0,1. Nakon deformisanja svi uzorci su rekristalizaciono žareni na 500°C , jedan sat i hlađeni na vazduhu. Iz ovih uzoraka su zatim isecani delovi koji su korišteni za metalografsko ispitivanje. Priprema uzoraka za metalografsko ispitivanje podrazumevala je njihovo brušenje i poliranje, nakon čega je sledila anodna oksidacija u Barkersovom reagensu. Kod uzoraka pripremljenih na ovakav način granice zrna se jasno vide u polarizovanoj svetlosti.

Za svaki uzorak je na svetlosnom mikroskopu u polarizovanoj svetlosti napravljena fotografija sa uvećanjem 100 puta. Upoređenjem ovih fotografija sa etalon fotografijama, određeno je kolika veličina zrna odgovara kom stepenu deformacije. Na taj način su dobijeni parovi vrednosti veličina zrna – stepen deformacije na osnovu kojih je određena kalibraciona kriva [5].

4. EKSPERIMENT ISTISKIVANJA

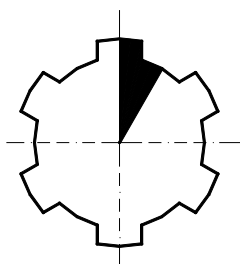
Za potrebe izvođenja eksperimenta istiskivanja napravljen je specijalan alat koji se sastojao od žiga, matrice i izmenjivih delova matrice, koji su omogućavali da se osim ozubljenja sa ravnim bokovima naprave i neki drugi tipovi ozubljenja. Prečnik žiga odgovarao je unutrašnjem prečniku matrice kako ne bi dolazilo do tečenja materijala suprotnom od smera delovanja žiga. Tokom procesa istiskivanja materijal je tekao samo radijalno.

Eksperiment hladnog istiskivanja ozubljenih elemenata izveden je na hidrauličnoj presi Sack &Kieselbach. U toku eksperimenta registrovana je vrednost deformacione sile u zavisnosti od hoda alata.

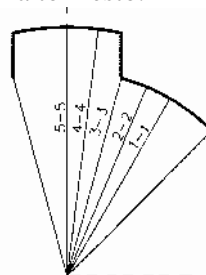
5. EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE STEPENA DEFORMACIJE

Uzorak dobijen u eksperimentu hladnog istiskivanja žaren je 1 sat na temperaturi 500°C i hlađen na vazduhu (rekristalizaciono žarenje). Ovako pripremljen uzorak rasečen je na polovini visine ozubljenja, odakle je dalje isecan reprezentativan uzorak (polovina zuba i međuzublja, slika 2). Sledila je metalografska priprema kao i kod uzoraka na osnovu kojih je određena kalibraciona kriva (brušenje, poliranje i anodna oksidacija u Barkersovom reagensu).

Na pet karakterističnih pravaca na reprezentativnom uzorku (slika 4) fotografisana su zrna pri uvećanju 100 puta. Za svako ispitivano mesto fotografije zrna su upoređene sa etalonom i na taj način su određene veličine zrna. Poznavanjem veličine zrna na određenom mestu na preseku preko kalibracione krive određen je i stepen deformacije za to mesto.

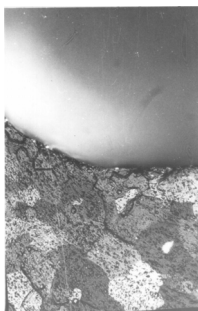


Slika 2: Reprezentativni uzorak



Slika 3: Karakteristični pravci

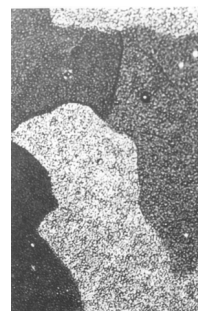
Analizom rezultata ustanovljeno je da su najveći stepeni deformacije ostvareni u samom korenu zuba i na boku zuba ali samo u veoma tankom površinskom sloju materijala, slika 4. Najmanji stepen deformacije ostvaren je u centru obratka, što je i očekivano.



$\varphi = 1.1$ (0.7)
Koren zuba



$\varphi = 0.7$ (0.32)
Bok zuba



$\varphi = 0.27$
Centar obratka

Slika 4: Veličine zrna i odgovarajući stepeni deformacije na različitim mestima na preseku uzorka

6. NUMERIČKA SIMULACIJA

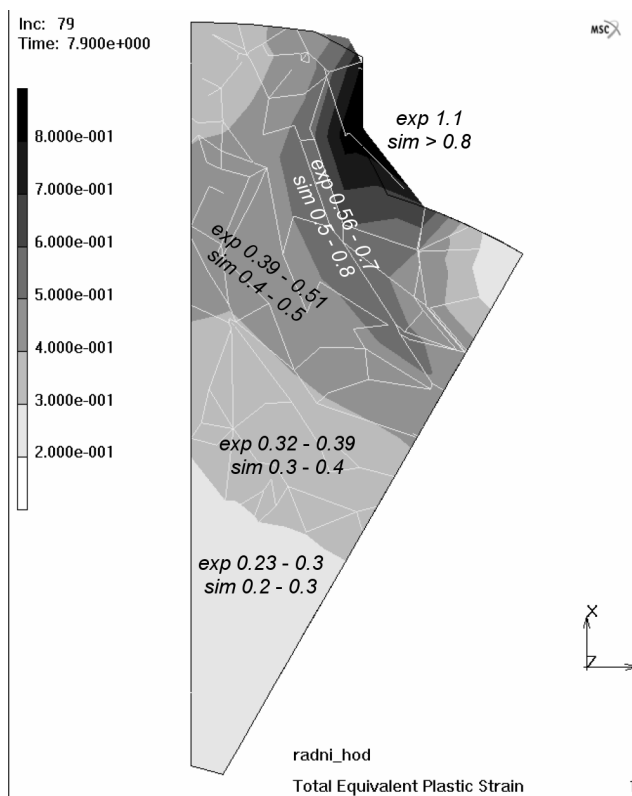
Na slici 5 prikazana je raspodela deformacija po preseku uzorka dobijena numeričkom simulacijom. Ovi rezultati su dobijeni 3D FEM simulacijom. Program korišten za simulaciju je bio MSC.Marc Mentat 2003 [4].

Zbog simetrije modela simulacija je izvedena na jednoj dvanaestini ozubljenja (polovina zuba i međuzublja), što je omogućilo da se skрати vreme trajanja simulacije.

Kod FEM simulacija s velikim brojem konačnih elemenata 6000 – 60000 elemenata i više, simulacije bez modeliranog trenja daju rezultate koji se po pitanju dijagrama sila – put neznatno razlikuju. Uzmemo li aritmetičku sredinu

iznosa sile na intervalu puta 0.143 - 1.045 mm, najveća standardna devijacija sile iznosi 20kN. Dakle istovetnost različitih FE modela bez trenja je reda veličine, tačnosti 4000 kN dinamometra klase 0.5! Ukoliko identično upoređivanje izvršimo na FE simulacijama s modeliranim trenjem, najveća standardna devijacija sile iznosi 170 kN. Podelimo li navedeni iznos s maksimalnom te minimalnom silom; 1489 kN, 946 kN redom, dobivamo minimalnu i maksimalnu grešku FEM simulacije s modeliranim trenjem $\mu=0.2$ od 11 % odnosno 18 %. Navedene razlike zbog trenja znatno su veće od 2 % razlike kod modela bez trenja.

Za analizu distribucije napona na poprečnom preseku odabran je model skraćenog valjčića visine 23 mm podeljenog na 6000 konačnih elemenata. Korišćenje tipa elemenata višeg reda odgodilo je potrebu za korekcijom mreže tokom simulacije. Model trenja temeljen na smičućim naponima u materijalu u kombinaciji s korištenim paraboličnim tipom elementa, omogućio je dovršenje simulacije u celosti; sabijanje valjčića i popunjavanje šupljine u matrici u kojoj se formira zub. Zadnji 79 inkrement odabran je kad su svi spoljašnji čvorovi FE modela došli u kontakt s modeliranom geometrijom gravure. Krutoplastičan model materijala daje rezultate distribucije deformacija u dotičnom inkreментu kao što je prikazano na slici 5.



Slika 5: Vrednosti efektivnih deformacije dobijene FEM simulacijom sa naznačenim vrednostima iz eksperimenta

7. UPOREĐENJE REZULTATA EKSPERIMENTA I NUMERIČKE SIMULACIJE

Vrednosti efektivne deformacije dobijene numeričkom simulacijom i eksperimentalne vrednosti pokazuju isti karakter promene po poprečnom preseku. Numerički dobijena distribucija deformacija poslužila je kao vrlo koristan obrazac za eksperimentalno određivanje stepena deformacije. Na ovaj način je racionalizovan broj merenja i osigurana njihova sistematika duž konturnih pojaseva. Kod većih stepena deformacije simulacija i model pokazuju određene razlike. Njih možemo pripisati velikoj deformaciji mreže konačnih elemenata oko korena zuba. Ipak premrežavanje je izbegnuto zbog grešaka koje unosi u simulaciju te je potrebno ispitati ponašanje sitnije mreže elemenata višeg reda na kritičnom mestu.

8. ZAKLJUČAK

Iako je Metoda Konačnih Elemenata teoretski dobro poznata, u primeni kakva je demonstrirana u ovome radu postoji niz poteškoća. Dotične proizlaze iz prepletenosti mehanike kontinuuma i numerike u čijem temelju stoji računarska tehnologija. Navedene poteškoće nije moguće u potpunosti eliminisati, ali ih je moguće racionalizovati paralelnim provođenjem eksperimenata i numeričkih simulacija. Kod velikih FE mreža, problem više nije u teoriji već u njenoj algoritamskoj implementaciji. Zato je potrebno uz poznavanje tehnološke pozadine pojedinog postupka tehnologije deformisanja, koristiti komercijalne, izuzetno korisne, programske pakete koji poznavaoocu materije pružaju jedinstvene podatke o parametrima pojedinog procesa. S danas dostupnim numeričkim alatima moguće je znatno smanjiti metode pokušaja i greške.

LITERATURA

- [1] *M. Plancak, L. Sidjanin*, Određivanje naponsko-deformacionog stanja po zapremini tela metodom merenja velicine zrna III savetovanje o plasticnosti i otporu deformaciji metala, Igalo (Yu), april 1982.
- [2] *B.O.Oyekunmi, T.A. Hughes, A.N. Bramley*, A microstructural evaluation technique for deformation studies in metal forming processes, *Journal of Materials Processing Technology*, 21(1990), pp. 75-89
- [3] *P. Skakun, L. Sidjanin, M. Plancak, D. Vilotic*, A contribution to the investigation of cold radial extrusion of gear-like elements, *Manufacturing and management in 21st century*, Ohrid, September 2004, Conference proceedings, pp 305-310
- [4] *MARC – Volume A (Version K7)*, MARC Analysis Research Corporation, Palo Alto, California, USA (1997)
- [5] *P. Skakun*, Prilog istraživanju procesa hladnog istiskivanja delova složenih geometrijskih oblika, Magistarski rad, FTN Novi Sad, Jugoslavija, 2001

NAPOMENA

Rezultati prikazani u radu deo su istraživanja projekta broj TR- 6333B finansiranog od strane Ministarstva nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije.



UTICAJ RAZLIČITIH PARAMETARA NA SILU IZVLAČENJA PRI DUBOKOM IZVLAČENJU SA STANJENJEM DEBLJINE ZIDA

D. Adamović¹⁾, M. Stefanović²⁾, M. Živković³⁾,
V. Lazić⁴⁾

Rezime: U zatvorenom sistemu alat-mazivo-materijal prisutni su veoma brojni tribološki faktori, od kojih je većina varijabilna u toku procesa, a uz to i u određenoj interakciji, što čitav problem čini izuzetno kompleksnim.

Dobijeni rezultati ukazuju na složeno dejstvo izabranih analiziranih parametara procesa dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida (geometrija alata, hrapavost kontaktnih površina, materijal alata i obradivanog dela, visoki kontaktni pritisci, mazivo na kontaktnim površinama, brzina deformisanja itd.) na silu izvlačenja.

Ključne reči: Duboko izvlačenje sa stanjenjem debljine zida, sila izvlačenja, mazivo, hrapavost, geometrija alata, materijal alata

INFLUENCE OF DIFERENT PARAMETERS ON IRONING FORCE DURING IRONING

Abstract: In the closed system tool-lubricant-material are present numerous tribological factors, out of which the majority is variable during the process, and besides that, they are also in certain interactions, what the whole problem makes extremely complex.

Obtained results point to the complex influence of the chosen analyzed parameters of the ironing process (tool geometry, contact surfaces' roughness, tool and the machined piece materials, high contact pressures, lubricant on the contact surfaces, strain rate, etc.) on the ironing force.

Key words: Ironing, ironing force, lubricant, roughness, tool geometry, tool materials

1. UVOD

Duboko izvlačenje sa stanjenjem debljine zida primenjuje se za izradu cilindričnih delova kod kojih je dubina veća od prečnika, a debljina dna veća od

¹⁾ Doc. dr Dragan Adamović, Mašinski fakultet Kragujevac, Kragujevac, Srbija,
adam@kg.ac.yu

²⁾ Prof. dr Milentije Stefanović, Mašinski fakultet Kragujevac, Kragujevac, Srbija

³⁾ Prof. dr Miroslav Živković, Mašinski fakultet Kragujevac, Kragujevac, Srbija

⁴⁾ Prof. dr Vukić Lazić, Mašinski fakultet Kragujevac, Kragujevac, Srbija

debljine zida, kao što su čaure, tankozidne cevi, kućišta amortizera, vatrogasni aparati, gasni baloni, kućišta uljnih filtera, košuljice cilindara klipnih motora a naročito konzerve za hranu i piće, čija se godišnja proizvodnja u svetu broji na milijarde komada. Pomenuti delovi se izrađuju od materijala koji imaju dovoljno veliku plastičnost u hladnom stanju, kao što su niskouglenični čelici, austenitni nerdjajući čelici, aluminijum, mesing i drugi. U poslednjih nekoliko godina ovaj način obrade našao je primenu i u elektro-optičkoj industriji pri proizvodnji optičkih i magnetnih diskova za dobijanje ogledalaste površine, budući da je puno jeftiniji od mehaničke obrade. Na slici 1 prikazani su neki delovi dobijeni ovim postupkom.



Slika 1. Primer nekih delova izradjenih dubokim izvlačenjem sa stanjenjem debljine zida

Uticaj triboloških uslova pri dubokom izvlačenju sa stanjenjem debljine zida je izuzetno važan i predstavljao je predmet izučavanja niza istraživača proteklih godina, kako u realnim procesima tako i na tribo-modelima. Ispitivanje triboloških uslova u realnim procesima je znatno duže i skuplje, pa su stoga znatno zastupljenija ispitivanja na tribo-modelima.

Zajedničko je za sve modele da potpuno ne oponašaju realan proces dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida u pogledu geometrije alata, naponsko-deformacionog stanja ili stanja kontakta za vreme obrade [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Kod većine modela nije moguće odrediti silu trenja, odnosno koeficijent trenja između radnog komada i izvlakača, koji ima izuzetno veliku važnost u procesu izvlačenja sa stanjenjem. Takođe, kod većine modela ne uzima se u obzir ugao konusa matrice itd. Sve to ukazuje da većina modela ima ograničenu primenu, što treba uzimati u obzir pri korišćenju podataka koji su pomoću njih dobijeni [7].

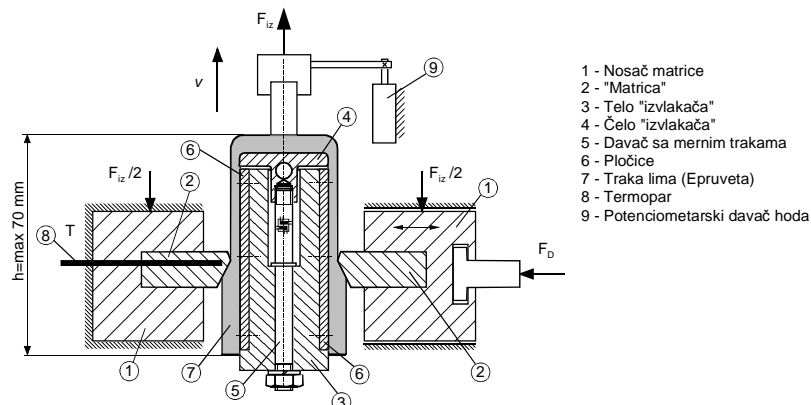
2. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Sagledavajući dobre i loše strane niza analiziranih modela, i uzimajući u obzir objektivne mogućnosti, napravljeno je jedan novi tribo-model dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida, koji dvostrano simetrično oponaša zonu kontakta sa matricom i izvlakačem [8]. Ovaj model omogućava ostvarivanje visokih kontaktnih pritisaka i uvažava fizičke i geometrijske uslove realnog procesa (materijal matrice i izvlakača, topografija kontaktnih površina, ugao konusa matrice - α i dr.). Shema pomenutog tribo-modela data je na slici 2.

Savijena traka od lima 7, u obliku slova U, (epruveta) postavlja se na "izvlakač". Na nju se deluje pomoću "matrice" 2 silom F_D . Matrice su postavljene u nosače, pri čemu je levi nosač nepokretan a desni pokretan zajedno sa matricom. Izvlakač se sastoji iz tela 3 i čela 4 koji su međusobno spojeni pomoću davača sa mernim trakama 5.

Epruveta se provlači (kliza) između matrice, dejstvom sile F_{iz} na čelo izvlakača, pri čemu dolazi do stanjenja debljine zida epruvete. Tokom provlačenja spoljašnja površina epruvete kliza po, nagnutoj za ugao α , površini matrice, a unutrašnja površina epruvete kliza preko pločice 6 pričvršćenih na telo izvlakača.

Uredjaj je napravljen sa mogućnošću lake izmene kontaktnih - pritisnih elemenata (matrice 2 i pločice 6), lakim čišćenjem kontaktnih zona i pogodnim postavljanjem epruveta.



Slika 2. Shema modela korišćenog u ovom radu

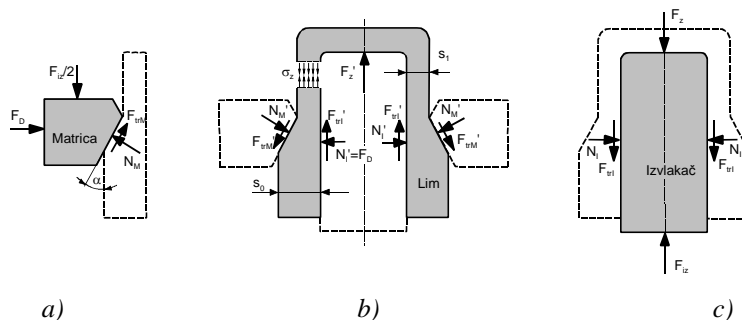
Pločice 6 i matrice 2 mogu da budu napravljene od različitih materijala kao i sa različitim hrapavošću, a matrice i sa različitim uglom nagiba α .

Osnovna ideja pri realizaciji ovog uredjaja je bila da se omogući određivanje koeficijenta trenja, kako na strani matrice, tako i na strani izvlakača pri različitim kontaktnim uslovima.

Ukupna sila izvlačenja F_{iz} predstavlja zbir sile trenja između izvlakača i radnog dela, F_{tr1} , i sile koja deluje na dno epruvete, F_z (slika 3), tj.:

$$F_{iz} = F_{tr1} + F_z \quad (1)$$

Sila F_{iz} se meri na samoj mašini, a sila trenja na strani izvlakača F_{tr1} , se registruje pomoću davača sa mernim trakama.



Slika 3. Shema delovanja sila: a) na matricu, b) na lim, c) na izvlakač

Na proces izrade delova dubokim izvlačenjem sa stanjenjem debljine zida utiče jako veliki broj činilaca. Svi oni mogu da se podele u četiri osnovne grupe:

- uticajni faktori koji zavise od predmeta obrade (materijala, dimenzija i oblika dela),
- uticajni faktori koji zavise od alata,
- uticajni faktori koji zavise od mašine i
- uticajni faktori koji zavise od kontaktnih uslova (tribološki uslovi).

Sagledavanjem procesa obrade i uticajnih faktora svih elemenata koji aktivno učestvuju u njemu, dolazi se do programiranja pravca istraživanja u svrhu optimizacije procesa proizvodnje, kako sa stanovišta kvaliteta predmeta obrade, tako i sa stanovišta povećanja produktivnosti i pojeftinjenja proizvodnje.

S obzirom na veliki broj uticajnih faktora, kao i na njihovo medjusobno dejstvo, nije uvek moguće decidno sagledati pojedinačno dejstvo svakog od njih na izlazne karakteristike procesa. Pri laboratorijskim ispitivanjima, a naročito pri ispitivanjima na modelima, mnoge uticajne činioce nije moguće uzeti u obzir što iziskuje odgovarajuću obazrivost pri donošenju zaključaka o dejstvu pojedinih uticajnih faktora.

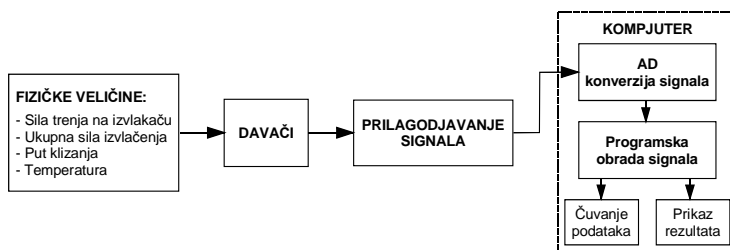
Na osnovu analize dosadašnjih istraživanja i preliminarnih ispitivanja, izvršen je izbor sledećih faktora koji će biti predmet eksperimentalnih istraživanja:

- Vrsta ispitivanog materijala (1 nivo - Č0148P3),
- Ugao nagiba matrice, α (4 nivoa - $\alpha=5^\circ$; 10° ; 15° ; 20°),
- Materijal alata (matrice/izvlakača), (3 nivoa - AČ/AČ; Cr/Cr; TiN/TiN; TM/AČ),
- Hrapavost izvlakača, izražena preko srednje visine neravnina R_a (4 nivoa - $R_a=0.01$; 0.09 ; $0.4 \mu\text{m}$, što odgovara kvalitetima površina N1; N3; N5 respektivno),
- Vrsta maziva na strani matrice (3 nivoa - M1 (Li + MoS₂ - mast); M2 (Mineralno emulgirajuće vodorastvorivo ulje sa EP dodacima); M3 (Neemulgirajuće sredstvo - pasta)),
- Vrsta maziva na strani izvlakača (1 nivo - M4 (Neemulgirajuće mineralno ulje sa blagim EP svojstvima)),
- Sila držanja (3 nivoa - $F_D = 8.7$; 17.4 ; 26.1 kN),
- Brzina deformisanja (1 nivo - $v = 20 \text{ mm/min}$).

Pored navedenih uticajnih parametara postoji još čitav niz drugih kao što su: visina zone glačanja, radijus izvlakača, debljina dna radnog komada, broj matrica za izvlačenje, odnos unutrašnjeg i spoljašnjeg prečnika dela, odnos prečnika matrica u višestepenom alatu, odnos visine i prečnika dela itd. [9], a koji u ovom eksperimentu, iz objektivnih razloga, nisu uzeti u obzir.

Uredjaj za izvlačenje sa stanjenjem debljine zida instaliran je na specijalnoj mašini za ispitivanje limova ERICHSEN 142/12 (slika 5). Konstruktivnim rešenjem, ovaj uredjaj se smešta u ram pribora za ispitivanje zatezanjem, pri čemu se glavni pogon mašine koristi za stvaranje sile izvlačenja (sila F_{iz}).

Blok dijagram akvizicije podataka dat je na slici 4.



Slika 4. Blok dijagram akvizicije podataka

Izgled mernog lanca izvedenih ispitivanja, pokazan je na slici 5. Pomoću uredjaja sa kojim se vrši simuliranje procesa dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida potrebno je meriti (registrovati) sledeće fizičke veličine: silu trenja na izvlakaču (F_{tr}), ukupnu silu izvlačenja (F_{iz}) i temperaturu (T), a sve u funkciji od puta klizanja (hoda izvlakača - h). Praktično sve te fizičke veličine treba pretvoriti u analogni signal (napon), zatim izvršiti njihovo prilagodjavanje (pojačanje i filtriranje), a onda taj signal pretvoriti u digitalni pomoću AD konvertora. Sa tako dobijenim digitalnim signalom je moguće dalje softverski manipulirati na računaru. U ovom radu biće dati i analizirani samo rezultati vezani za ukupnu silu izvlačenja.



Slika 5. Izgled mernog lanca korišćenog pri ispitivanju

3. EKSPERIMENTANI REZULTATI

Za analizu uticaja svih usvojenih parametara na proces dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida usvojen je princip merenja sile izvlačenja, kao i sile trenja na izvlakaču, tako da za svaki ispitivani uzorak (epruvetu) postoji snimljen dijagram promene pomenutih sila od hoda izvlakača (puta klizanja). Karakteristično je da sile izvlačenja, na putu klizanja, mogu da budu konstantne, da rastu, ili da opadaju, što zavisi od kontaktnih uslova [10].

Dobijeni rezultati analizirani su pomoću modula ANOVA/MANOVA programskog paketa STATISTICA for Windows (Release 5.0) namenjenog za statističku obradu i prezentaciju podataka. Pošto je eksperiment izveden kao višefaktorni, disperziona analiza je omogućavala da se odredi dejstvo pojedinih faktora, kao i njihovo medjudejstvo na analiziranu promenljivu (veličinu). U nekim slučajevima vršena je dalja analiza unutar samog faktora da bi se odredio najbolji (najpovoljniji) nivo tog faktora za analiziranu promenljivu (veličinu). Pomenuta naknadna analiza izvodjena je poredjenjem srednjih vrednosti korišćenjem Dankanove metode rangova (*Duncan's multiple range test*) [StatSoft, Inc. (1995)].

Izvedena disperziona analiza uticaja pojedinih faktora i njihovog medjudejstva na silu izvlačenja za uzorke od Č0148P3 data je u tabeli 1. Na početku tabele dat je spisak faktora čije se dejstvo prati, kao i broj (u zagradi) i oznaka nivoa. Pošto je za izvodjenje disperzione analize potreban pun faktorni plan, a u eksperimentu nivo materijala alata - TiN nije kombinovan sa svim uglovima nagiba matrice, kao i ugao nagiba matrice - $\alpha = 20^\circ$ koji je izostao u nekim kombinacijama, to su ova dva nivoa izostala u disperzionalnoj analizi mada će kasnije u dijagramskoj analizi biti uzimana u obzir.

Uticaj pojedinih faktora i njihova interakcija ocenjuje se na osnovu vrednosti F-testa koja je određena za odgovarajući nivo verodostojnosti (p-level) za koji je uzeta kritična vrednost $\alpha = 0.05$. To znači da neki faktor ili medjudejstvo pojedinih faktora

31. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA SCG

ima uticaj na analiziranu veličinu ukoliko je $p\text{-level} < \alpha = 0.05$ [11]. Te vrednosti će nadalje u tabelama biti osenčene. Veličinu uticaja određivaće vrednost F -testa, pri čemu veća vrednost F-testa pokazuje i veći uticaj na analiziranu veličinu.

Tabela 1

Summary of all Effects; design: (jirondak.sta)				
DESIGN: 5 - way ANOVA/MANOVA, fixed effects				
Kritični faktor verodostojnosti: $\alpha = 0.05$				
MATERIJAL: Č0148P3				
PROMENLJIVA: SILA IZVLAČENJA (FT)				
FAKTOR: 1-MAZIVO (MAZ) (3): M1, M2, M3				
2-MATERIJAL (MAT) (3): AC, CR, TM				
3-HRAPAVOST IZVLAKAČA (HRAI) (3): N1, N3, N5				
4-NAGIB MATRICE (ALFA) (3): 5° (A1), 10° (A2), 15° (A3)				
5-SILA DRŽANJA (FD) (3): 8.7 (D1), 17.4 (D2), 26.1 (D3)				
BROJ PONAVLJANJA: 2				
Izvor promene	SS Faktora	SK Faktora	F test	p-level (nivo verodostojnosti)
1	2	5.140	75.94	.000000
2	2	69.735	1030.31	.000000
3	2	.264	3.90	.021521
4	2	1351.319	19965.12	.000000
5	2	2075.522	30664.91	.000000
12	4	3.106	45.88	.000000
13	4	2.939	43.42	.000000
23	4	1.633	24.13	.000000
14	4	1.526	22.55	.000000
24	4	3.649	53.91	.000000
34	4	.849	12.55	.000000
15	4	.481	7.10	.000020
25	4	1.198	17.70	.000000
35	4	.317	4.69	.001158
45	4	80.022	1182.30	.000000
123	8	1.385	20.47	.000000
124	8	1.177	17.39	.000000
134	8	.550	8.13	.000000
234	8	.796	11.76	.000000
125	8	.668	9.86	.000000
135	8	.647	9.56	.000000
235	8	.371	5.48	.000002
145	8	.232	3.43	.000920
245	8	.549	8.11	.000000
345	8	.531	7.85	.000000
1234	16	.780	11.52	.000000
1235	16	.189	2.79	.000384
1245	16	.325	4.80	.000000
1345	16	.549	8.11	.000000
2345	16	.455	6.72	.000000
12345	32	.355	5.25	.000000
SS Greške: 243				
SK Greške: 0.067684				

31. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA SCG

Na osnovu prikazane disperzione analize, očigledan je uticaj svih posmatranih faktora (maziva, materijala alata, hrapavosti izvlakača, ugla nagiba matrice i sile držanja), kao i njihovih interakcija na silu izvlačenja. Najveći uticaj na silu izvlačenja je pokazala sila držanja i ugao nagiba matrice. Uticaj ova dva faktora je mogao da bude posmatran kao jedan faktor, pri čemu bi svi ostali uticaji ostali nepromenjeni. To je i utvrđeno u preliminarnoj analizi koja ovde neće biti pokazana zbog obimnosti. Takav pristup bi imao smisla sa tog aspekta, što stepen deformacije zavisi od ugla nagiba matrice i sile držanja. Razlika ovog testa od realnog procesa je i u tome što u realnom procesu deformacija zavisi od ugla nagiba matrice, a sila držanja predstavlja samo radijalnu silu koja deluje na matricu. Ipak odlučilo se za razdvojenu analizu faktora (ugla nagiba matrice i sile držanja) ne sporeći da je to moglo i na drugi, već spomenuti, način da se izvede. Analaza je takodje pokazala veliki uticaj materijala alata kao i maziva na silu izvlačenja. Od pojedinačnog dejstva faktora na silu izvlačenja, najmanji uticaj pokazala je hrapavost izvlakača, ali bez obzira na njeno malo dejstvo, ona je značajna.

Tabela 2

Duncan test; SILA IZVLAČENJA-FT (jirondak.sta)			
Analiza srednjih vrednosti,			
Kritični faktor verodostojnosti: $\alpha = 0.05$			
FAKTOR: MAZIVO (MAZ)			
	{1}	{2}	{3}
	8.580485	8.915912	8.852122
M1	.... {1}	.000011	.000009
M2	.... {2}	.000011	.027340
M3	.... {3}	.000009	.027340
FAKTOR: MATERIJAL ALATA (MAT)			
	{1}	{2}	{3}
	8.490382	8.323829	9.534309
.... AC	.... {1}	.000009	.000009
.... CR	.... {2}	.000009	.000011
.... TM	.... {3}	.000009	.000011
FAKTOR: HRAPAVOST IZVLAKAČA (HRAI)			
	{1}	{2}	{3}
	8.824313	8.743680	8.780526
.... N1	.... {1}	.007338	.129837
.... N3	.... {2}	.007338	.202445
.... N5	.... {3}	.129837	.202445
FAKTOR: NAGIB MATRICE (ALFA)			
	{1}	{2}	{3}
	5.850840	8.872611	11.62507
.... A1	.... {1}	.000009	.000011
.... A2	.... {2}	.000009	.000009
.... A3	.... {3}	.000011	.000009
FAKTOR: SILA DRŽANJA (FD)			
	{1}	{2}	{3}
	5.199765	8.790268	12.35849
.... D1	{1}	.000009	.000011
.... D2	{2}	.000009	.000009
.... D3	{3}	.000011	.000009

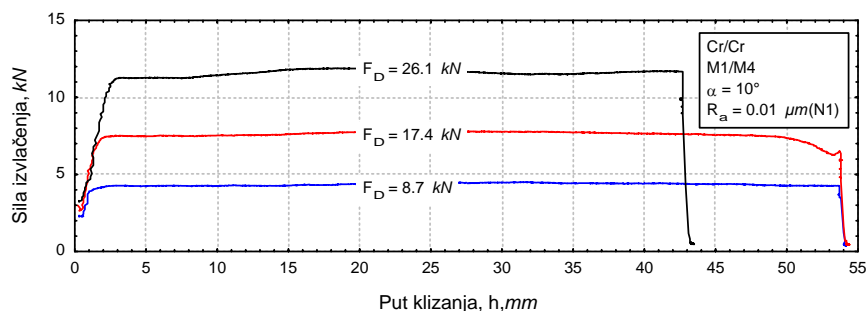
Najveći uticaj interakcija ustanovljen je kod sile držanja i ugla nagiba matrice. Nešto manje dejstvo su pokazali materijal-ugao nagiba matrice, mazivo-materijal, mazivo-hrapavost, materijal-hrapavost i mazivo-ugao nagiba matrice. Ostala međudejstva su još manja, ali ipak postoje.

Analiza srednjih vrednosti sile izvlačenja, izvedena pomoću Dankanovog testa (tabela 2), pokazuje postojanje neophodne razlike između izabranih nivoa pojedinih faktora. Kao kriterijum je korišćen kritični faktor verodostojnosti- $\alpha = 0.05$. Postojanje značajne razlike je osenčeno u pomenutoj tabeli. Jedino značajnu razliku nije pokazala hrapavost izvlakača N5 u poredjenju sa hrapavostima N1 i N3.

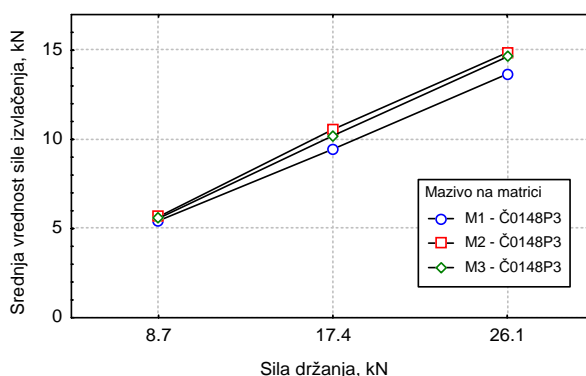
Izvedena analiza pokazuje opravdanost eksperimentalnog pristupa, odnosno izbora osnovnih faktora i njihovih nivoa.

Karakteristični dijagrami promene sile izvlačenja od hoda izvlakača pri različitim silama držanja ($F_D = 8.7, 17.4$ i 26.1 kN) prikazani su na slici 6. Sa povećanjem sile držanja raste i sila izvlačenja jer se pri tome ostvaruje i veći stepen deformacije.

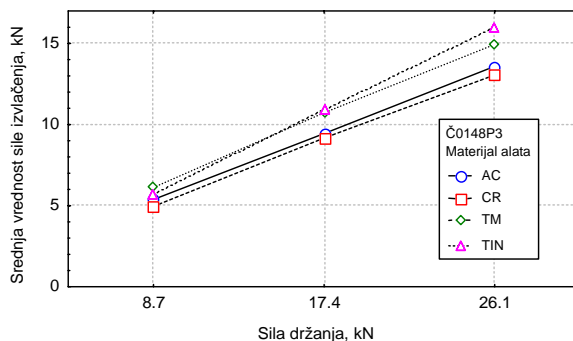
Uticaj različitih faktora (mazivo na matrici, materijal alata, hrapavost izvlakača i ugao nagiba matrice) na srednje vrednosti sile izvlačenja pri različitim silama držanja prikazan je na slikama 7 do 10. Ovi dijagrami upravo potvrđuju ono što je ustanovljeno i pri disperzionoj analizi.



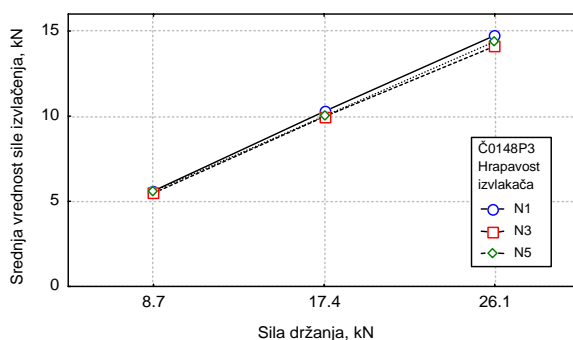
Slika 6. Promena sile izvlačenja od puta pri različitim silama držanja



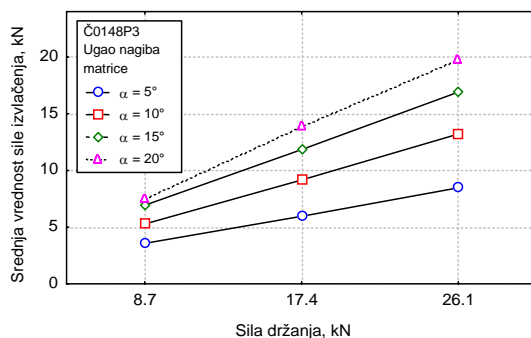
Slika 7. Promena srednje vrednosti sile izvlačenja od sile držanja za različita maziva na matrici



Slika 8. Promena srednje vrednosti sile izvlačenja od sile držanja pri različitim materijalima alata



Slika 9. Promena srednje vrednosti sile izvlačenja od sile držanja pri različitim hrapavostima izvlakača



Slika 10. Promena srednje vrednosti sile izvlačenja od sile držanja pri različitim uglovima nagiba matrice

4. ZAKLJUČAK

Sila izvlačenja predstavlja vrlo važnu veličinu u procesu dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida, jer od nje zavisi i utrošena snaga (energija) za izvođenje procesa. S druge strane, sila izvlačenja predstavlja izlaznu veličinu procesa, zajedno sa kvalitetom dela. Sila izvlačenja zavisiće, više ili manje, od svih relevantnih parametara

procesa, razmatranih u ovom radu (maziva, materijala alata, hrapavosti izvlakača, ugla nagiba matrice i sile držanja), što se može videti na osnovu izvedene disperzione analize. Takođe je utvrđeno da postoji izraženo i medjudejstvo svih razmatranih faktora.

Karakteristično je za silu izvlačenja da ona, na putu klizanja, može da bude konstantna, rastuća, ili pak opadajuća, a u nekim slučajevima može da ima oscilatoran (pri nekim mazivima) i nestabilan karakter, što zavisi u prvom redu od kontaktnih uslova.

Analiza srednjih vrednosti sile izvlačenja, izvedena pomoću Dankanovog testa, pokazuje postojanje neophodne razlike između izabranih nivoa pojedinih faktora i potvrđuje opravdanost eksperimentalnog pristupa, odnosno izbora osnovnih faktora i njihovih nivoa.

LITERATURA

- [1]. *Andreasen J.L., Bay N.*: A strip reduction test for measurement of lubricity in ironing, 19th IDDRG Biennial Congress, Eger, 1996., 435-444
- [2]. *Kawai N. (1982b), Nakamura T., Miyamoto S.*: On the assessment of lubricity in the deformation process by a strip-ironing type friction testing machine, Bull. Of the JSME, Vol. 25, № 199, 1982., 95-102
- [3]. *Lange K., Grabener T.*: Tribologie in der Umformtechnik-Reibung, Schmierung, Schmierstoffprüfung, 3th Intern. Colloq., Esslingen, 1982., 15.1-15.14
- [4]. *Вейлер С.Я., Лихтман В.И.*: Действие смазок при обработке металлов давлением, Издательство АКАДЕМИИ НАУК СССР, Москва, 1960.
- [5]. *Deneville P., Lecot R.*: The study of friction in ironing process by physical and numerical modeling, Journal of Materials Processing Technology, 45, 1994., 625-630
- [6]. *Wang X.J., Jonasson D., Duncan J.L.*: Ironing dynamometer for studying wall ironing in the cupping process, Proc. 14th IDDRG, 1986., 201-217
- [7]. *Adamović D., Stefanović M., Lazić V.*: Modeliranje triboloških procesa kod dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida, Savetovanje Proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Kraljevo, 2000.
- [8]. *Adamović D.*: Ponašanje materijala u kontaktu pri procesima hladnog plastičnog oblikovanja sa visokim radnim pritiscima, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2002.
- [9]. *Djukić H.*: Istraživanje metode proračuna optimalne tehnologije izrade elemenata sa redukcijom debljine zida omotača izvlačenjem, Doktorska disertacija, MF, Mostar, 1982.
- [10]. *Adamović D. i drugi*: Istraživanje uticaja materijala alata i maziva na silu dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida, Zbornik radova, XXX SPM SCG, Vrnjačka Banja, 2005.
- [11]. *StatSoft, Inc.*: STATISTICA for Windows, Computer program manual, Tulsa, OK, USA, 1995.



UTICAJ ISTORIJE DEFORMISANJA NA OBRADIVOST PRI RAZVLAČENJU KAROSERIJSKOG LIMA OD AL-LEGURA

M. Samardžić¹⁾, M. Stefanović²⁾, S. Aleksandrović³⁾

Rezime. Oblikovanje delova karoserije dubokim izvlačenjem predstavlja jedan od najkompleksnijih postupaka u izradi automobila. Pri izvlačenju delova karoserije automobila proces razvlačenja ima veliki značaj kao jedan od dominantnih vidova deformisanja. Granični iznosi deformacija na dobijenom delu u velikoj meri zavise ne samo od naponskog stanja već i od istorije deformisanja.

Ključne reči: Obradivost, razvlačenje, Al-legura

THE INFLUENCE OF STRAIN HISTORY ON FORMABILITY IN STRETCH FORMING AL-ALLOY SHEET METAL

Abstract. Sheet metal forming of automotive body is one of most complex process in automobile industry. Stretch forming with rigid tools is an important process for manufacturing of particular carbody elements. Forming limits strongly depends from realized stress-strain field and strain path.

Key words: Formability, stretch-forming, Al-alloy

1. UVOD

Novi koncepti projektovanja vozila kao i trend smanjenja težine vozila su doveli do intenzivnog korišćenja novih materijala u izradi karoserije pri čemu se velika pažnja poklanja Al-legurama. Mala težina, otpornost na koroziju i mogućnost reciklaže su glavne osobine koje čine Al-legure pogodnim za korišćenje u automobilskoj industriji gde se najčešće koriste legure AlMg(Mn, Cr), AlMgSi(Cu, Mn), AlCuMg(Si) i AlMgCu(Zn) [1], [2].

Izvlačenje delova karoserije se izvodi u veoma složenim uslovima pri čemu veliki broj parametara utiče na uspešnost oblikovanja. U zavisnosti od obradnih uslova stepen deformacije na izvučenom komadu je dosta različit.

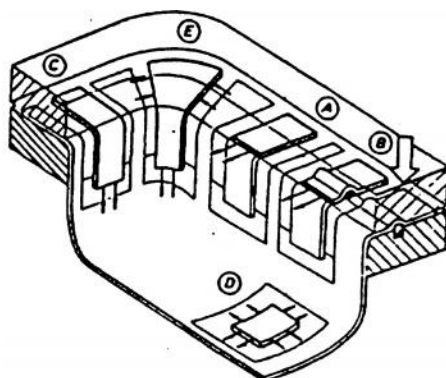
¹⁾ Milica Samardžić, Institut za automobile, Zastava automobili, Kragujevac, Srbija, milica@ia.kg.ac.yu

²⁾ Milentije Stefanović, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, stefan@kg.ac.yu

³⁾ Srbislav Aleksandrović, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, srba@kg.ac.yu

2. LOKALNE DEFORMACIONE ŠEME PRI MODELIRANJU PROCESA IZVLAČENJA DELOVA KAROSERIJE

Prilikom proučavanja procesa izvlačenja delova karoserije glavnu poteškoća predstavlja mnoštvo lokalnih šema deformisanja, koje se razlikuju u naponsko-deformacionim odnosima. Jedna od takvih standardnih šema je i razvlačenje-dvostrano zatezanje, koje se ostvaruje neposredno u oblasti ispod čela izvlačka, slika 1.

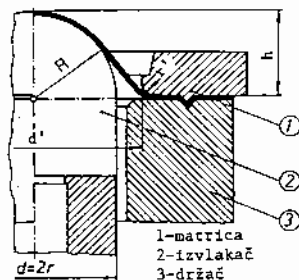


Slika 1. Modeliranje procesa izvlačenja delova karoserije [3]

Pored ostvarenog naponsko-deformacionog stanja bitan uticaj na granične iznose deformacija ima i istorija deformisanja.

3. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Osnovna eksperimentalna šema se ostvaruje prema slici 2 [3]. Radni elementi alata imali su slede e dimenzije: izvlačka sfernog oblika pre nika 50 mm, matrica za prosecanje pre nika 120 mm sa utiskuju im rebrom pre nika 88 mm. Sprečavanje uvlačenja lima u otvor matrice, odnosno ostvarivanje šeme dvostranog zatezanja-razvlačenja ostvareno je preko držača sa zateznim rebrom i podešavanjem sile držanja.



Slika 2. Elementi alata za razvlačenje[3]

U ovom radu je korišćena legura AlMg4,5Mn koja je proizvedena u Valjaonici aluminijuma u Sevojnu (IMPOL – SEVAL). Ona se svrstava u Al-Mg legure (serija 5000) čija je osnovna karakteristika da ne zahteva bilo kakav termički tretman pre,

tokom i posle oblikovanja, ali je i teže obradiva dubokim izvlačenjem. Za ispitivanja je korišćen lim debljine 0,9 mm. U tabeli 1 dati su detaljni podaci o pomenutoj leguri.

Tabela 1. Karakteristike legure

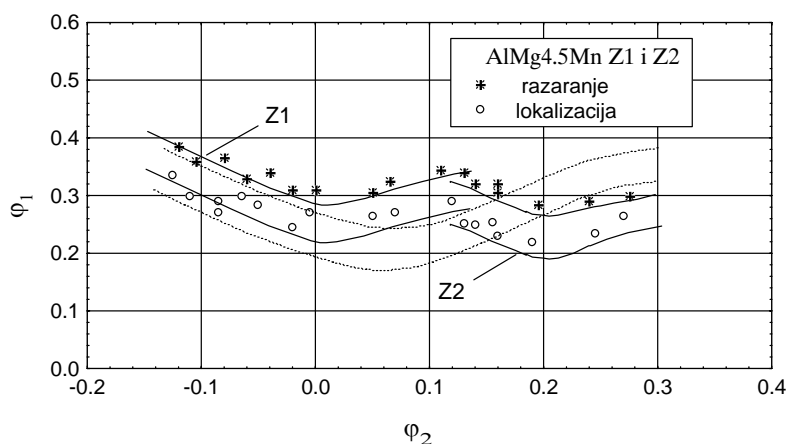
A. Mehaničke karakteristike								
	R _p , MPa	R _m , MPa	A ₈₀ , %	n	r			
\bar{X}	148	271	21	0,26	0,715			
Kriva ojačanja (0°): $K = 152,9 + 305,9 \varphi^{0,312}$, MPa								
B. Hemijski sastav								
el.	M _g	M _n	S _i	F _e	T _i	C _u	Z _n	C _r
%	4,20	0,57	0,0869	0,29	0,013	0,007	0,068	0,092

3.1 Uticaj istorije deformisanja na formiranje DGD

Dijagram granične deformabilnosti (DGD) je neophodan prilikom određivanja obradivosti karoserijskih limova. DGD omogućavaju određivanje graničnih deformacije za različite istorije deformisanja, odnosno pružaju mogućnosti za optimizaciju ključnih parametara procesa dubokog izvlačenja (geometrija alata, tribološki uslovi i sl.).

Za određivanje DGD korišćen je tzv. Nakazima postupak, koji se zasniva na razvlačenju lima u obliku traka promenljivih širina čvrstim izvlakačem. Za određivanje DGD korišćene su trake dužine 120 mm i širina: 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 i 120 mm.

Granični iznosi deformacija na zavise samo od naponskog stanja, već i od istorije deformisanja. Zato ima smisla koristiti onaj DGD, koji je dobijen tako da odgovara uslovima pri stvarnom izvlačenju, jer je tada obezbeđena identičnost deformisanja. Ako se u toku višeoperacionog izvlačenja menja karakter deformisanja, što se često dešava, nepravilno je koristiti DGD koji podrazumeva proporcionalno deformisanje u toku čitave obrade [4].

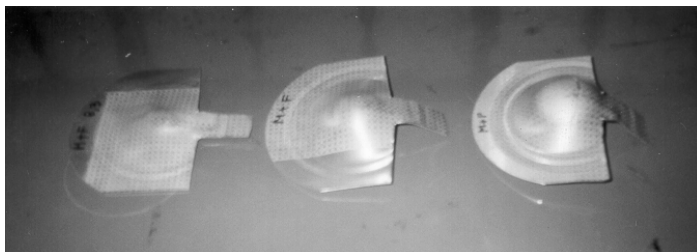


Slika 3. DGD za nemonotone postupke Z1 i Z2

Na slici 3 se vide promene u položaju kriva lokalizacije i razaranja u slučajevima nemonotonog deformisanja. Sa isprekidanim linijama označen je DGD za slučaj monotonog deformisanja. Postupak označen kao Z1 obuhvata dve faze deformisanja: u prvoj je jednoosno zatezanje sa ostvarenim izduženjem od 5%, a u drugoj proces razvlačenja. Postupak Z2 u prvoj fazi ima razvlačenje sa ostvarenim deformacijama $\varphi_1=\varphi_2=16\%$ [5].

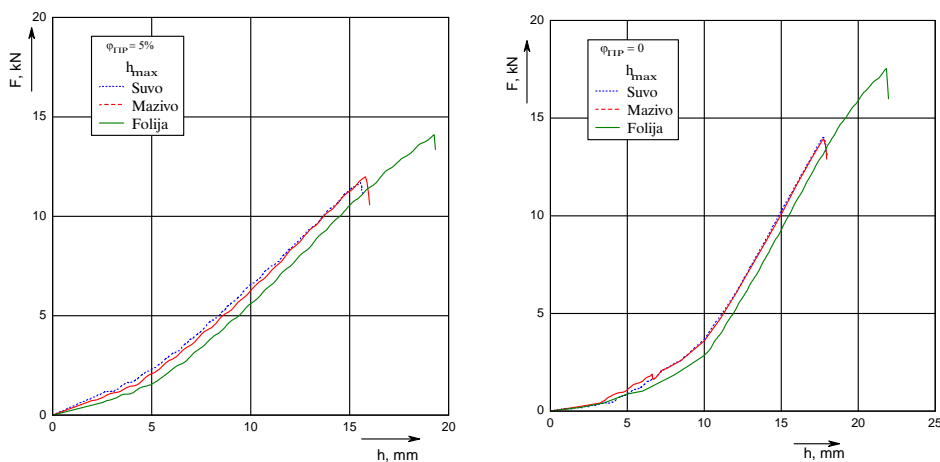
3.2 Uticaj istorije deformisanja na distribuciju deformacija

Za izvođenje eksperimenta korišćene su epruvete sa nanetom mernom mrežom kao na slici 4. Razvijeno stanje ima prečnik 120 mm. Korišćena merna mreža ima kružne elemente prečnika $d_0=3,3$ mm. Korišćene su dve vrste epruveta: jedne su bile od nedeformisanog lima a druge od prethodno deformisanog lima. U slučaju dvofaznog deformisanja lim je najpre bio zategnut do vrednosti $\varphi_1\approx 5\%$. Pravac sečenja se poklapa sa pravcem valjanja, tj. prethodnog zatezanja.



Slika 4. Epruvete dobijene razvlačenjem

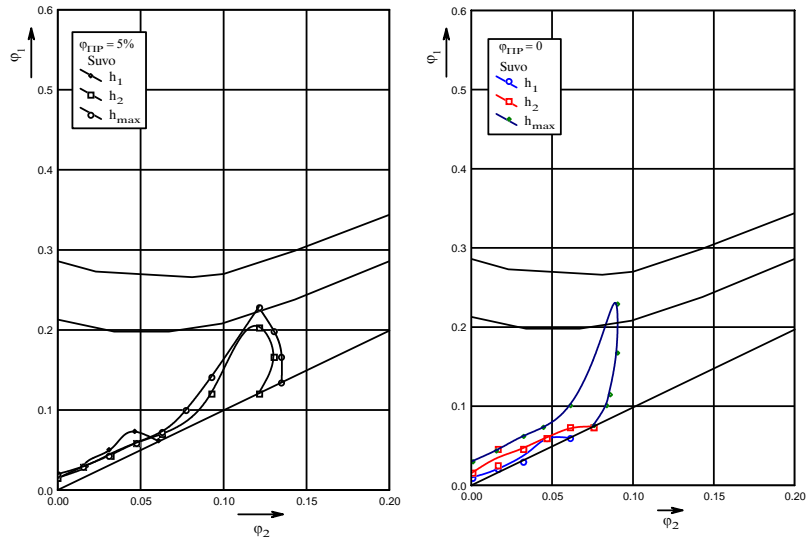
Posmatrana su tri stanja kontaktnih površina: suvo (S), mazivo (M) i kombinacija folije polietilena i maziva (F) koja sigurno razdvaja kontaktne površine. Razaranje se dešavalo pri dubinama: $h_{\max(S)}=17,7$ mm, $h_{\max(M)}=17,5$ mm, $h_{\max(F)}=21,8$ mm kada su korišćene epruvete od lima koji nije bio prethodno deformisan. Kod epruveta od lima koji je prethodno deformisan do razaranja je dolazilo pri dubinama: $h_{\max(S)}=15,5$ mm, $h_{\max(M)}=15,8$ mm, $h_{\max(F)}=19,3$ mm.



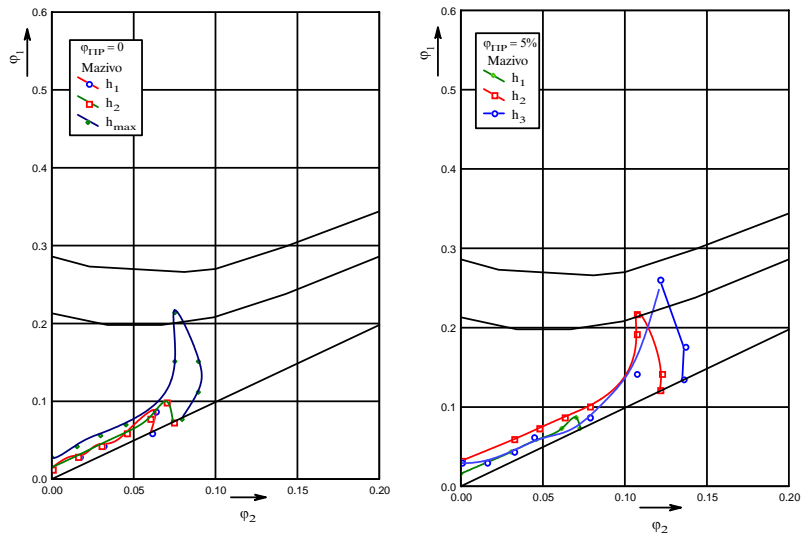
Slika 5. Zavisnost sile razvlačenja od hoda izvlačka za monoton i nemonoton tok deformisanja

Na slici 5 prikazana je promena sile razvlačenja u zavisnosti od hoda izvlačka za monoton i nemonoton tok deformisanja, pri različitim kontaktnim uslovima

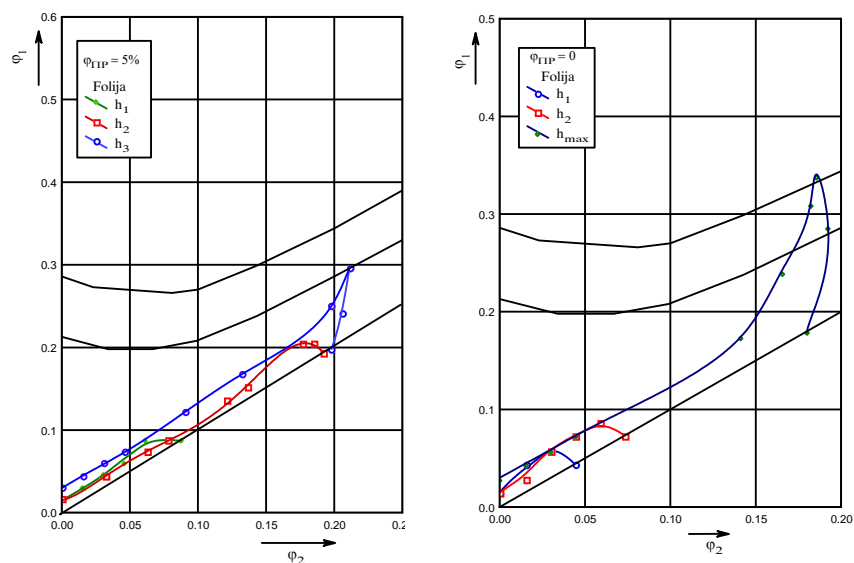
Na osnovu izmerenih dimenzija elemenata merne mreže, prema odgovarajućim izrazima, određene su deformacije u karakterističnim tačkama. Uporedni prikazi distribucija za ostvarene dubine razvlačenja, zajedno sa krivom granične deformabilnosti, dati su na slici 6.



a) suve kontaktne površine



b) korišćeno mazivo



c) korišćena folija

Slika 6. Raspodela deformacija u DGD za monoton i nemonoton tok deformisanja

Na osnovu prikazane raspodele deformacija u DGD može se videti uticaj istorije deformisanja na veličinu i distribuciju ostvarenih deformacija

4. ZAKLJUČAK

Korišćenjem Al-legura ostvaruju se značajni rezultati u pogledu smanjenja težine automobila i efikasnijeg iskorišćenja goriva. Uvođenje Al-legura je u tesnoj vezi sa razvojem novih vrsta legura sa poboljšanim karakteristikama i korišćenjem novih tehnologija oblikovanja i podmazivanja.

Granični iznosi deformacije pored ostvarenog naponsko-deformacionog stanja zavise i od istorije deformisanja, koja bitno utiče na dešavanja u metalnoj strukturi materijala. Zbog toga je od velikog značaja poznavanje DGD, koji je određen na način koji odgovara stvarnim uslovima izvlačenja.

LITERATURA

- [1] M. Merklein, M. Geiger, New materials and production technologies for innovative lightweight constructions, Journal of materials processing technology 125-126 (2002) 532-536.
- [2] K. Siegert, S. Wagner, Formability characteristics of aluminium sheet, TALAT lecture 3701, EAA, 1994.
- [3] M. Stefanović, Tribologija dubokog izvlačenja, Monografija, Kragujevac, 1994.
- [4] S. Aleksandrović, M. Stefanović, Duboko izvlačenje lima od aluminijumske legure AlMg4,5Mn pri nemonotonom deformisanju sa promenljivom silom držanja, 4. Međunarodno savetovanje DEMI 2001, Banja Luka, Zbornik radova, 69-74.
- [5] M. Samardžić, Obradivost limova od aluminijumskih legura pri dubokom izvlačenju delova za karoserije automobila, Magistarska teza, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2003.



FE ANALIZA PROCESA ISTISKIVANJA ALUMINIJUMSKIH ŠUPLJIH PROFILA

V. Mandić¹⁾, T. Marinković²⁾, M. Živković³⁾

Rezime: U radu su prikazani rezultati FE analize procesa istiskivanja aluminijumskih šupljih profila. Cilj analize je bio da se ispita uticaj oblika i dužine mosta komorne matrice na njegovu defleksiju. U tu svrhu korišćeni su modeli matrice sa dva, četiri i šest otvora. PAK softver je korišćen za elasto-plastičnu analizu deformisanja mosta. Za simulaciju procesa istiskivanja i određivanje graničnih uslova na alatu primenjeni su CAMPform 2D i FORGE3 softveri. Pokazano je da je odvojena FE analiza plastičnog tečenja materijala i analiza alata mnogo efikasnija od objedinjene. Pored toga, 3D FE simulacije se mogu izbeći kroz 2D analizu u reprezentativnim presecima obratka.

Ključne reči: Istiskivanje aluminijuma, komorna matrica, deformisanje mosta, FEM

FE ANALYSIS EXTRUSION PROCESS OF HOLLOW SECTION ALUMINIUM PROFILES

Abstract: This paper describes FE analysis of porthole-die extrusion process of aluminium profiles. Dies with two, four and six portholes with different length of the bridge were used in order to follow the material split flow and the impact on bridge deformation. PAK software was used for elasto-plastic analysis of bridge deformation and deflection. In order to obtain the material plastic flow and boundary conditions, CAMPform 2D and FORGE3 software were applied. It is shown that this approach is a very efficient way to separate FE studies on the aluminium flow from die deformation calculations. Moreover, it has made it possible that the complex 3D FE simulations can be avoid by means of 2D calculation, in representative sections.

Key words: Aluminium extrusion, porthole-die, bridge deformation, FEM

1. UVODNA RAZMATRANJA I DEFINICIJA PROBLEMA

Istiskivanje kroz komornu matricu za izradu šupljih profila ima mnoge prednosti u odnosu na konvencionalno istiskivanje, koje podrazumeva primenu dodatnih elemenata, tipa osovine, u izlaznom kanalu matrice. Zagrejani pripremak teče kroz kontejner alata i pri nailasku na komornu matricu dolazi do njegovog cepanja i plastičnog tečenja kroz otvore matrice. Nakon toga, u komori dolazi do svarivanja

¹⁾ Doc. dr Vesna Mandić, Mašinski fakultet, Kragujevac, mandic@kg.ac.yu

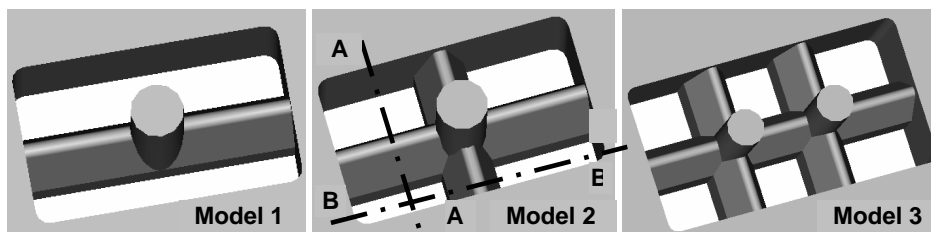
²⁾ Dr Tomislav Marinković, NISSAL, Niš

³⁾ Prof. dr Miroslav Živković Mašinski fakultet, Kragujevac, zile@kg.ac.yu

odvojenih delova priprema kako bi po se izlasku iz kanala matrice formirao profil sa unutrašnjim otvorom. Aluminijum i njegove legure su posebno pogodni za ovakvu vrstu obrade, zbog njihovih dobrih svojstava zavarljivosti. Puno radova se odnosi na istosmerno istiskivanje aluminijuma kroz komornu matricu [1-6].

Cilj ovog istraživanja je analizirati deformaciju mosta različitih tipova komornih matrica, sa dva, četiri i šest otvora, a samim time predvideti njihovu plastifikaciju, koja dovodi posle cikličnih mehaničkih i temperaturnih opterećenja do ubrazanog habanja i loma. Pored toga defleksija mosta komorne matrice može prouzrokovati nepreciznost dimenzija istisnutog profila. Veoma je korisno pre same izrade alata i početka proizvodnje proveriti projektna rešenja i optimizirati ih kroz korišćenje FE softvera i numeričkih simulacija.

Da bi se ispitao uticaj geometrije i položaja mosta u komornoj matrici na njegovo deformisanje i defleksiju, korišćena su tri modela komornih matrica prikazanih na slici 1. Ovi modeli su donekle različiti od industrijskih alata ali odgovaraju postavljenim ciljevima istraživanja.

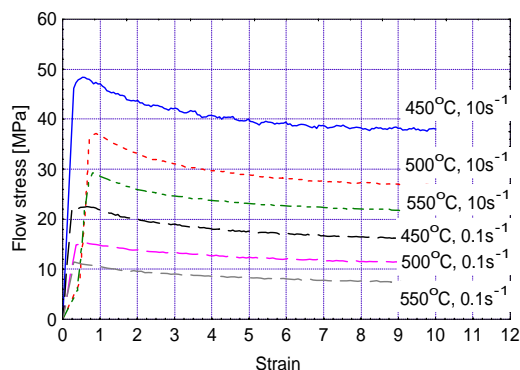


Slika 1. Modeli komornih matrica sa dva, četiri i šest otvora

Material koji se istiskuje je AA 6060 (AlMgSi05), aluminijumska legura za toplo istiskivanje. Kriva tečenja je dobijena testom uvijanja, u funkciji deformacije, brzine deformacije i temperature. Na slici 2 prikazana je merna oprema koja se nalazi u Laboratoriji DIMEG (Dipartimento di Innovazione Meccanica e Gestionale, Padova, Italy), a na slici 3 prikazane su dobijene krive tečenja. Matematički aproksimativni oblik krive tečenja dobijen je regresionom analizom u programu STATISTICA, a prikazan je jednačinom 1.



Slika 2. Oprema za test uvijanja (DIMEG)



Slika 3. Krive tečenja AA 6060

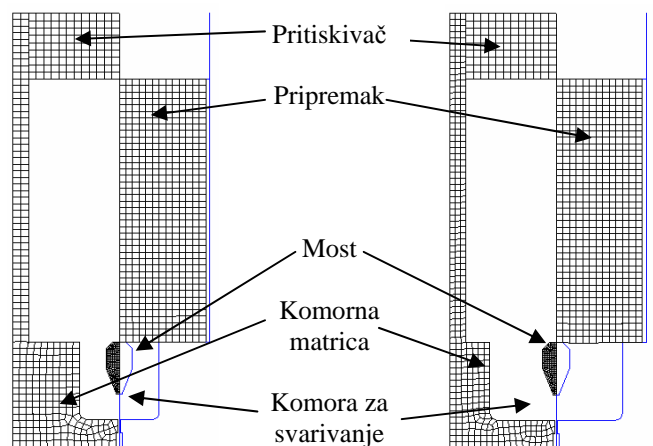
$$\sigma = 2,272 \cdot 10^9 T^{-2,969} \varepsilon^{-0,0793} \dot{\varepsilon}^{0,1757} \quad (1)$$

Temperatura priprema je 480°C, a alata 420°C. Brzina deformisanja je 330mm/s i odgovara industrijskim uslovima. Pretpostavljeno je da je vrednost factora trenja konstantna u toku procesa $m=0,6$, što odgovara opštim uslovima toplog istiskivanja aluminijuma bez podmazivanja. Materijal alata je AISI H13, alatni čelik za rad u toplom stanju. U numeričkim simulacijama plastičnog tečenja materijala se pretpostavlja da je alat perfektno krut.

2. 2D FE ANALIZA ISTISKIVANJA

Analizu 3D procesa moguće je raditi sekvencijalno kroz dvo-dimenzionalnu analizu procesa u reprezentativnim presecima. Mooi i ost. [4] su pokazali veoma dobru podudarnost rezultata 2D i 3D FE analize procesa istiskivanja. Za modele komornih matrica prikazanih na slici 1, uočavaju se dva reprezentativna preseka A-A i B-B u kojima je moguće 2D analizom pratiti plastično tečenje materijala i odgovarajuće napone u međukontaktu materijala i alata, pa tako dobiti granične uslove na mostu matrice, za dalju elastično-plastičnu FE analizu.

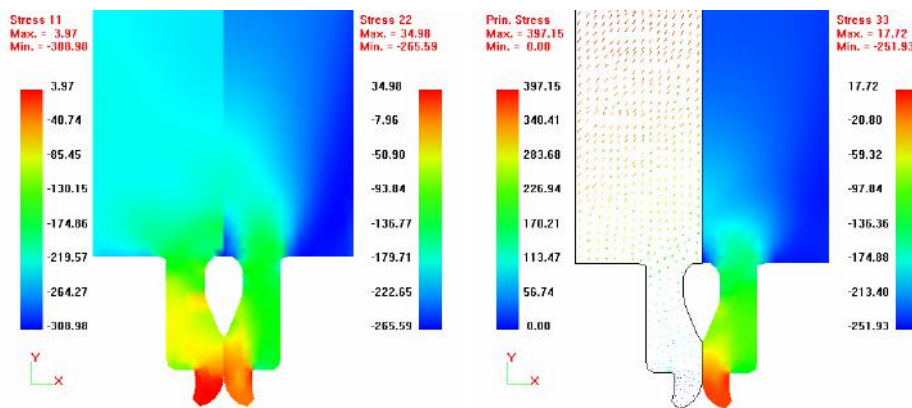
U tu svrhu korišćen je CAMPform 2D FE program, razvijen na KAIST institutu, a namenjen 2D analizi procesa zapreminskog oblikovanja u hladnom i toplom stanju [7]. Razvijen je na bazi kruto-viskoplastičnog pristupa, koji je razvio Kobayashi i ost [8]. Na slici 4 prikazana je u CAMPform editoru geometrija i početna FE mreža alata i priprema, u oba reprezentativna preseka. Prikazana je samo polovina geometrije, s obzirom na postojanje simetrije, pri čemu se pretpostavlja da je osa simetrije nakon mosta upravo linija svarivanja materijala. Izabrana je opcija ravanske deformacione analize (plane strain).



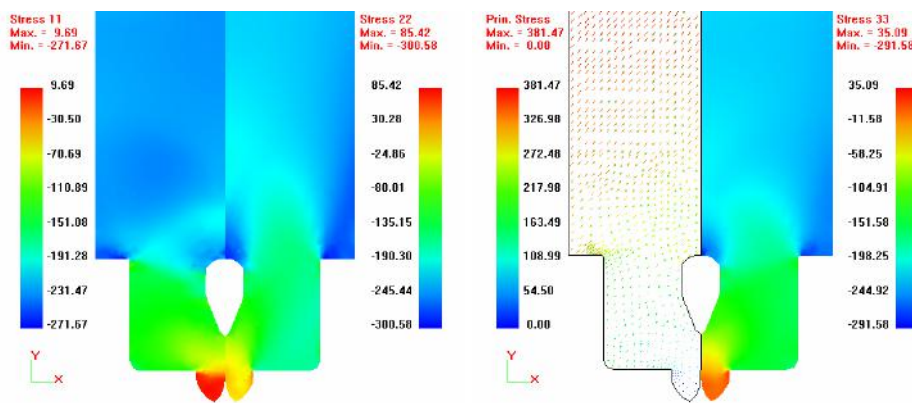
Slika 4. Geometrija i početna FE mreža priprema i alata – (a) A-A (b) B-B

S obzirom da pritisci nastali u toku plastičnog deformisanja materijala, posebno u fazi cepanja priprema na mostu komorne matrice imaju veliki uticaj na njegovu defleksiju i zamor materijala, koji vodi ka lomu alata, treba odrediti distribuciju

pritisaka u materijalu u toku procesa istiskivanja. Veliki radni pritisci se javljaju i u fazi svarivanja materijala, pre početka isticanja kroz kanal matrice i formiranja istisnutog profila. Kako je process istiskivanja stacionaran (steady-state) određene su distribucije pritisaka u fazi kada je profil istisnut, odnosno kada je process ušao u stacionarnu fazu. Vrednosti pritisaka su dobijene kao srednja aritmetička vrednost komponenta napona (σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{zz}). Prema tome, distribucije pritisaka u dva referentna preseka su korišćene kao granični uslovi za dalju PAK FE analizu defleksije mosta matrice. Na slikama 5 i 6 prikazane su distribucije naponskih komponenta u CAMPform 2D simulaciji.



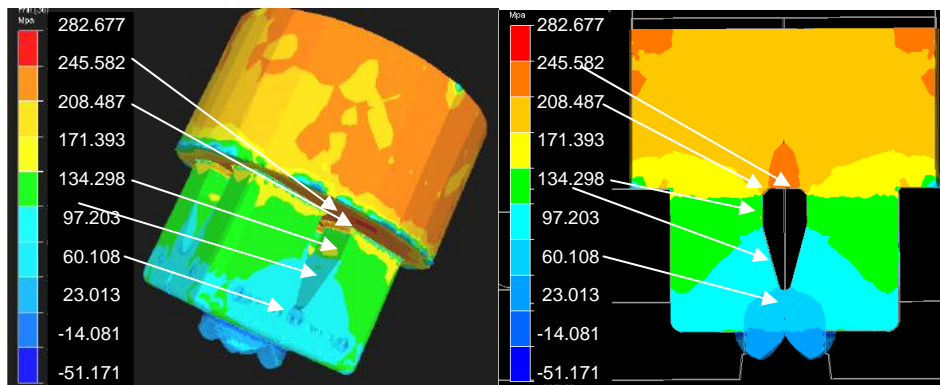
Slika 5. Distribucije naponskih komponenta (σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{zz}) i glavnih napona u A-A



Slika 6. Distribucije naponskih komponenta (σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{zz}) i glavnih napona u B-B

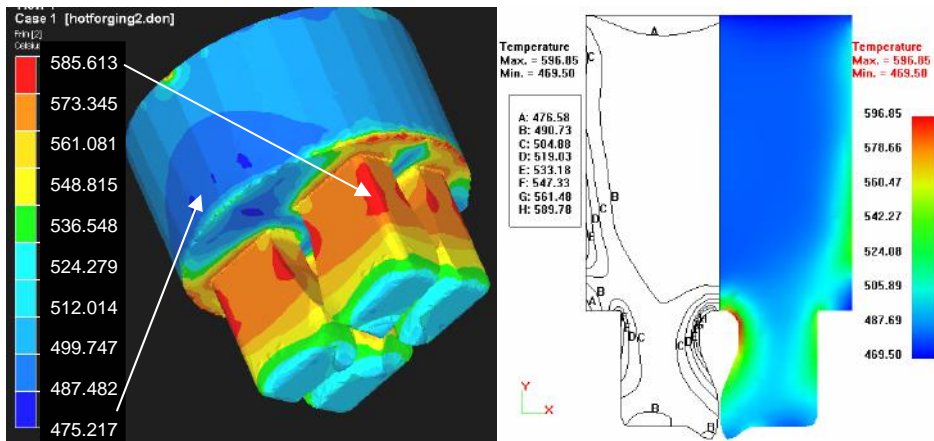
3. 3D FE ANALIZA ISTISKIVANJA

U cilju verifikacije rezultata 2D FE analize urađena je 3D simulacija procesa istiskivanja, sa istim ulaznim parametrima procesa i materijala. Simulacija je izvedena korišćenjem komercijalnog softvera FORGE3, u saradnji sa Univerzitetom u Padovi, DIMEG, Italy [9]. Distribucije pritisaka u 3D modelu oblikovanog materijala u toku procesa istiskivanja prikazana je na slici 7, kao i u preseku B-B.



Slika 7. Distribucija pritiska (MPa) u 3D FORGE modelu i B-B preseku

Analizom dobijenih distribucija, u oba slučaja 2D i 3D analize uočava se dobra podudarnost rezultata. Na taj način se 3D simulacije, koje mogu trajati i nekoliko dana, mogu izbjeći primenom 2D FE simulacija procesa u cilju dobijanja određenih rezultata. Pored toga, i ostala upoređenja rezultata su dala dobru podudarnost. Na slici 8 prikazane su distribucije temperature u materijalu, u toku procesa istiskivanja, kako u 3D FORGE modelu, tako i u referentnom preseku B-B u CAMPform simulaciji. Evidentne su slične distribucije i temperaturne zone. To je još jedna potvrda da se dobro osmišljenom aproksimacijom procesa, i izborom reprezentativnih 2D modela mnogi procesi mogu analizirati kroz ravanske analize.

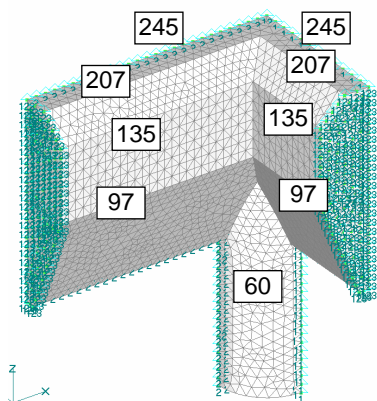


Slika 8. Distribucija temperatura u 3D FORGE modelu i CAMPform 2D modelu

4. ELASTO-PLASTIČNA FE ANALIZA MOSTA MATRICE

Već je istaknuto koliko je važno poznavati opterećenje mosta u komornoj matrici u toku procesa istiskivanja, pa je na osnovu utvrđenih kontaktnih pritisaka na mostu, kroz 2D i 3D FE analize urađena i elastično-plastična analiza tri modela mostova matrica. U tu svrhu korišćen je PAK – FE Program za Analizu Konstrukcija, razvijen na

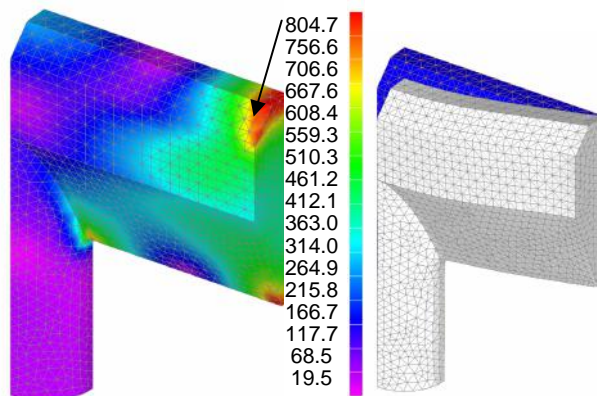
Mašinskom fakultetu u Kragujevcu [10], [11]. Zbog postojanja simetrije samo jedna četvrtina mosta je modelirana. Na slici 9 prikazana je 3D mreža modela 2 mosta matrice sa graničnim uslovima pomeranja i pritiska.



Slika 9. Granični uslovi na mostu

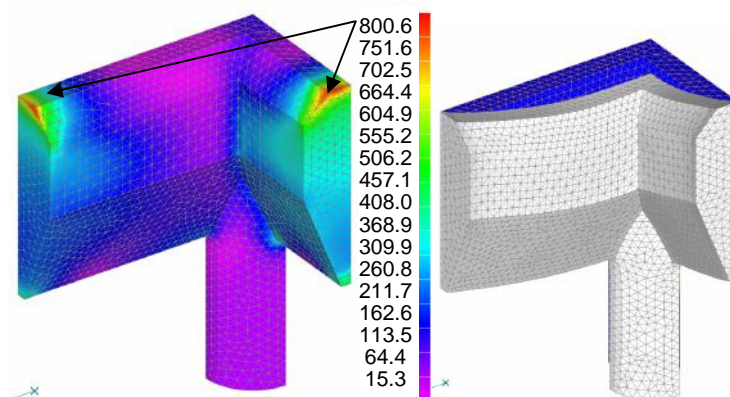
Materijalne karakteristike alata na 420°C su sledeće: elastični modul $E=176000$ MPa, Poisson-ov odnos $\nu=0.3$ i napon na granici tečenja $R_p=850$ MPa. U cilju provere da li u toku procesa istiskivanja, prema zadatim opterećenjima, dolazi do plastifikacije mosta matrice, analizirana je distribucija Von Mises-ovog napona. Na slikama 10, 11 i 12 prikazana je distribucija ovog napona, kao i defleksija mosta, sa faktorom uvećanja 5.

Pošto su maksimalne vrednosti dobijenih napona manje od napona na granici tečenja za primenjeni alatni čelik, to znači da je deformisanje mosta matrice samo elastično.

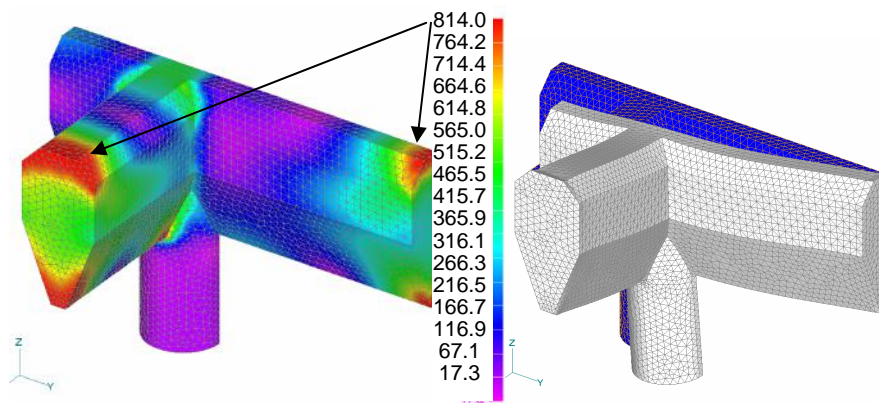


Slika 10. Distribucija Von Mises-ovog napona (MPa), deformisani i nedeformisani model 1

Međutim, pri značajnim dinamičkim i termičkim opterećenjima kojima je alata ciklično opterećen u toku proizvodnje, moguće su veće deformacije mosta matrice i njegova plastifikacija. Sa prikazanih distribucija i deformisanih modela mostova matrice najnepovoljniji slučaj je model 3, odnosno matrica sa šest otvora. U ovom slučaju je dostignuta najveća vrednost kritičnih napona, kao i najnepravilnija defleksija mosta, koja dovodi do poremećaja saosnosti centralne osovine. To praktično znači da će tačnost istisnutog profila biti nezadovoljavajuća, jer će proizvesti neravnomernu debljinu zida istisnutog profila. Značaj dobijenih rezultata leži u činjenici da se ovakva metodologija može primeniti i na veoma nepravilne geometrije industrijskih alata, i izvršiti provera projektnog rešenja pre same proizvodnje.



Slika 10. Distribucija Von Mises-ovog napona (MPa), deformisani i nedeformisani model 2



Slika 10. Distribucija Von Mises-ovog napona (MPa), deformisani i nedeformisani model 3

5. ZAKLJUČCI

U radu je istraživana uticaj oblika komorne matrice sa različitim brojem otvora na deformisanje i defleksiju mosta, kao i centralne osovine. Pokazano je da je veoma korisno i efikasno primeniti 2D ravansku deformacionu analizu procesa u referentnim preseccima, koji mogu ilustrovati plastično tečenje materijala, pre nego dugotrajne 3D analize. Dobijena je zadovoljavajuća podudarnost rezultata. Pored toga, odvojena FE analiza plastičnog tečenja materijala i elastično-plastična analiza alata je takođe efikasnija od objedinjene. Kroz prvu određeni su granični uslovi za opterećenje alata, a kroz drugu i njegovo deformisanje i defleksija.

Elastično-plastična analiza mosta komorne matrice, za sve primenjene modele pokazala je da su svi modeli deformisani samo elastično. Treba naglasiti, da se uslovi mogu pogoršati pri objedinjenoj analizi koja bi uzela u obzir dinamička i temperaturna ciklična opterećenja mosta. Najnepovoljniji je model 3 zbog izražene defleksije i poremećaja saosnosti centralne osovine.

Na prikazani način mogu se analizirati i drugi važni aspekti ove vrste obrade, kao na primer uticaj geometrije mosta i komore za svarivanje na radne pritiske u materijalu i samo svarivanje materijala, koje definiše kvalitet istisnutog profila. Prikazana metodologija pruža mogućnosti za primenu principa konkurentnog inženjeringa u ovoj oblasti, jer se mogu predvideti problemi i otkazi u proizvodnji i unaprediti kvalitet gotovog proizvoda kako bi bio konkurentan na tržištu.

ZAHVALNOST

Autori rada se zahvaljuju Prof. dr Paolo F. Bariani, direktoru DIMEG, Univerzitet Padova u Italiji, za korišćenje FORGE3 programa za 3D simulacije procesa i ustupanje rezultata eksperimentalnih istraživanja.

LITERATURA

- [1] Kim, K.J., Lee, C.H., Yang, D.Y.: Investigation into the improvement of welding strength in three-dimensional extrusion of tubes using porthole dies, *Journal of Materials Processing Technology* 130–131 (2002) 426–431.
- [2] Vaneker, T. H. J.: Development of an integrated Design Tool for Aluminum Extrusion Dies, Ph.D. Thesis, University Twente, 2001, Netherlands.
- [3] Donati, L., Tomesani, L., Giacomelli, V.: Evaluation Of A New FEM Criterion For Seam Welds Quality Prediction In Aluminum Extruded Profiles, ET 2004, The Conference for Innovations in Aluminum Extrusion, Extrusion Technology Seminar, (Orlando U.S.A.) 221-235 vol.II.
- [4] Mooi, H.G., Koenis, P.T.G., Huétink, J.: An effective split of flow and die deformation calculations of aluminium extrusion, *Jour. of Materials Processing Technology* 88 (1999) 67–76.
- [5] V. Mandić, M. Živković, S. Vulović, T. Marinković, FEM Analysis for the Extrusion Process of Tubes using Porthole Dies, *Journal for Technology of Plasticity*, Novi Sad, 2004, vol.29, No ½, pp. 35-43.
- [6] Marinkovic, T.: Influence of the configuration and position of the bridge in die for manufacture Al and Al-alloy profile by the direct extrusion process on the quality of welding area, Master Thesis (in Serbian), Mechanical Engineering Faculty, Nis, 1994.
- [7] Im, Y.T.: A computer-aided-design system for forming processes, *Journal of Materials Processing Technology*, 89-90 (1999), 1-7.
- [8] Kobayashi, S., Oh, S-I., Altan, T.: *Metal Forming and the Finite-Element Methods*, Oxford University Press, New York, 1989.
- [9] V. Mandić, S. Bruschi, T. Marinković, M. Zivković, M. Targa, FEM Simulation and Elasto-plastic Analysis of Porthole-die in Extrusion Hollow Section Aluminium Tubes, 8th ICTP, October 2005, Verona, Italy, pp. 207.
- [10] Zivkovic M., Slavkovic R., Kojic M., Grujovic N., Vukovic M., "Elastic-plastic analysis of spot-welded thin-walled structures", VIII International Conference on Computational Plasticity, COMPLAS VIII, CIMNE, Barcelona, 2005.
- [11] Kojić, M., Živković, M., Slavković, R., Grujović, N.: PAK - Finite Element Program for Linear and Nonlinear Structural Analysis and Heat Transfer, Faculty of Mechanical Engineering, University of Kragujevac, Serbia and Montenegro, 1996.



FAZE OBLIKOVANJA PRIPREMKA U PROCESU TOPLOG VALJANJA PRSTENA SLOŽENOG PRESEKA

I. Trbojević ¹⁾, M. Milutinović ²⁾, O. Lužanin ³⁾

Rezime: U radu se razmatra metodologija definisanja faza oblikovanja priprema u procesu toplog radijalnog valjanje prstena složenog preseka, na primeru spoljašnjeg prstena valjkastog kotrljajnog ležaja. Izrada pripremnog prstena vrši se toplim kovanjem. Postavljena metodologija treba da posluži kao osnova za izradu odgovarajućeg softvera za automatsko projektovanje operacija izrade priprema za radijalno valjanje prstena.

Ključne reči: prsten, valjanje, priprema, kovanje

FORMING PHASES OF BILLET FOR HOT RING ROLLING WITH VARIABLE CROSS SECTION

Abstract: Discussed in this paper is process planning methodology for billet forming during hot radial rolling of rings with variable cross section. As an example, the outer ring of a barrel roller bearing was used. Ring billet is manufactured by hot forging. Based on the proposed methodology, a software is designed for automated process planning for manufacture of the billet for radial ring rolling.

Key words: ring, rolling, billet, forging

1. UVOD

Osnovna karakteristika prstenastih elemenata je mala neto zapremina u odnosu na gabaritne mere, što ukazuje na potrebu pažljivog izbora tehnologije, u cilju racionalizacije troškova materijala i vremena izrade.

Savremena proizvodnja prstenastih delova, u uslovima velikih serija i širokog asortimana oblika i dimenzija, posebno kada su u pitanju prstenovi kotrljajnih ležaja, ne može se zamisliti bez primene metoda obrade deformisanjem, pri čemu se u prvom redu misli na valjanje, (u toplom ili hladnom stanju), koje može da se izvodi u dve varijante: kao radijalno ili radijalno - aksijalno.

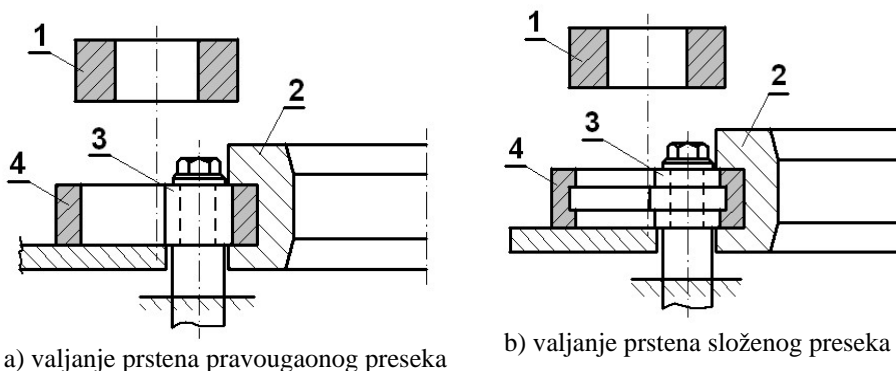
¹⁾ Ilija Trbojević, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, trbojev@uns.ns.ac.yu

²⁾ Mladimir Milutinović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija,
mladomil@uns.ns.ac.yu

³⁾ Ognjan Lužanin, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, luzanin@uns.ns.ac.yu

Ovde se razmatra varijanta toplog radijalnog valjanja prstena, šematski prikazanog na slici 1, gde pojedine pozicije predstavljaju:

- 1 - pripremni prsten,
- 2 - pritiski valjak,
- 3 - pomoćni valjak,
- 4 - izvaljan prsten.



Slika 1. Šematski prikaz radijalnog valjanja

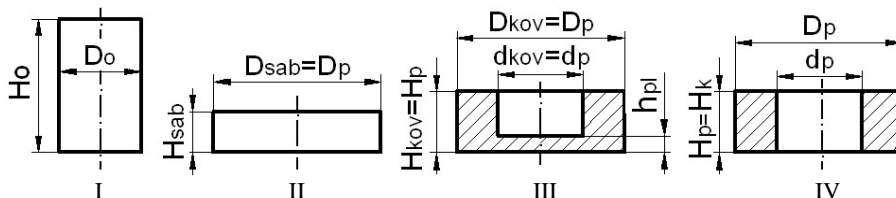
Razmatranje se odnosi na problem definisanja oblika i dimenzija priprema i to u opštem slučaju valjanja prstena složenog preseka, na primeru spoljašnjeg prstena valjkastog ležaja, sa izvaljanom trasom za kotrljajne elemente sa unutrašnje strane (slika 1b). Složenim se može smatrati svaki presek koji odstupa od pravougaonog oblika. Ista problematika razmatrana je u radu [1], ali za jednostavniji slučaj valjanja prstena pravougaonog preseka (slika 1a).

2. DEFINISANJE OBLIKA I DIMENZIJA PRIPREMKA PO FAZAMA OBLIKOVANJA

Za početak procesa valjanja potrebno je obezbediti polazni prsten – pripremak za valjanje, koji se izrađuje toplim kovanjem iz šipkastog materijala u više operacija, posle čega se, najčešće bez dodatnog zagrevanja, nastavlja proces valjanja.

Faze izrade pripremnog prstena prikazane su na slici 2, gde pojedine skice predstavljaju:

- I - odsecanje priprema za kovanje (D_o, H_o), posle čega sledi zagrevanje,
- II - slobodno sabijanje na prečnik pripremnog prstena ($D_{sab}=D_p, H_{sab}$),
- III - suprotnosmerno istiskivanje (kovanje) na unutrašnji prečnik pripremnog prstena (d_p) i potrebnu konačnu visinu ($H_p=H_k$),
- IV - odstranjivanje pločice (dna) probijanjem.



Slika 2. Faze izrade pripremnog prstena

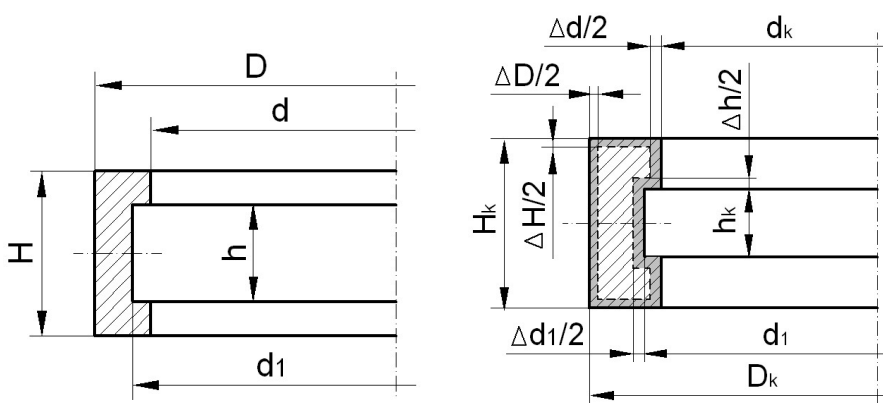
Oblik profila pripremnog prstena je pravougaon za sve finalne prstenove pravougaonog preseka, kao i za mnoge prstenove čiji je profil blizak pravougaonom, što je slučaj i u ovom primeru. Za neke valjane prstenove znatno složenijeg preseka oblik pripremnog profila treba tehnološki uskladiti sa konačnim oblikom.

Dimenzije pripremnog prstena zavise od krajnje veličine prstena i dozvoljene deformacije pri valjanju, uzimajući u obzir da se kod radijalnog valjanja visina prstena tokom procesa ne menja - samo se smanjuje debljina zida, sa eventualnim utiskivanjem odgovarajuće gravure (kao na sl. 1b), uz istovremeno povećavanje prečnika.

U nastavku se daje postupak određivanja oblika i dimenzija pripremk, kroz navedeni primer spoljašnjeg prstena jednoredeg valjkastog ležaja.

2.1 Definisane oblika, dimenzija i zapremine prstena posle valjanja

Primer spoljašnjeg prstena jednoredeg valjkastog ležaja sa strugarskim merama dat je na slici 3. Na osnovu crteža gotovog prstena usvaja se oblik profila koji treba da se dobije valjanjem, u ovom slučaju sa konturom preseka koja po celom obimu prati konturu gotovog, obrađenog dela, prema slici 4.



Slika 3. Primer profila gotovog prstena Slika 4. Profil prstena dobijen valjanjem

Konačan oblik profila definiše se tako što se sve strugarske mere profila uvećavaju za dodatke za obradu (ΔD , Δd , ΔH , Δh , Δd_1). U odnosu na čisto pravougaoni, ovakav profil obezbeđuje bolje iskorišćenje materijala uz nešto složeniji alat.

Dodaci za obradu ΔD , Δd , ΔH , Δh , Δd_1 , (kao i tolerancije T_D , T_d , T_H , T_h , T_{d1}), pri radijalnom valjanju određuju se na osnovu orijentacionih podataka datih u radu [1], (tabela 1).

Konačne dimenzije prstena posle valjanja su, prema slici 4:

$$\text{Spoljašnji prečnik: } D_k = D + \Delta D \quad (1)$$

$$\text{Unutrašnji prečnik: } d_k = d - \Delta d \quad (2)$$

$$\text{Visina: } H_k = H + \Delta H \quad (3)$$

$$\text{Prečnik žljeba: } d_{1k} = d_1 - \Delta d_1 \quad (4)$$

$$\text{Širina žljeba: } h_k = h - \Delta h \quad (5)$$

Prečnik težišta preseka za složeni profil u opštem slučaju računa se prema:

$$D_{Tk} = 2R_{Tk} = 2 \frac{\sum A_i R_{Ti}}{\sum A_i} = 2 \frac{A_1 R_{T1} + A_2 R_{T2} + \dots + A_i R_{Ti}}{A_1 + A_2 + \dots + A_i} \quad (6)$$

gde su: A_1, A_2, \dots, A_i – površine pojedinih delova složenog preseka,

$R_{T1}, R_{T2}, \dots, R_{Ti}$ – rastojanja težišta pojedinih delova preseka od ose prstena.

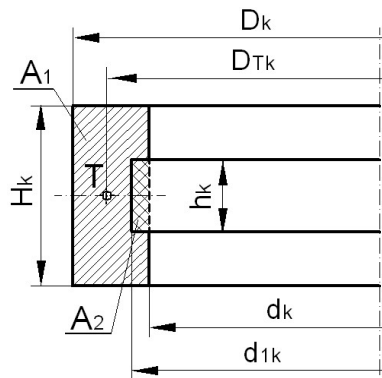
Za konkretan primer prema slici 5 površine pojedinih segmenata preseka su:

$$A_1 = \frac{D_k - d_k}{2} H_k \quad (7)$$

$$A_2 = -\frac{d_{1k} - d_k}{2} h_k \quad (8)$$

pa je ukupna površina preseka za ovaj primer:

$$A_k = \sum A_i = A_1 + A_2 = \frac{1}{2} [(D_k - d_k)H_k - (d_{1k} - d_k)h_k] \quad (9)$$



Slika 5. Težište preseka za prsten složenog profila

Rastojanja težišta pojedinih segmenata preseka od ose prstena su:

$$R_{T1} = \frac{D_k + d_k}{4} \quad (10)$$

$$R_{T2} = \frac{d_{1k} + d_k}{4} \quad (11)$$

Ubacivanjem u izraz (6) i sređivanjem dobija se prečnik težišta:

$$D_{Tk} = \frac{(D_k^2 - d_k^2)H_k - (d_{1k}^2 - d_k^2)h_k}{2(D_k - d_k)H_k - (d_{1k} - d_k)h_k} \quad (12)$$

Zapremina prstena posle sređivanja dobija se u obliku:

$$V_k = \pi D_{Tk} A_k = \frac{\pi}{4} (D_k^2 - d_k^2)H_k - (d_{1k}^2 - d_k^2)h_k \quad (13)$$

2.2 Određivanje dimenzija prstena pre valjanja - priprema za valjanje

Za određivanje dimenzija priprema za valjanje D_p, d_p, H_p (slika 2-IV), polazi se od dimenzija prstena na kraju valjanja i podatka o dozvoljenoj deformaciji izraženoj koeficijentom smanjenja preseka (K_v), čija vrednost se usvaja na osnovu odgovarajućih iskustvenih preporuka datih u radu [1], (tabela 2).

Dimenzije prstena pre valjanja su, prema slici 2-IV:

$$\text{Visina: } H_p = H_k \quad (14)$$

$$\text{Srednjiprečnik: } D_{srp} = D_{Tp} = \frac{D_{Tk}}{K_v} \quad (15)$$

$$\text{Debljina zida prstena: } s_p = \frac{A_p}{H_p} = \frac{K_v A_k}{H_p} \quad (16)$$

$$\text{Unutrašnji prečnik: } d_p = D_{srp} - s_p \quad (17)$$

$$\text{Spoljašnji prečnik: } D_p = \sqrt{\frac{4V_k}{\pi H_p} + d_p^2} \quad (18)$$

2.3 Oblik i dimenzije otkovka

Definisanje oblika i dimenzija otkovka potrebno je radi određivanja dimenzija i zapremine središnje pločice, koja se posle kovanja uklanja probijanjem i predstavlja gubitak materijala. Krajnji oblik i veličina otkovka identični su prstenu pre valjanja, sa dodatkom središnje pločice.

Prema oznakama na slici 2-III konačne dimenzije otkovka su:

$$\text{Spoljašnji prečnik: } D_{kov} = D_p \quad (19)$$

$$\text{Unutrašnji prečnik: } d_{kov} = d_p \quad (20)$$

$$\text{Visina: } H_{kov} = H_p \quad (21)$$

Debljina pločice (h_{pl}) računa se prema empirijskom izrazu [6]:

$$h_{pl} = 0.1 d_{kov} + 2 \text{ [mm]} \quad (22)$$

Položaj pločice duž ose otvora na otkovku (slika 2-III) zavisi od odnosa visine i unutrašnjeg prečnika (H_{kov}/d_{kov}) [3]. Obično se nalazi na sredini ili na dnu otkovka i to:

$$\text{- za odnos: } H_{kov}/d_{kov} = 0.667 \dots 2.0 \text{ - pločica je na dnu,} \quad (23)$$

$$\text{- za odnos: } H_{kov}/d_{kov} = 2.0 \dots 4.0 \text{ - pločica je u sredini.} \quad (24)$$

2.4 Određivanje zapremine i dimenzija priprema za kovanje

Zapremina priprema V_o dobija se na osnovu zapremine gotovog izvaljanog prstena, uvećane za gubitke materijala u toku kovanja i valjanja u koje spada:

- deo površinskog sloja koji se pretvara u oksid usled zagrevanja i
- deo koji otpada u vidu pločice pri probijanju otkovka.

Zapremina priprema (V_o) računa se prema izrazu:

$$V_o = \kappa (V_k + V_{pl}) \quad (25)$$

gde su: κ - koeficijent povećanja zapremine zbog sagorevanja površinskog sloja:

$$\kappa = 1.0070 \text{ - za zagrevanje u elektropečima,}$$

$$\kappa = 1.0015 \text{ - za zagrevanje u plamenim pečima,}$$

V_k - zapremina prstena na kraju valjanja (slika 2-IV),

V_{pl} - zapremina pločice (slika 2-III).

Zapremina prstena definisana je izrazom (13), dok je zapremina pločice:

$$V_{pl} = \frac{d_p^2 \pi}{4} h_{pl} \quad (26)$$

Dimenzije priprema određuju se na osnovu izračunate zapremine (V_o) i dozvoljenog odnosa visine i prečnika (H_o / D_o), koji se za kružni presek kreće u granicama [4]:

$$\frac{H_o}{D_o} = C_H = 0,8 \dots 2,5 \quad (27)$$

Preporučuju se srednje vrednosti C_H sa tendencijom ka većim vrednostima, koje daju manje prečnike i veću visinu priprema.

Prečnik priprema se izračunava iz:

$$D_o = \sqrt[3]{\frac{4V_o}{\pi C_H}} \quad (28)$$

Dobijeni prečnik zaokružuje se na najbližu standardnu vrednost, sa kojom se izračunava potrebna visina priprema:

$$H_o = \frac{4V_o}{D_o^2 \pi} \quad (29)$$

3. ZAKLJUČAK

U radu je prikazana metodologija određivanja faza oblikovanja priprema za toplo radijalno valjanje prstena složenog preseka, na primeru spoljašnjeg prstena valjkastog kotrljajnog ležaja.

Postavljena procedura predstavlja osnovu za izradu odgovarajućeg softvera koji treba da omogući automatsko projektovanje faza izrade priprema za radijalno valjanje prstena složenog preseka.

Procedura je data uopšteno i može se primeniti na brojne primere prstenova drugačijih složenih profila.

Napomena

Rezultati prikazani u ovom radu deo su rezultata istraživanja na projektu "Istraživanje, razvoj i primena NEAR NET SHAPE FORMING tehnologije u proizvodnji elemenata kotrljajnih ležaja i karadna", koji finansira Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije, evid. broj TR 6333 B.

LITERATURA

- [1] Trbojević I., Milutinović M., Vilotić D., Plančak M., Skakun P., Čupković D., Lužanin O.: Definisane pripreme za izradu toplovaljanih prstenova za kotrljajne ležaje, 30. SPM SCG, 327 – 334, Vrnjačka Banja, septembar 2006.
- [2] Мансуров, А. М.: Технология горячей штамповки, Москва, 1971.
- [3] Herold, G., Herold, K., Schwager, A.: Massivumformung, Berlin, 1974.
- [4] Metals Handbook, Vol. 5, Part A, Forging, American society for Metals, Metals Park Ohio, 1970.
- [5] Суворов, И. К.: Обработка металла давлением, Москва, 1980.
- [6] Prospektni materijal firme HATEBUR, SRN, 2002.



SIMULACIJA PROCESA KOMBINOVANOG HLADNOG ISTISKIVANJA

M. Milutinović ¹⁾, Đ. Čupković ²⁾, D. Vilotić ³⁾, T. Pepelnjak ⁴⁾

Rezime: Savremeni način projektovanja procesa obrade metala deformisanjem nezamisliv je bez primene računara i odgovarajućih software-skih paketa namenjenih za simulaciju i proračun parametara procesa. Većina ovih simulacija bazira na primeni MKE, a njihov značaj ne ogleda se samo u činjenici da olakšavaju i ubrzavaju postupke projektovanja procesa i konstrukcije alata, već istovremeno obezbeđuju njihovu optimizaciju, doprinose poboljšanju kvaliteta i tačnosti gotovog proizvoda uz istovremeno smanjivanje troškova proizvodnje, pomažu razvoj novih postupaka itd. Jedan od takvih softvera jeste i programski paket ABAQUS. Baziran na primeni MKE, ovaj software predstavlja moćan inženjerski alat pomoću koga se može rešavati čitav niz problema počev od jednostavnijih linearnih pa sve do veoma kompleksnih nelinearnih problema. U ovom radu programski paket ABAQUS primenjen je za analizu procesa izrade dela oblika čaše sa spoljašnjim vencem kombinovanim postupkom suprotnosmernog i radijalnog istiskivanja.

Ključne reči: simulacija procesa, MKE, kombinovano istiskivanje

SIMULATION OF COMBINED COLD EXTRUSION PROCESS

Abstract: Application of computer based techniques, has led to the significant changes in metal forming industry, which we are every day witnesses. Process simulation enables not only simplification and acceleration of the process and tool design, but also provides the process improvement and development of new procedures, better material utilization, increase in quality of final part together with reduction of the total manufacturing cost, etc. FE based program package ABAQUS is a powerful engineering tool which is widely used for solving different types of problems both linear and non-linear. In this paper process of cold extrusion of a part for car industry is analyzed by ABAQUS program package. The manufacturing process consists of two stages: backward can extrusion and radial extrusion.

Key words: Process simulation, FE analyze, combined cold extrusion

¹⁾ Mladimir Milutinović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, mladomil@uns.ns.ac.yu

²⁾ Đorđe Čupković, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

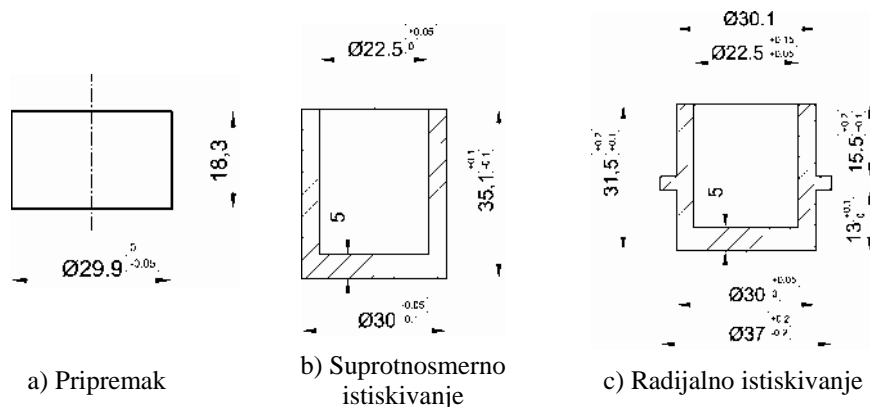
³⁾ Dragiša Vilotić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

⁴⁾ Tomaž Pepelnjak, Mašinski fakultet u Ljubljani, Slovenia

1. UVOD

Permanentni rast cena sirovina zajedno sa njihovim ograničenim rezervama primorala je većinu industrijskih proizvođača da zadnjih godina pristupe reviziji svojih dotadašnjih proizvodnih postupaka, kao i pronalaženju alternativnih metoda u odnosu na tradicionalne, kako bi se postiglo što bolje iskorišćenje materijala, tj. povećala efikasnost celokupnog postupka. Uspešna realizacija ovog složenog zadatka u velikoj meri bila je olakšana razvojem računarske tehnike i primenom odgovarajućih CAE programskih paketa. CAE programski paketi omogućavaju projektovanje celokupnog procesa obrade i simultanu analizu više različitih opcija, pri čemu uzimaju u razmatranje veliki broj uticajnih faktora, tako da se na veoma lak, brz i jeftin način dolazi do optimalnog rešenja. Kada su u pitanju savremeni postupci projektovanja procesa obrade metala deformisanjem oni se danas ne mogu zamisliti bez primene CAE, odnosno, simulacija baziranih većinom na primeni MKE, pomoću kojih je moguće vizuelno pratiti sam process deformisanja. Putem ovih simulacija ne samo da se olakšava i ubrzava projektovanje tehnološkog postupka izrade dela, već njihova integracija sa ostalim CAx aplikacijama omogućava optimizaciju i ostalih faza u procesu proizvodnje, počev od razvoja prizvoda, konstrukcije alata, izbora opreme itd.

U okviru ovoga rada biće prikazana simulacija procesa izrade dela datog na sl.1c. (element transmissionnog sistema jednog automobila) koji se izrađuje tehnologijom hladnog istiskivanja. Hladno istiskivanje predstavlja jednu od osnovnih metoda NNSF kojom se dobijaju ugradbeno gotovi delovi povećanih mehaničkih osobina i postižu značajni tehnno-ekonomski efekti. Komparativna analiza tehnoloških postupaka izrade dela prikazanog na sl.1c, pokazala je da tehnologija hladnog istiskivanja omogućava uštedu materijala od čak 50% u odnosu na klasičan postupak izrade rezanjem iz punog komada. Međutim, da bi se ostvarili svi pozitivni efekti koje tehnologija hladno istiskivanje pruža neophodno je sprovesti čitav niz aktivnosti. To pre svega podrazumeva sprovođenje detaljne analize celokupnog proizvodnog procesa i rešavanje mnogobrojnih tehničko-tehnoloških zadataka kao što su dizajn i tehnološki konstrukcije gotovog dela, određivanje geometrije priprema, izbor optimalnih parametara procesa, konstrukcija alata, itd.



Slika 1. Geometrija obratka po fazama obrade

Za simulaciju procesa izrade razmatranog dela korišćen je programski paket ABAQUS, o kome će više reči biti u nastavku rada. Razmatrajući više varijanti i vodeći

se tehno-ekonomskim kriterijumima, zaključeno je da je deo optimalno izraditi u dve faze-operacije. U prvoj operaciji suprotnosmernim istiskivanjem dobija se obradak u obliku čaše, dok se u drugoj operaciji sabijanjem, odnosno, radijalnim istiskivanjem formira središnji venac na obratku. Na slici 1 prikazana je geometrija priprema po fazama obrade.

2. ANALIZA PROCESA DEFORMISANJA PRIMENOM MKE I PROGRAMA ABAQUS

Metod konačnih elemenata je danas najopštiji numerički metod, koji se primenjuje u gotovo svim oblastima nauke, a posebno u inženjerskim oblastima. Osnovna karakteristika metode konačnih elemenata, koja je postavlja ispred drugih metoda, jeste njena opštost. MKE se primenjuje u oblasti solida, fluida, provođenja toplote i uopšte na probleme fizičkih veličina. Pogodna je za rešavanje linearnih i nelinearnih problema.

ABAQUS predstavlja moćan inženjerski alat, baziran na metodi konačnih elemenata, kojim se mogu analizirati jednostavni linearni i veoma kompleksni nelinearni problemi. ABAQUS poseduje proširivu biblioteku elemenata kojima se može virtuelno modelirati bilo koja geometrija. Isto tako poseduje proširivu biblioteku modela materijala kojima se može simulirati većina inženjerskih materijala kao što su: čelik, guma, polimeri, kompoziti, beton, pena i drugo. ABAQUS je projektovan kao opšti alat za analizu metodom konačnih elemenata strukturalnih problema (naponi/pomeranja), prenosa toplote i mase, akustike, termičkih problema u elektronici, mehanike fluida, piezoelektrične efekte itd. Ono što ABAQUS posebno izdvaja od sličnih programa jeste veoma razvijena podrška za analizu nelinearnih problema kao što su procesi deformisanja. Kompletna ABAQUS analiza se obično sastoji iz tri faze:

- preprocesiranje
- procesiranje
- postprocesiranje

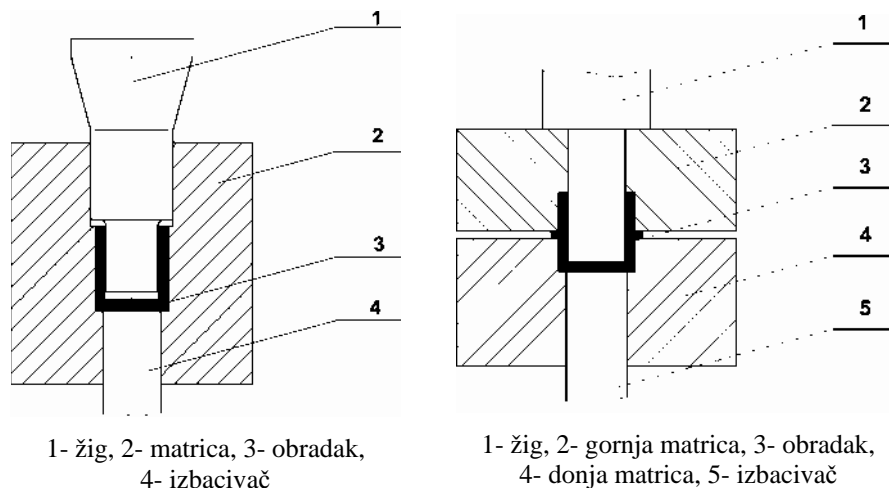
U fazi preprocesiranja definiše se virtuelni model fizičkog problema i kreira ABAQUS input datoteka. Model se obično formira grafički pomoću modula ABAQUS/CAE ili nekog drugog preprocesora. Postoje posebni dodaci za većinu poznatih CAD paketa kao što su CATIA i UNIGRAPHICS tako da se ABAQUS lako integriše u celokupno rešenje sistema za projektovanje.

Procesiranje ili simulacija, je faza u kojoj ABAQUS/Standard ili ABAQUS/Explicit izračunavaju numerički zadat problem definisan virtuelnim modelom. Primeri izlaznih veličina su naponi i pomeranja koji se zapisuju u binarnu datoteku u obliku spremnom za postprocesiranje.

Postprocesiranje (ABAQUS/Viewer). Ovim modulom programa mogu se analizirati rezultati simulacije koji su zapisani u binarnu datoteku. ABAQUS/Viewer može da čita binarnu datoteku i poseduje mnogo opcija za pregled i štampu rezultata u obliku deformisanog modela, dijagrama ključnih veličina (npr. sila u funkciji hoda alata), distribucije napona u obratku (modelu), distribucije deformacija, animacije procesa.

Virtuelni model za simulaciju i analizu razmatranog postupka urađen je u ABAQUS/CAE modulu. Formiran je jedinstveni model koji objedinjuje obe faze procesa kombinovanog istiskivanja (suprotnosmerno i radijalno). Principijelne šeme obe

faze date su na slici 2, dok su geometrija i dimenzije obraka-modela dati na slici 1. Materijal obratka je bio Č1221, dok je uticaj kontaktnog trenja razmatran preko koeficijenta trenja koji je iznosio $\mu = 0.12$ (podmazivanje mašinskim uljem). Sam obradak bio je podeljen u nekoliko zona koje su se međusobno razlikovale po veličini i broju elemenata. Ukupan broj elemenata iznosio je 640, a broj čvorova 710.



a) Šema procesa suprotnosmernog istiskivanja

b) Šema procesa radijalnog istiskivanja

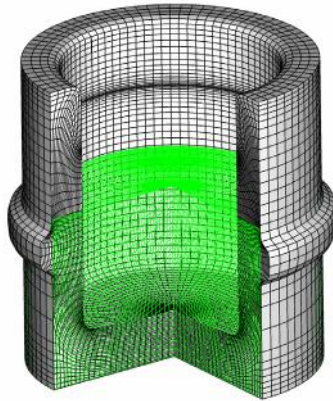
Slika 2. Faze procesa kombinovanog istiskivanja

3. REZULTATI SIMULACIJE

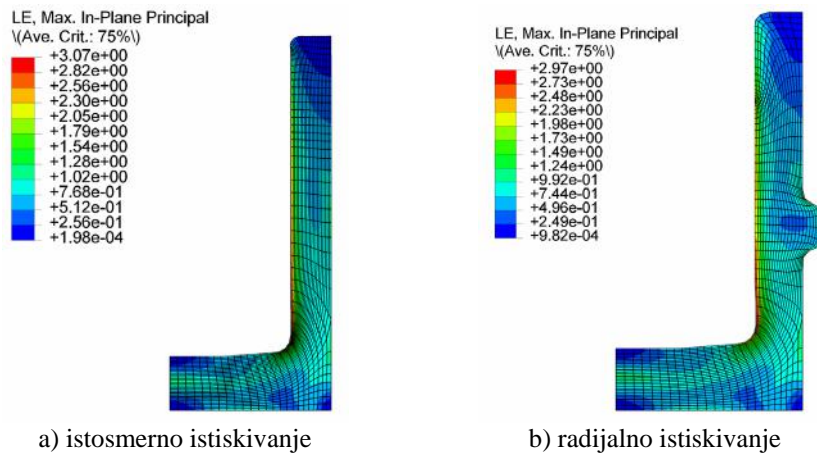
Deo dobijen simulacijom prikazan je na slici 3. Simulacija procesa odgovarala je realnom procesu proizvodnje što znači da se odvijala u dve faze, s tim da je sama simulacija tekla kontinualno. U prvoj fazi simuliran je proces suprotnosmernog istiskivanja pri čemu je dobijen deo u obliku čaše (slika 1.b), dok je u nastavku simulacije formiran konačni oblik dela (slika 1.c). Rezultati simulacije su pokazali da se je moguće izvesti istovremeno obe operacije u okviru jednog alata. Međutim, u praksi takvu konstrukciju alata jako teško je izvesti, a sam proces bio bi veoma osetljiv na netačnosti vezane za dimenzije priprema.

Ono što prvo pada u oči u analizi dobijenih rezultata jeste nehomogenost procesa deformisanjaraspodela. Kao što se slike 4 vidi raspored logaritamskih (efektivnih deformacija) po zapremini obratka je veoma neravnomeran. Materijal je više deformaciono ojačao na unutrašnjoj strani (do žiga) nego na spoljašnjoj strani (do matrice). Na samom vrhu obratka postoji materijal koji nije deformaciono ojačao. Ovaj region se stoga lakše deformiše u radijalnom pravcu. Nakon procesa radijalnog istiskivanja vrh obratka ostaje i dalje neojačan jer je samo kruto prenosio pritisak (slika 4.b).

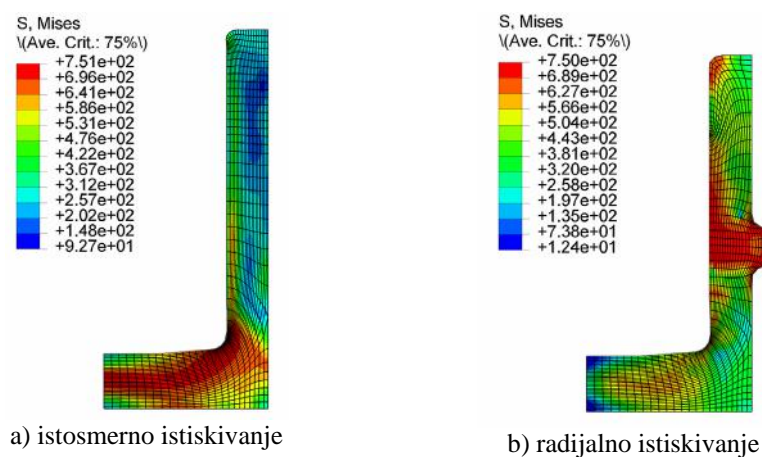
Efektivni napon je najveći u oblasti intenzivnog tečenja materijala. Najveće vrednosti su na spoljašnjem prečniku žiga gde tečenje materijala prelazi iz sabijanja u suprotnosmerno istiskivanje u prvoj fazi (slika 5.a), odnosno, na usko koncentrisanoj zoni radajalnog istiskivanja u fazi 2. (slika 5.b)



Slika 3. Prikaz dobijenog dela u ABAQUS/Viewer



Slika 4. Raspodela efektivnih deformacija po zapremini obratka



Slika 5. Raspored efektivnih napona po zapremini obratka

4. ZAKLJUČAK

U radu je simularan proces kombinovanog istiskivanja koji se satojao od dve faze. U prvoj fazi suprotnosmernim istiskivanjem dobijen je deo u obliku čašice, dok je u drugoj fazi radijalnim istiskivanjem formiran venac u centralnoj zoni obratka. Simulacija je izvedena korišćenjem programskog paketa ABAQUS i pokazala da je u potpunosti moguće dobiti zahtevanu geometriju dela bez pojave pukotina ili drugih oštećenja. Proces karakteriše velika neravnomernost naponsko-deformacionog stanja po zapremini obratka. Najveća koncentracija napona je u unutrašnjoj zoni na mestima prelaska dna u zidove obratka.

Napomena

Rezultati prikazani u ovom radu deo su bilateralnog projekta **“Primena simulacionih metoda u optimizaciji savremenih proizvodnih sistema”** koji se realizuje u okviru međuvladinog programa naučno-tehnološke saradnje između Republike Srbije Republike Slovenije u periodu 2006-2007.

LITERATURA

1. *Pepelnjak T., Gantar G., Kuzman K.*: Numerical simulation in optimisation of product and forming process, *Journal of Materials Processing Technology* 115, 122-126, 2001
2. *Čupković Đ.* : Prilog istraživanju procesa dvostrukog suprotnosmernog istiskivanja. Magistarski rad, 2005.
3. *Analysis User Manual*: ABAQUS Documentation, ABAQUS Inc. 2003
4. *Elaborat*: Tehnološki postupak izrade čepa (vkm28500/2). Elaborat u okviru projekata "Istraživanje, razvoj i primena NEAR NET SHAPE FORMING tehnologije u proizvodnji elemenata kotrljajnih ležaja i kardana - TR 6333B“



UTICAJ KONTAKTNOG TRENJA NA POJAVU DEFEKATA PRI OBLIKOVANJU CIJEVNIH PRIPREMAKA

B. Mišić ¹⁾, V. Pejić ²⁾, V. Mandić ³⁾

Rezime: U radu je prezentiran uticaj kontaktnog trenja u procesu oblikovanja cijevnih priprema, izrađenih od čeličnih šavnih cijevi, postupkom kombinovanog proširivanja i sužavanja. Eksperimentalnim istraživanjima su utvrđeni uticajni parametri procesa na stabilnost i pojavu defekata: uslovi kontaktnog trenja i geometrijski parametri priprema – spoljašnji prečnik, visina i debljina zida cijevi. U cilju određivanja parametara kontaktnog trenja primijenjena je standardna RING TEST metoda, uz korišćenje dvije vrste maziva. Primjenom cijevnih priprema sa hemijskom pripremom dobijeni su obradci bez defekata i sa zahtijevanom dimenzionom tačnošću. Eksperimentalni rezultati su potvrđeni numeričkom FEM simulacijom.

Ključne riječi: kontaktno trenje, RING TEST, oblikovanje cijevi, FEM simulacija

UTICAJ KONTAKTNOG TRENJA NA POJAVU DEFEKATA PRI OBLIKOVANJU CIJEVNIH PRIPREMAKA

Abstract: The paper deals with influence of contact friction for seam welded tube forming process, by procedure of combined expansion and narrowing. Experimental investigations determined influential parameters for stability and defects appearance at the process: contact friction conditions and geometrical parameters of the specimen – outer diameter, height and tube wall thickness. In order to determine contact friction parameters, standard RING TEST method was used with application of two types of lubricants. Specimens without defects and with demanded dimensional precision were obtained by application of tubular specimen that had been chemically treated. Experimental results were confirmed by numerical FEM simulation.

Keywords: contact friction, RING TEST, tube forming, FEM simulation

1. UVOD

Na plastično deformisanje materijala i iznos deformacione sile, pored oblika izratka i mehaničkih svojstava materijala, velik uticaj ima kontaktno trenje. Taj uticaj se ogleda u mikrostrukturnim promjenama materijala, habanju alata i povećanju energije za deformisanje.

¹⁾ Dr Boško Mišić, Saobraćajno-tehnički fakultet Doboj, misicb@doboj.net

²⁾ Vlastimir Pejić, Saobraćajno-tehnički fakultet Doboj, pejic@vts-doboj.net

³⁾ Dr Vesna Mandić, Mašinski fakultet Kragujevac, mandic@kg.ac.yu

Cilj istraživanja, prikazanih u radu, je da se definišu uslovi kontaktnog trenja pri oblikovanju cijevnih pripremak, izrađenih iz čeličnih šavnih cijevi, koji će obezbijediti stabilnost procesa i dobijanje obradaka bez defekata sa zahtijevanom dimenzionom tašnošću [1]. Primjenjena je metoda kombinovanog sužavanja i proširivanja priprema, u jednoj fazi procesa, u dvodelnom alata montiranom na hidrauličnu presu. Alat se sastoji iz dvije oblikujuće kalote, izrađene od tvrdog metala u kućištu od konstrukcionog čelika, sa gravurom koja odgovara obliku i dimenzijama izratka, prikazanog na slici 1. Treba napomenuti da su eksperimentalna oblikovanja izvedena na primjeru izratka koji je imao definisanu namjenu, tako da nije bilo moguće mijenjati geometrijske parametre obratka, odnosno dimenzione veličine.



Slika 1. Cijevni pripremak, gotov deo, i cevni obradak, fizički model i FE model

U svim eksperimentima sa primjenom mašinskog ulja kao maziva, došlo je do pojave defekata, usled nepopunjavanja ili prepunjavanja gravure alata (v.sl.2). Ni promjenom geometrijskih parametara priprema, nije došlo do potpune eliminacije tih defekata, tako da je zaključeno da kontaktno trenje ima odlučujući uticaj na stabilnost procesa i pojavu defekata. Eksperimentalni rezultati su potvrđeni FEM simulacijom, korišćenjem softvera CAMform 2D [2,3,4].



Slika 2. Defektni cijevni elementi, fizički modeli i FE model

Eksperimenti izvedeni na pripremcima sa hemijski pripremljenom površinom su dali poboljšane rezultate i ovdje se definisao uticaj kontaktnog trenja na tok procesa, odnosno na veličinu sile deformisanja. U cilju određivanja pokazatelja kontaktnog trenja, u slučaju primjene dva maziva, primjenjena je RING TEST metoda. Za tačnost rezultata numeričke FE simulacije veoma je važno što preciznije definisati parameter simulacije, a posebno one koji se odnose na kontaktno trenje. U primjenjenom softveru kontaktno trenje se opisuje zakonom konstantnog trenja, pa je bilo neophodno odrediti factor trenja m .

2. ODREĐIVANJE POKAZATELJA KONTAKTNOG TRENJA

Jedna od najšire primjenjivanih metoda za određivanje faktora trenja je metoda slobodnog sabijanja prstena (*ring test*). Originalno je zamišljena kao metoda za

poređenje uslova podmazivanja u procesima hladnog istiskivanja. Metoda je poznata po Njemačkom istraživaču pod nazivom *Burgdorf-ova metoda*.

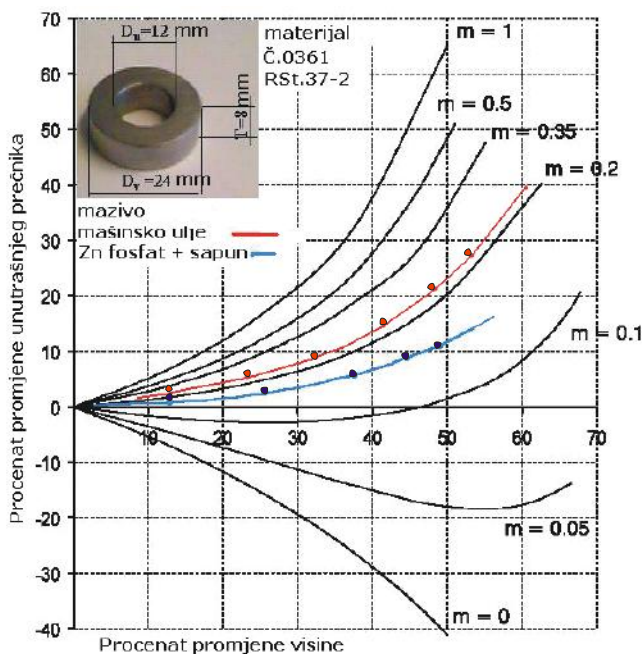
Metoda se sastoji u praćenju promjena unutrašnjeg prečnika prstena, koji se sabija, a za koje se smatra da predstavljaju mjeru osjetljivosti na djelujuće kontaktno trenje. Grafička zavisnost između deformacije visine i deformacije unutrašnjeg prečnika, pri različitim uticajima trenja, daje kalibracione krive, na osnovu kojih se lako određuje vrijednost koeficijenta/faktora trenja. Mnogi su autori radili na utvrđivanju ovih krivih, primjenom različitih metoda teorije plastičnosti, i u posljednje vrijeme numeričkim metodama (UBET, FEM). Ove posljednje se smatraju najpouzdanijim, s obzirom da uzimaju u obzir i ponašanje materijala pri njegovom deformisanju [5].

Pripremljeni su inicijalni prstenovi 6:3:2, od čelika Č0361, od kojih su izrađene i cijevni pripreмки. Uslovi kontaktnog trenja su varirani primjenom dva maziva: mašinsko ulje SAE30 i hemijska priprema, po preporučenom hemijskom tretmanu. Na slici 3 prikazani su inicijalni prstenovi, kao i prstenovi nakon sabijanja. Sabijanje je izvedeno u pet faza, za koje su mjereni unutrašnji prečnik i visina uzorka.



Slika 3. Inicijalni prstenovi i njihov oblik nakon sabijanja

Ekperimentalni rezultati sabijanja prstenova prikazani su na kalibracionim krivim, prikazanim na slici 4. Očitane vrijednosti faktora trenja $m=0.225$ za nauljene kontaktne površine, i ($m=0.164$) za hemijski pripremljenu površinu pripreмки, što odgovara vrijednostima koeficijenta trenja $\mu=0.13$ i $\mu=0.095$, respektivno.



Slika 4. Kalibracione krive 6:3:2 i ekperimentalni rezultati

Koeficijent/faktor trenja u uslovima plastične prerade ne odražava realnu fiziku procesa ali se široko primjenjuje kao oblik ocjene kontaktnog trenja. On zavisi od: stanja dodirnih površina, prirode čestica podmazujućeg sredstva, temperature dodirne površine, brzine klizanja, stvarne veličine dodirne površine, načina nanošenja maziva itd.

3. NUMERIČKA FE SIMULACIJA SLOBODNOG SABIJANJA PRSTENA

Rezultati numeričkih eksperimenata veoma zavise od graničnih uslova koji se između ostalog odnose i na kontaktno trenje. Kod deformisanja izradaka koji su predmet istraživanja, kontaktno trenje u pojedinim fazama ima svoju reaktivnu, a u drugim aktivnu ulogu. Objašnjenje ovoga je u tome da nema završnog deformisanja bez aksijalne nestabilnosti koju uzrokuje sila sužavanja preko kontaktnog trenja sa alata na obradak.

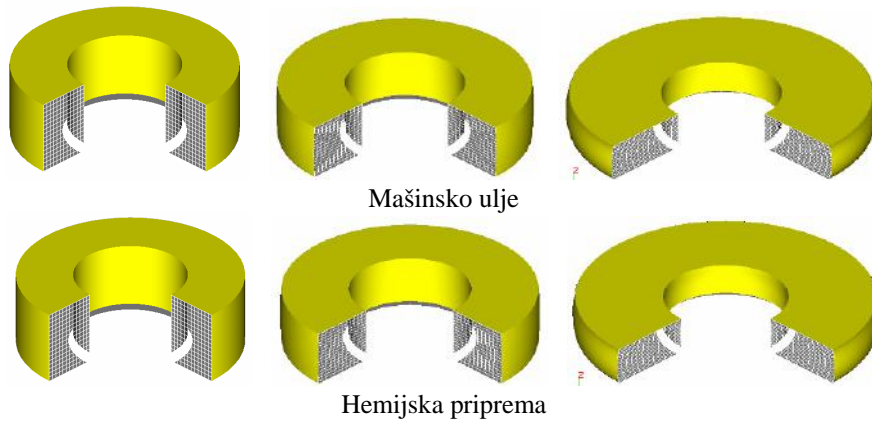
U CAMPform 2D softveru urađena je FE simulacija RING test metode. Cilj simulacije je da se izvrši provjera matematičkog modela trenja kojim se matematički opisuje kontaktno trenje u ovom softveru. Ukoliko se potvrde eksperimentalni rezultati, model trenja odgovara realnim uslovima obrade, što je garancija validnosti rezultata FE simulacije procesa oblikovanja šavnih cevnih priprema. Ulazni podaci za simulaciju su prikazani u tabeli 1.

Tabela 1. Ulazni podaci za CAMPform simulaciju

1. Osobine materijala	Napon tečenja $\sigma = K \varepsilon^n \dot{\varepsilon}^m$	K (MPa)	677.0
		EkspONENT n	0.168
		EkspONENT m	0.0
2. Uslovi procesa	Brzina deformisanja (mm/s)	23	
	Numerički korak (s)	0.1	
3. Kontaktno trenje	Faktor trenja za mašinsko ulje	0.225	
	Faktor trenja za hemijsku pripremu	0.164	
4. Automatsko generisanje FE mreže	Veličina FE elemenata (mm)		
	Broj FE elemenata	196	
5. Parametri remeshing-a	Controla FE mreže	Veličina elemenata	
		Broj elemenata	200
	Maksimalni dozvoljeni ugao u elementu	160	

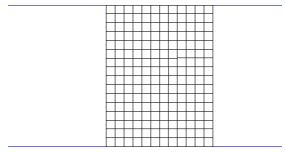
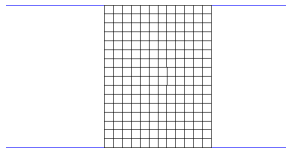
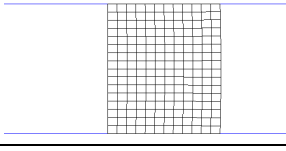
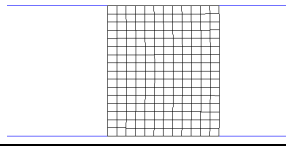
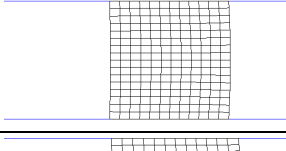
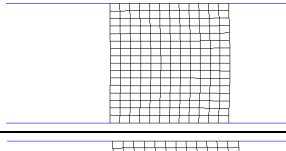
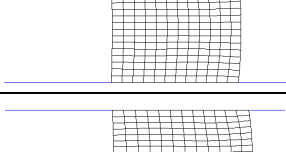
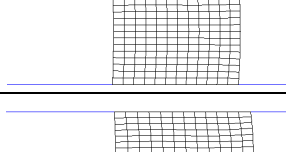
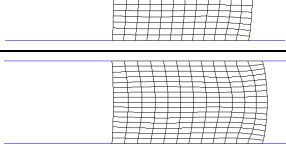
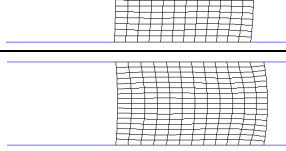
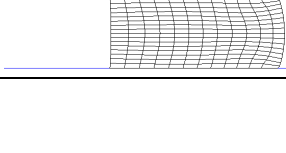
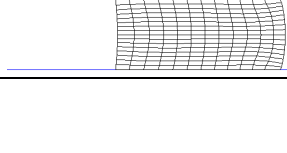


Rezultati FE simulacije su prikazani na slici 5, za oba primjenjena maziva. U uslovima lošijeg podmazivanja (mašinsko ulje) evidentna je manja deformacija unutrašnjeg prečnika nego pri primjeni hemijske pripreme prstena.

Na osnovu koordinata elemenata FE mreže na unutrašnjem prečniku prstena, u toku procesa sabijanja, i redukcija visine, može se proveriti položaj referentnih tačaka na kalibracionim krivim. U tabeli 2 prikazana je početna i deformisana FE mreža u meridijalnom presjeku prstena, u oba slučaja podmazivanja. Primjetna je zadovoljavajuća podudarnost eksperimentalnih i numeričkih rezultata.



Slika 5. Numerički FE modeli sabijenih prstenova

Tabela 2. FE simulacija slobodnog sabijanja prstena

Faza	Mašinsko ulje	Hemijska priprema
I		
II		
III		
IV		
V		
VI		
VII		

To praktično znači da numerički modeli sa zadovoljavajućom preciznošću reprezentuju realni proces, bilo da se radi o slobodnom sabijanju prstena ili oblikovanju cijevnih priprema.

U seriji "numeričkih eksperimenata" oblikovanja cijevnih priprema, sa variranjem geometrijskih parametara priprema i uslova kontaktnog trenja dobijeni su rezultati koji vjerno odslikavaju realni proces. U svim identičnim kombinacijama uticajnih parametara procesa došlo je do pojave defekata kako na numeričkim modelima tako i u eksperimentima. Konačno, dobar cijevni obradak je dobijen i numerički i eksperimentalno pri hemijskoj pripremi cijevnog priprema i dimenzijama $D_0=32\text{mm}$, $H_0=69\text{mm}$ i $s_0=2,33\text{mm}$.

4. ZAKLJUČCI

Na stabilnost procesa oblikovanja cijevnih priprema, osim geometrijskih parametara priprema, presudan uticaj imaju uslovi kontaktnog trenja. Na svim pripremcima koji su podmazivani mašinskim uljem došlo je do pojave defekata usljed nepopunjavanja ili prepunjavanja alata, što je rezultiralo u dimenzionoj nepreciznosti centralnog sfernog dijela obratka ili stvaranja nabora.

Defekti su eliminisani promjenom maziva, odnosno primjenom hemijskog tretmana na površinama priprema, sa definisanim geometrijskim parametrima koji daju dobar cijevni obradak. Svi eksperimentalni rezultati su potvrđeni numeričkom FE simulacijom.

RING TEST metodom su određene vrijednosti faktora trenja za oba slučaja podmazivanja. Sa tako definisanim ulaznim podacima i provjerenim matematičkim modelom trenja rezultati FE simulacija vjerno odslikavaju realni proces u svim uslovima obrade. Veličine faktora trenja (m) dobivene RING TEST metodom su verifikovane u rezultatima FE simulacije slobodnog sabijanja prstena.

I pored nastojanja da se dobiju izraci sa čistim površinama radi daljnje tehnološke operacije zavarivanja, s obzirom da cink fosfat stvara određene probleme, moralo se pristupiti hemijskom tretmanu površine, u cilju smanjenja uticaja kontaktnog trenja pri obradi.

LITERATURA

1. B. Mišić, Stabilnost procesa sužavanja izradaka iz čeličnih šavnih cijevi, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet u Banjoj Luci, 2004.
2. V. Mandić, Fizičko modeliranje i numerička simulacija kao osnova novog koncepta projektovanja alata za toplu zapreminsku obradu, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2002.
3. Y. T. Im, A computer-aided-design system for forming processes, Jour. of Mater. Proc. Tech, 89-90, (1999), pp. 1-7.
4. V. Mandić, B. Mišić, Stability of Steel Seam-welded Tubes Forming Process – Experimental and Numerical Investigations, 8th International Conference on Technology of Plasticity, ICTP Extended abstract, 09-13 October 2005, Verona, Italy, pp. 209.
5. V. Mandić, M. Stefanović, Friction studies utilizing the ring-compression test - Part I, Proc. 8th International Tribology Conference, Belgrade 2003, pp. 44-51.



ANALIZA PERTLOVANOG SPOJA PLAŠTA SILOSA

I. Trbojević¹⁾

Rezime: U radu se daje prikaz tehnologije izrade plašta silosa zavojnim namotavanjem čelične trake čije ivice se spajaju pertlovanjem, sa analizom opterećenja iz koje proizilazi predlog koncepcije ispitivanja pertlovanog spoja.

Ključne reči: silos, plašt, traka, savijanje, pertlovanje.

ANALYSIS OF A LACED JOINT ON SILO MANTLE

Abstract: Reviewed in this paper is the manufacturing technology for silo mantle with wound steel band whose edges are joined by lacing. Based on the analysis of loads, a testing methodology for the laced joint is proposed.

Key words: silo, mantle, band, bending, lacing

1. UVOD

Među brojnim varijantama gradnje silosa za žito posebno mesto zauzima tehnologija u kojoj se plašt silosa formira od čeličnog lima u vidu trake koja se odmotava iz bunta i kružno savija u vidu zavojnice na potreban prečnik, uz istovremeno spajanje zavojaka pertlovanjem (slika 1).

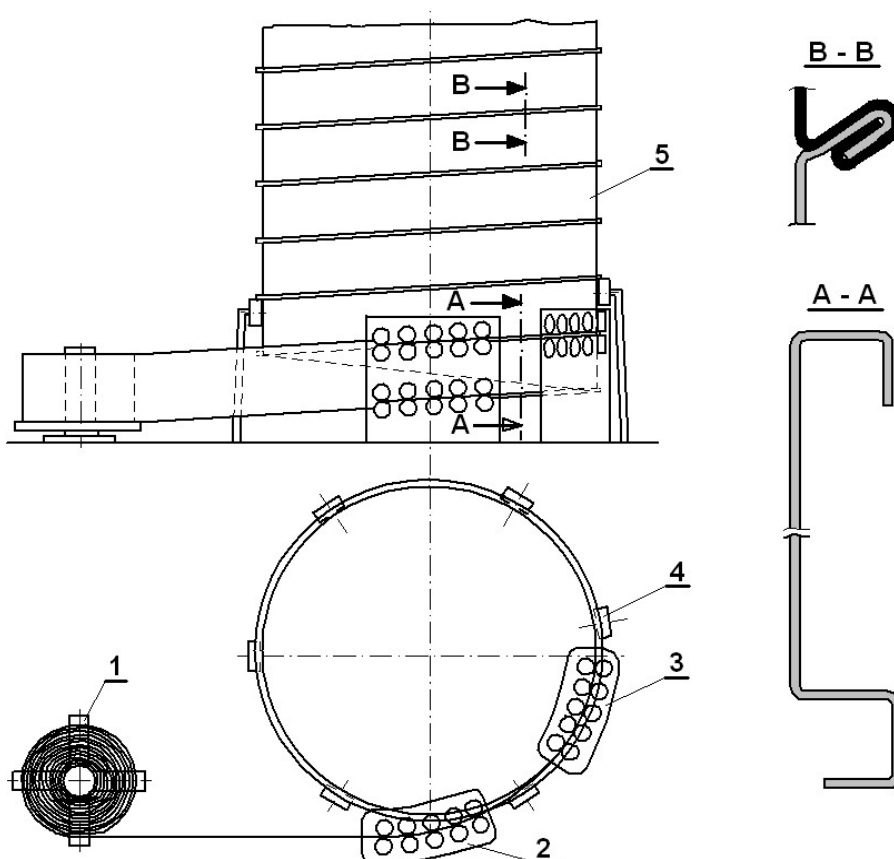
Izgradnja silosa praćena je obaveznom projektnom dokumentacijom, koja pored ostalog sadrži i statički proračun u kom se plašt tretira kao kompaktna i čvrsta celina. U projektu se definiše kvalitet materijala, debljina lima (koja može biti različita po visini silosa), struktura i dimenzije ojačavajuće konstrukcije unutar plašta itd. Projekat međutim ne sadrži nikakve podatke niti zahteve u vezi kvaliteta pertlovanog spoja, a ne poziva se ni na eventualne standarde koji tretiraju ovu oblast. Zbog toga su neki naručioci silosa izrazili sumnju u pogledu kvaliteta pertlovanog spoja, iz čega je proizašao zahtev da se izvrši odgovarajuća stručna analiza, sa eventualnim ispitivanjem karakteristika materijala u uslovima pertlovanja. Na osnovu toga je nastao i ovaj rad, koji pored razmatranja postavljenog zadatka, ima za cilj i da ovu veoma zanimljivu tehnologiju približi širem auditorijumu.

2. PRIKAZ PROCESA IZRADE PLAŠTA

Šematski prikaz izrade plašta silosa iz trake lima kružnim zavojnim savijanjem i pertlovanjem dat je na slici 1, gde pojedine pozicije označavaju:

¹⁾ Ilija Trbojević, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, trbojev@uns.ns.ac.yu

- 1 - Odmotač sa trakom,
- 2 - Mašina za rubno višestruko savijanje lima pod uglom od 90° ,
- 3 - Mašina za spajanje rubova lima presavijanjem (pertlovanjem),
- 4 - Točkići koji omogućuju oslanjanje i rotiranje plašta,
- 5 - Plašt silosa.

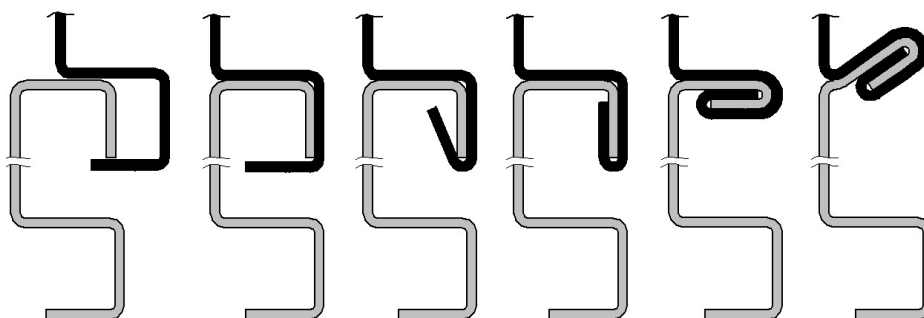


Slika 1. Šematski prikaz procesa izrade plašta silosa

Kao što se vidi na slici kružno zavojno savijanje trake i spajanje rubova pertlovanjem izvodi se pomoću dve specijalne mašine postavljene u liniji krivine plašta, sa nagibom koji odgovara uglu zavojnice. U njima se vrši postepeno deformisanje lima pomoću odgovarajućeg broja parova valjaka. Podešavanjem horizontalnog položaja valjaka ostvaruje se željeni radijus krivine savijanja trake, odnosno prečnik plašta.

Na prvoj mašini vrši se, pored formiranja radijusa plašta, i višestruko savijanje bočnih ivica trake pod uglom od 90° , gornja dvostruko, donja trostruko (presek A - A).

Po obilasku punog kruga profil na donjoj ivici trake uklapa se sa profilom na gornjoj ivici sledećeg novog zavojka i ulazi u drugu mašinu (poz. 3) u kojoj se, u liniji već formirane krivine plašta, vrši presavijanje spojenih ivica do 180° , po fazama prema slici 2. Na taj način ostvaruje se čvrst spoj između pojedinih zavojaka, čime se na kraju dobija plašt silosa kao jedna kruta celina.



Slika 2. Faze pertlovanja

Pored funkcije spajanja pertlovanjem se dobija i zadebljani prsten koji deluje kao ojačavajući обруč. On povećava krutost i sprečava neželjene deformacije plašta, a s druge strane služi i kao šina koja se u najnižem pojasu oslanja na točkice (poz. 4), pomoću kojih se omogućuje rotiranje plašta oko sopstvene ose tokom formiranja kompletne visine silosa. Bez ovakve funkcije pertlovanog spoja ne bi bila moguća efikasna realizacija ove tehnologije. Na ovaj način se omogućuje izrada plašta relativno velikom brzinom, neposredno pored mesta postavljanja silosa. Nastavljanje trake iz svakog sledećeg bunta vrši se zavarivanjem. Po završetku kompletnog formiranja plašt se pomoću dizalice postavlja na posebno izgrađeno postolje.

3. ANALIZA OPTEREĆENJA PERTLOVANOG SPOJA

Glavno opterećenje plašta, a time i pertlovanog spoja, u napunjenom stanju silosa je zatežućeg karaktera i ono je najveće u donjem pojasu gde deluje najveći hidrostatički (bočni) pritisak uskladištene mase.

Na pertlovani spoj u vertikalnom pravcu deluje pritisak od sopstvene težine silosa, koji je u radnom stanju relativno mali jer se težina silosa raspoređuje po celom obimu plašta.

U fazi izrade plašta sopstvena težina izaziva višestruko veća naprezanja usled koncentrisanog dejstva preko točkica za oslanjanje, pri čemu postoji tendencija dodatnog savijanja u korenu pertlovanog venca, sa mogućim narušavanjem ostvarene pertlovanе veze. Ova naprezanja povećavaju se sa rastom visine plašta i njihov uticaj se može vizuelno kontrplisati u toku samog procesa izrade. U slučaju pojave vidljivih neželjenih deformacija problem se lako rešava postavljanjem većeg broja točkica po obodu plašta.

Pritisak usled sopstvene težine u zidu plašta, u sadejstvu sa hidrostatičkim pritiskom, može dovesti do neželjenog deformisanja (ispupčavanja) slobodnog pojasa između dva susedna pertlovana spoja.

Neželjene deformacije može izazvati i ekstremno bočno dejstvo vetra stvarajući dodatni pritisak u zidu plašta usled momenta savijanja.

Navedeni problemi rešavaju se postavljanjem odgovarajućih ukrućenja sa unutrašnje strane plašta i pravilnim izborom materijala i debljine lima, što je sve definisano statičkim proračunom.

U vezi navedenih naprezanja i deformacija može se pretpostaviti da neće doći do njihovog prekoračenja, ukoliko se za izradu plašta primeni materijal onog kvaliteta i

dimenzija kakvi su definisani statičkim proračunom. Ako postoji sumnja u deklarisanu karakteristiku nabavljenog materijala najbolje je da se izvrši njihova brza provera pre početka izrade.

U pogledu deformisanja ruba trake savijanjem može se konstatovati da se pri izradi pertlovanog spoja radi sa maksimalnim savojnim deformacijama koje su propisane prema standardu za konstrukcioni čelik koji je predviđen za izradu plašta. Najmanji radijus savijanja jednak je polovini debljine lima, a ugao savijanja je ekstremno i iznosi 180° . Pored toga nepovoljan je i podatak da se savijanje odvija po liniji koja se poklapa sa pravcem valjanja trake, što je najnepovoljnija varijanta u pogledu mogućnosti pojave pukotina. Zbog tako oštrog deformacionih uslova može se zaključiti da je sasvim moguća pojava eventualnih oštećenja u zoni deformisanja, koja čak ne moraju biti ni vidljiva.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu prethodnih razmatranja tehnoloških i naponsko-deformacionih uslova izrade plašta silosa pertlovanjem može se izvesti osnovni zaključak da se zahtev za ispitivanje pertlovanog spoja može smatrati opravdanim. U skladu s tim, a na osnovu prethodne analize opterećenja i procesa deformisanja, predlaže se sledeća koncepcija ispitivanja:

1. Najpre je potrebno izvršiti standardno zatezno ispitivanje mehaničkih osobina sa nedeformisanim uzorcima i rezultate uporediti sa deklarisanim podacima u cilju provere primenjenog materijala.

2. Za proveru ponašanja materijala pri savijanju pod uslovima koji su slični proizvodnim uslovima pertlovanja potrebno je izvršiti standardno tehnološko ispitivanje na savijanje sa radijusom savijanja jednakim polovini debljine lima ($r=a/2$), i maksimalnim uglom savijanja ($\alpha=180^\circ$). Linija savijanja treba da se poklapa sa pravcem valjanja lima.

3. Za proveru uticaja savojnog deformisanja na zatezne karakteristike pertlovanog spoja potrebno je izvršiti zatezno ispitivanje nestandardne, uzdužno savijene epruvete, sa profilom savijanja kao u uslovima pertlovanja ($r = a/2$, $\alpha = 180^\circ$, linija savijanja u pravcu valjanja), i rezultate uporediti sa deklarisanim podacima.

LITERATURA

- [1] *Pantelić, I.*: Ispitivanje materijala, Novi Sad, 1976.
- [2] Standard za ispitivanje zatezne čvrstoće JUS C.A4.002, 1986.
- [3] Standard za ispitivanje na savijanje JUS C.A4.005, 1986.
- [4] Prospekt firme "Statik" – Kovin, Srbija, 2006., statik@panet.co.yu



TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA REPARATURNOG ZAVARIVANJA I NAVARIVANJA OŠTEĆENIH ZUBA ZUPČANIKA

M. Jovanović ¹⁾, R. Čukić ²⁾, V. Lazić ³⁾, N. Ratković ⁴⁾, M. Mutavdžić ⁵⁾

Rezime: U ovom radu se razmatra tehno-ekonomska analiza reparaturnog zavarivanja i navarivanja oštećenih zuba ozubljene glavčine spojnice. Spojnica je izložena teškim radnim uslovima i izradjena je od niskolegiranog čelika za poboljšanje. Pošto je reč o uslovno zavarljivom čeliku, neophodno je propisati posebnu tehnologiju reparature. Do nje smo došli prethodnim modelskim ispitivanjima. Analizom dobijenih rezultata, odabrana je najpovoljnija tehnologija reparaturnog zavarivanja i ona prenetna na realni deo. Ekonomski aspekt reparaturnog zavarivanja zupčanika je očigledan, a ogleda se u velikim uštedama u odnosu na cenu novog zupčanika.

Ključne reči: reparaturno navarivanje, zubi zupčanika, dodatni materijal, tehno-ekonomska analiza

TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF REPARATORY WELDING AND HARD-FACING OF THE DAMAGED GEAR TEETH

Abstract: in this paper is considered the techno-economic analysis of reparatory welding and hard facing of the damaged teeth of the clutch hub. the clutch is exposed to difficult working conditions and it is made of the low-alloyed tempered steel. since this is the conditionally weldable steel, it is necessary to prescribe the special technology for reparation. the same was established through prior model investigations. by analyzing the obtained results the optimum technology was selected for the reparatory hard facing and it is then "transferred" to the real part. the economic aspect of the reparatory hard facing was obvious, and it could be seen in large savings with respect to the price of the new gear.

Key words: reparatory hard facing, gear teeth, filler metal, techno-economic analysis.

1. UVOD

Zupčanicu pripadaju grupi mašinskih delova koji se široko primenjuju u mašinstvu. Namenjeni su za prenos snage, odnosno obrtnog momenta. Od njihove jačine i

¹⁾ Prof. dr Milorad Jovanović, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, Srbija

²⁾ Mr Rajko Čukić, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, Srbija

³⁾ Doc. dr Vukić Lazić, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, vlazic@kg.ac.yu

⁴⁾ Mr Nada Ratković, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, Srbija

⁵⁾ Milan Mutavdžić, dipl. ing., Preduzeće za puteve "Kragujevac", Kragujevac, Srbija

otpornosti na habanje u najvećoj meri zavisi vek i pouzdanost sistema u koji su ugrađeni. Imaju složen geometrijski oblik radnih površina, izrađuju se najčešće od metala u raznim oblicima i dimenzijama i rade u izuzetno složenim eksploatacionim uslovima. Sve to ukazuje da reparatura zupčanika oštećenih iz triboloških ili drugih razloga nije jednostavna [1, 5, 6].

Došlo se do zaključka, na osnovu ranijih istraživanja, da se većina zupčanika povučениh iz eksploatacije može uspešno i pouzdano reparirati [1, 6]. Pod reparaturom oštećenih zupčanika podrazumeva se skup takvih tehnoloških operacija, koje imaju za cilj vaspostavljanje njihovih umanjениh ili potpuno izgubljenih radnih karakteristika. Regeneracijom se moraju obezbediti nominalne mere, pravilan geometrijski oblik, uz zadržavanje ili poboljšanje tehničkih osobina, kvaliteta obrade površina i dr. Habanju su kod zupčanika najviše izloženi zubi, a zatim otvori i ožlebljeni otvori, kao i žlebovi za klin. Regeneracija navarivanjem zuba zupčanika je najodgovornija tehnološka operacija. Ujedno je to i najsavremeniji način obnavljanja pohabanih i oštećenih zuba zupčanika. Najčešće su u primeni postupci elektrolučnog zavarivanja.

2. METODE REPARATURE OŠTEĆENIH ZUPČANIKA

U ovom radu prikazano je reparaturno zavarivanje zupčanika *ozubljene glavčine spojnice kovačke prese* (slika 1). Razmatrani zupčanik je izrađen od niskolegiranog hrom-molibdenskog čelika za poboljšanje (Č4732) i spada u grupu niskolegiranih čelika za poboljšanje, tvrdoće - HB= 249-259, vrsta ozubljenja - spoljašnje sa pravim zubima, broj zuba - $z_1= 150$, modul - $m= 5.35 \text{ mm}$. Razmatrani deo je velikih dimenzija, prečnika 1 m i širine 0.5 m. Zbog velikog oštećenja zuba, gotovo po čitavom prečniku, spojnica je povučena iz eksploatacije, ali pošto je bilo teško nabaviti ili izraditi novu, pristupilo se reparaturnom navarivanju, zbog čega je bilo neophodno propisati kompletnu tehnologiju.



Slika 1. Izgled ozubljene glavčine spojnice kovačke prese

Uzimajući u obzir da je navedeni deo velikih dimenzija i komplikovanog oblika, te da je komponenta složenog mašinskog sistema, izložena udarnim i promenljivim opterećenjima i da se dimenzioniše na osnovu povećanih stepena sigurnosti, to se i za

tehnologiju izrade i reparature zahtevaju posebne mere. Najpre smo ustanovili vrstu i stepen oštećenja zuba spojnice. Oštećenja su nastala habanjem kompletnog zupčastog venca, lomljenjem delova zuba i odvaljivanjem celih zuba usled višegodišnjeg rada.

Hemijski sastav i mehaničke osobine ovog čelika date su u tablici 1 [8].

Tablica 1. Hemijski sastav i mehaničke osobine Č4732*

Debljina, s, mm	Hemijski sastav, %							Mehaničke osobine				Tvrdća, HB	Mikro- struktura
	C	Si	Mn	Cr	Mo	P	S	R _m , MPa	R _{eH} , MPa	A ₅ , %	Z, %		
30	0.38- 0.45	0.40	0.60- 0.90	0.90- 1.20	0.15- 0.30	0.035	0.030	1000- 1200	800	11	45	249-259	Pretežno sorbitna

* Ostvarena tvrdća i mikrostruktura posle poboljšanja.

Čelik Č4732 spada u uslovno zavarljive čelike, što zahteva posebne mere pri zavarivanju, pre svega predgrevanje. Temperatura predgrevanja, određena je po Seferijanu i za s= 30 mm, iznosi T_p= 300°C [1, 2, 4].

3. IZBOR POSTUPKA REPARATURE I DODATNOG METALA

Pre izbora postupka reparature i dodatnog materijala, neophodno je utvrditi tip habanja i analizirati radne uslove. Za manje složene radne uslove, izbor dodatnog materijala je relativno lak. Međutim, za delove izložene abraziji u otežanim eksploatacionim uslovima, izbor dodatnog materijala nije jednostavan. Pokazalo se da u takvim uslovima merilo otpornosti na habanje ne može biti samo tvrdća navarenog sloja, nego je bitna i mikrostruktura, jer je ustanovljeno da različite strukture imaju različitu otpornost na abraziju [1, 3, 4, 5]. To znači da za izbor dodatnog materijala nisu dovoljna samo laboratorijska ispitivanja otpornosti na habanje, već i ispitivanja u realnim uslovima eksploatacije koja uključuju i radnu sredinu.

Legure koje se upotrebljavaju za nanošenje tvrdih slojeva u principu imaju manju plastičnost od osnovnog materijala, te su u većini slučajeva neophodni prelazni slojevi. Njihove mehaničke osobine približno odgovaraju srednjoj vrednosti osnovnog i dodatnog materijala, što omogućuje povoljnu metaluršku vezu osnove i navara. Zato se nameće potreba modelskih ispitivanja sa različitim dodatnim materijalima, koji su za ručno elektrolučno zavarivanje (REL), dati u tab. 2 [1, 2, 3, 6].

Tablica 2. Osobine dodatnog materijala [7 - SŽ Fiprom Jesenice]

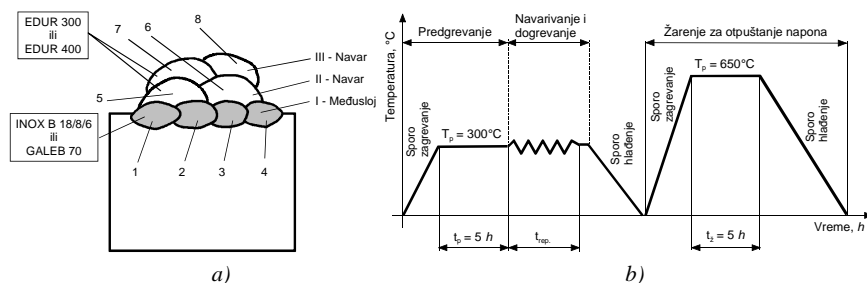
Oznaka elektrode SŽ Fiprom- Jesenice	Hemijski sastav, %						Vrsta struje	Mehaničke osobine navara				Tvrdća HB
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo		R _m , MPa	R _{eH} , MPa	A ₅ , %	KV, J	
GALEB 70	0.08	0.70	1.50	-	0.70	0.20	= (+)	640- 710	> 520	> 22	> 125 (+20°C)	-
INOX B 18/8/6	0.12	0.80	7.0	19.0	9.0	-	= (+)	590- 690	> 350	> 40	> 80 (+20°C)	-
E DUR 300	0.18	-	1.30	1.20	-	-	= (+)	-	-	-	-	280-330
E DUR 400	0.22	-	1.40	1.50	-	-	= (+)	-	-	-	-	350-450

4. IZBOR TEHNOLOGIJE REPARATURNOG ZAVARIVANJA

4.1 Modelska eksperimentalna ispitivanja

Kod uslovno zavarljivih čelika i kod delova većih dimenzija gde je potrebno utrošiti veću količinu skupog dodatnog materijala, neophodno je na modelima testirati različite tehnologije. Posle eksperimentalno potvrđenih zadovoljavajućih rezultata pristupa se "prenošenju" odabrane tehnologije na realni deo.

U konkretnom slučaju, probna navarivanja izvodili smo na delovima prizmatičnog oblika izradjenih od pomenutog čelika. Uzorci su navarivani različitim dodatnim materijalima (slika 2a) i termički obradjeni prema režimima datim na slici 2b i tablici 3.



Slika 2. Redosled nanošenja slojeva (a) i kompletan ciklus reparature uzoraka (b)

Tablica 3. Preporučeni parametri i redosled navarivanja odabranih uzoraka-modela

Broj uzorka	Elektroda, prečnik i jačina struje		Broj slojeva + prolaza		Termička obrada	
	Medjusloj	Navar	Medjusloj	Navar	Predgrevanje $T_p, ^\circ\text{C}$	Otpuštanje $T_{otp}, ^\circ\text{C}$
1.	INOX B 18/8/6 2.5 mm/65-70 A	E DUR 300 3.25 mm/100-135 A	1+4	2+2	300	650
2.	INOX B 18/8/6 2.5 mm/65-70 A	E DUR 300 3.25 mm/100-135 A	1+4	2+2	300	-
3.	GALEB 70 2.5 mm/65-70 A	E DUR 400 3.25 mm/100-135 A	1+4	2+2	300	650
4.	GALEB 70 2.5 mm/65-70 A	E DUR 400 3.25 mm/100-135 A	1+4	2+2	300	-

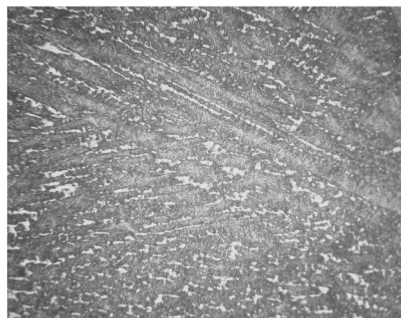
4.2 Metalografska ispitivanja i merenje tvrdoće

U tablici 4 su dati rezultati merenja tvrdoće i ispitivanja mikrostrukture karakterističnih zona navarenih uzoraka, dok je na slici 3 prikazan izgled mikrostrukture karakterističnih zona navara (uzorak 1) [1].

Tablica 4. Očitane mikrostrukture i izmerene tvrdoće pojedinih zona navara

Broj uzorka	Mikrostruktura i tvrdoća			
	Navar	Medjusloj	ZUT	O.M.
1.	Medufazna + karbidi (348-385) HV1	Iglice martenzita u austenitnoj osnovi (251-305) HV1	Medufazna + sorbit (229-263) HV1	Pretežno sorbitna (205-224) HV1
2.	Medufazna + karbidi (467-507) HV1	Austenitna sa iglicama martenzita (245-515) HV1	Medjufazna + sorbit (214-401) HV1	Pretežno sorbitna (224-239) HV1
3.	Medufazna + karbidi (283-405) HV1	Austenitna sa otpuštenim martenzitom (257-376) HV1	Medjufazna + sorbit (229-309) HV1	Pretežno sorbitna (214-229) HV1
4.	Medufazna + karbidi (367-487) HV1	Austenitna sa otpuštenim martenzitom (257-383) HV1	Medjufazna + sorbit (239-257) HV1	Pretežno sorbitna (214-229) HV1

Na osnovu analize mikrostrukture, izmerenih tvrdoća i vizuelnog pregleda, utvrđeno je da u navaru nije bilo vidljivih grešaka, kao i da je postignuto dobro vezivanje osnovnog metala i navara [1].



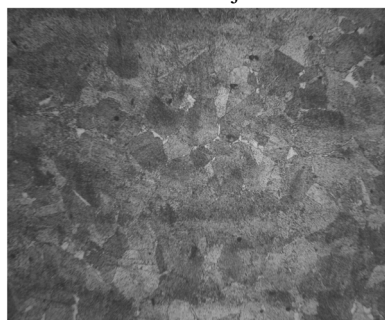
Navar - Medufazna + karbidi



Medjusloj - Iglice martenzita u austenitnoj osnovi



ZUT - Medufazna + sorbit



O. M. - Pretežno sorbitna

Slika 3. Mikrostrukture karakterističnih zona navara - uzorak 1

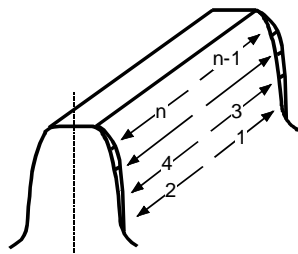
4.3 Reparatura realnog dela

Na osnovu izvedenih modelskih ispitivanja, realni deo je regenerisan tehnologijom navarivanja koja najviše odgovara tehnologiji regeneracije sprovedenoj na uzorku 1 (tablica 5). Tok reparature se izvodio na sledeći način: prvi vezivni sloj nanešen je elektrodom INOX B 18/8/6, a ostali slojevi nanošeni su naizmenično, elektrodom E DUR 300 različitih prečnika, zbog ostvarivanja bolje geometrije zuba. Posle svakog prolaza obijana je i čišćena troska, a još neohladjeni navari, izuzev medjuslojnog i pokrivnog, iskivani su alatom sa zatupljenom glavom, vodeći računa da ne dodje do usecanja po debljini nanetog sloja [1, 3].

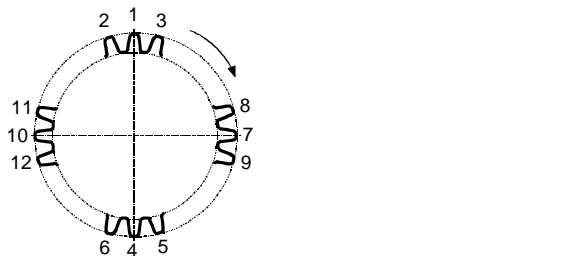
Tablica 5. Parametri navarivanja realnog dela

Red. broj	Dodatni materijal		Jačina struje, A		Termička obrada	
	Elektroda	Prečnik, mm	Medjusloj	Navar	Predgrevanje T_p , °C	Žarenje T_{op} , °C
1.	INOX B 18/8/6	2.5	70 A	-	300	670
2.	E DUR 300	2.5	-	70-90		
		3.25	-	100-135		

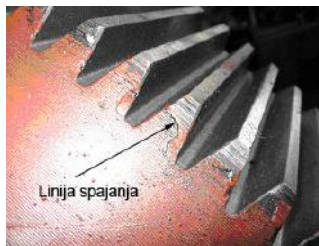
Najmanji zaostali naponi nastaju navarivanjem po redosledu prikazanom na slici 4. Da bi se izbeglo vitoperenje zupčanika, navarivanje nije izvodjeno zub za zubom već prema slici 5. Postupak je sukcesivno ponavljan po čitavom obimu zupčanika.



Slika 4. Redosled polaganja navara



Slika 5. Redosled navarivanja grupe zuba



Slika 6. Izgled repariranih zuba

Za vreme navarivanja održavana je temperatura predgrevanja, tako što je spojnica dogrevana za vreme reparature. Posle završenog navarivanja svih zuba, deo je vraćen u peć i sporo hladjen do sobne temperature, a zatim lagano zagrevan u peći do temperature žarenja, progrevan i sporo hladjen do sobne temperature (slika 2b).

Predloženim režimom reparature ostvarena je zahtevana tvrdoća površine zuba

(≈ 350 HV1), a osnova zupčastog venca je zadržala svoju visoku žilavost i ostale neophodne mehaničke osobine. Posle izvedene naknadne termičke obrade i ultrazvučne kontrole, zupčanik je mašinski obrađen na potrebne mere (sl. 6).

5. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA

Sa stanovišta tehnno-ekonomske analize, tehnologija reparaturnog zavarivanja jeste kompleksan skup različitih vrsta obaveznih procedura, koje uzimaju u obzir: uslove rada dela, identifikaciju oštećenja, procenu zavarljivosti, postupak zavarivanja, dodatni materijal, režim zavarivanja i navarivanja, primenjenu termičku obradu, modelska i realna ispitivanja. S obzirom na složenost procesa potrebno je utvrditi najpovoljnija tehničko-tehnološka rešenja, da bi se proces reparature doveo do nivoa kad je moguće doneti konačnu odluku, kupiti nov deo ili ga reparirati.

U ekonomskoj analizi "kupiti" ili "reparirati" nije uradjena procena potupunijih efekata koju je moguće izvesti pomoću *benefit-cost* (BC) analize ili preciznije pomoću *life-cycle-cost-analysis* (LCCA) koje bi dale preciznije i jasnije prednosti primene ove napredne tehnologije.

Za potrebe ovog rada napravljena je komparativna analiza posle jednoipogodišnjeg rada ozubljene glavčine spojnice bez uočavanja većih vidljivijih deformacija.

Relevantni podaci za uporedjivanje su:

A. Cena nabavke novog dela iznosi oko: 26500 € (ova cena uključuje: cenu novog dela, troškove trasporta, troškove carine i poreza);

B. Ukupni troškovi reparature: 3380 €

- Identifikacija oštećenja: $1 \text{ dan} \times 8 \text{ nč}^6 \times 10 \text{ €} = 80 \text{ €}$;
- Mašinska obrada oštećenih površina: $2 \text{ dana} \times 8 \text{ nč} \times 12 \text{ €} = 192 \text{ €}$;
- Izbor tehnologije reparature: $1 \text{ dan} \times 8 \text{ nč} \times 15 \text{ €} = 120 \text{ €}$;
- Modelska ispitivanja: $3 \text{ dana} \times 8 \text{ nč} \times 12 \text{ €} = 288 \text{ €}$;
- Navarivanje realnog dela: $10 \text{ dana} \times 8 \text{ nč} \times 10 \text{ €} = 800 \text{ €}$;
- Troškovi proizvodnih usluga (ozubljenje i transport): 1900 €.

Na osnovu navedenih podataka možemo zaključiti da su ukupni troškovi reparature znatno niži od troškova nabavke novog dela (manji od 13%). Prema tome, analiza "kupiti" ili "reparirati" očigledno je rešena i bez detaljnije analize dodatnih pozitivnih efekata koja regeneracija omogućuje.

6. ZAKLJUČAK

Predložena tehnologija reparature daje pozitivne rezultate, ukoliko se primene najnovija teorijsko-eksperimentalna saznanja iz ove oblasti. U ovom slučaju neophodno je bilo primeniti ne samo predgrevanje, već i dogrevanje i naknadnu termičku obradu radi sniženja nivoa zaostalih napona. Metalografska ispitivanja i merenje tvrdoće na modelima su ukazala koja je najpovoljnija kombinacija testiranih dodatnih materijala i predloženih tehnologija, a konačno utvrđena tehnologija pokazuje da nema opasnosti od zakaljivanja i pojava hladnih prslina u predloženim uslovima zavarivanja. Iako je

⁶ nč - je norma čas koji se u industriji primenjuje pri proračunu troškova i izradi ponuda.

svaka regeneracija navarivanjem gotovo unikatni posao, što znači da tehnologija mora biti određena za svaki radni komad, moguće je ustanoviti opštu proceduru za grupu sličnih delova, u ovom slučaju za zupčanike sličnog oblika i namene.

7. LITERATURA

- [1.] *Lazić, V., Jovanović, M., Adamović, D., Ratković, N., Nedeljković, B.*: Reparaturno navarivanje oštećenih zuba glavčine kovačke prese, Održavanje u funkciji zaštite životne sredine, "KOD 2005", Bar.
- [2.] *Jovanović, M., Adamović, D., Lazić, V.*: Tehnologija zavarivanja-priručnik, samostalno autorsko izdanje, Kragujevac, 1996.
- [3.] *Lazić, V., Jovanović, M., Ristović, J., Adamović, D., Josifović, D., Ratković, N.*: Reparaturno zavarivanje rama vertikalne kovačke prese, XXIV Jugoslovenski majski skup održavalaca sredstava za rad-YUMO 2000, Zbornik radova, Vol. I str. 233-238, Herceg Novi, 2000.
- [4.] *Grupa autora*: Poradnik inženjera-Spawalnictwo, WNT, Warszawa, 1983.
- [5.] *Pasierb, R.*: Spawanie żarowytrzymałych stali chromowo-molibdenowo-wanadowych, WNT, Warszawa, 1982.
- [6.] *Josifović, D., Marković, S.*: Regeneracija zupčanika-monografija, Jugoslovensko društvo za tribologiju, Kragujevac, 1998.
- [7.] *Katalozi i prospekti proizvođača elektroodnog materijala: SŽ Fiprom- Jesenice, FEP-Plužine, Elvaco-Bijeljina, Esab-Goteborg, Lincoln Electric-SAD, ...*
- [8.] *Standardi: JUS, DIN, UNI, IVECO, ...*

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

PROIZVODNO I REPARATURNO NAVARIVANJE DELOVA GRAĐEVINSKE MEHANIZACIJE

M. Mutavdžić¹⁾, V. Lazić²⁾, M. Jovanović³⁾, R. Čukić⁴⁾, S. Rakić⁵⁾

Rezime: U ovom radu se razmatra opravdanost i isplativost proizvodnog i reparaturnog navarivanja nekih delova građevinske mehanizacije. Reč je reparaturnom navarivanju oštećenih udarnih greda rotacionih drobilica i proizvodnom navarivanju zuba kašika utovarivača i lopatica mešalica. Da bi se utvrdila najpovoljnija tehnologija navarivanja, neophodno je bilo obaviti ispitivanja na modelima i realnim radnim delovima. Probna navarivanja i ispitivanja na modelima poslužila su da se utvrdi polazna tehnologija reparaure, a zatim je tako usvojena tehnologija prenet na realne radne delove i dalje proveravana u stvarnim radnim uslovima.

Ključne reči: reparaturno navarivanje, proizvodno navarivanje, građevinska mehanizacija, habanje, mikrostruktura.

MANUFACTURING AND REPARATORY HARD-FACING OF THE CIVIL ENGINEERING MECHANIZATION PARTS

Abstract: In this paper are considered the justification and economic efficiency of the manufacturing and reparatory hard facing of some parts of civil engineering mechanization. The matter is reparatory hard facing of the damaged impact beams of the crushing mills and manufacturing hard facing of conveyer buckets' teeth and mixer blades. In order to establish which hard-facing technology is the most convenient it was necessary to perform tests on models and on the real working pieces. The test hard-facings and model tests served to establish the initial reparatory technology, which was then transferred to the real working pieces and further tested in real working conditions.

Key words: reparatory hard facing, manufacturing hard facing, civil engineering mechanization, wear, microstructure.

1. UVOD

U radu se ukazuje na prednosti primene reparaturnih tehnologija u odnosu na kupovinu novih delova. Sistematskim istraživanjima u laboratorijskim i realnim radnim uslovima, primenom novih tehnologija navarivanja u oblasti visokohabajućih delova na

¹⁾ Milan Mutavdžić, dipl. ing., Preduzeće za puteve "Kragujevac", Kragujevac, Srbija

²⁾ Doc. dr Vukić Lazić, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, vlazic@kg.ac.yu

³⁾ Prof. dr Milorad Jovanović, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, Srbija

⁴⁾ Mr Rajko Čukić, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, Srbija

⁵⁾ Slavomir Rakić, AD Paraćinka – Paraćin, Paraćin, Srbija

gradjevinskim mašinama mogu se postići višestruke koristi: preduzeće dobija pouzdanu tehnologiju koja smanjuje troškove i vreme zastoja radnog procesa zbog nabavke delova, ne ulazeći u rizik navarivanja nametnutog silom prilika. Rezultati istraživanja biće značajni i za druge oblasti privrede (rudarstvo, poljoprivreda, vodoprivreda, železnica), što dalje podiže nivo opšte ekonomije i konkurentnost domaće privrede.

Pored direktne koristi za firme koje podržavaju uvođenje ovih novih-proizvodnih tehnologija, ne manje su važni i indirektni efekti zbog pozitivnog primera koje će slediti i druge iste ili slične firme. U oblasti zavarivanja, većina problema vezanih za zavarljivost, deformacije i zaostale napone, uglavnom je rešena, dok je u oblasti navarivanja ostalo još mnogo nepoznatog, pre svega što se po pravilu pri navarivanju znatno razlikuju osnovni i dodatni materijal.

2. CILJ I ZNAČAJ ISTRAŽIVANJA

Osnovni cilj ovih istraživanja je da se ukaže gradjevinskim preduzećima da će imati bolje tehničke i ekonomske uslove izbora, ako se umesto skupih uvoznih delova opredele za reparirane delove koji uglavnom imaju duži radni vek od originalnih. Rezultati ovih istraživanja doprineće da se preduzeća koja izvođe regeneraciju delova, uvere da to doprinosi uštedi materijala, energije i vremena. Sve to podstaknuće i druge firme da uvedu reparaturu delova kao normalnu industrijsku praksu.

Primena repariranih delova omogućava da se smanje veliki izdaci za rezervne delove, umanju vreme zastoja mašina i da se višestruko nadmaši radni vek. Efekti regeneracije biće veći ako se na bazi detaljnih istraživanja, proces modelira i organizuju radionice u posebno opremljenim istraživačkim centrima i proizvodnim preduzećima. Pokazalo se da rdjave rezultate postižu firme koje silom prilika i u vremenskom tesnacu pristupaju regeneraciji vitalnih delova mašina i uređjaja.

3. OČEKIVANI REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Pri ispitivanju stanja oštećenih delova treba utvrditi: da li je habanje nastupilo pri normalnoj eksploataciji ili zbog mehaničkog oštećenja, koliki je stepen habanja koji je presudan za odluku da li je racionalno i bezbedno za buduću eksploataciju primeniti regeneraciju ili pak deo odbaciti, kao i veličinu očekivanih deformacija i zaostalih napona. Pošto se utvrdi stepen i karakter habanja, kao i stvarni hemijski sastav osnovnog materijala i uslovi rada, stvaraju se osnovne pretpostavke za projektovanje tehnološkog procesa.

Na osnovu gornjih činjenica i prethodno sprovedene detaljne tehno-ekonomske analize, biraju se metode regeneracije, uzimajući u obzir i lokalne mogućnosti preduzeća. Osnovni zahtevi su pouzdanost u radu i dobijanje traženih svojstava regenerisanog dela.

Da bi se ostvarili gore navedeni zahtevi neophodno je izvršiti pravilan izbor dodatnog materijala za navarivanje. U nekim slučajevima reparature radnih delova potrebno je primeniti dve ili više vrste dodatnih materijala da bi se naneo posredni sloj između navara i podloge. Time se ublažuju velike razlike u hemijskom sastavu, strukturi i shodno tome i termo-fizičkim osobinama podloge i navara. Dalje sledi izbor procesnih parametara regeneracije, koji proizilaze iz osobina osnovnog i dodatnog metala, eksploatacionih zahteva i veličine i oblika regenerisanih delova. Završna faza planiranja, pre eksperimentalnih navarivanja, jeste ocena o neophodnosti primene posebnih mera, odnosno prethodne, tekuće i naknadne termičke obrade.

Pored reparaturnog navarivanja, razmatrali smo i predložili i nove-proizvodne tehnologije za izradu delova gradjevinskih mašina izloženih intenzivnom udarnom

abrazivnom habanju. Dosadašnji rezultati pokazuju da se i na ovaj način mogu postići velike uštede, budući da se novi delovi prave od jeftinijih niskougleničnih čelika, a presvlače navarima od tvrdih legura [1, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11].

Za verifikaciju predloženih tehnologija, izvedena su uporedna ispitivanja u laboratorijskim i radnim uslovima, a u nekim slučajevima i uporedna ispitivanja nenavarenih-uvoznih i novih-navarenih delova. Laboratorijske probe se odnose na mikrostrukturu, raspodelu tvrdoće i tribološke testove, a radna ispitivanja na upoređivanje radnog veka novih i repariranih delova ugrađenih u istu mašinu [1, 3, 4, 5, 6, 7].

Pokazalo se da nema boljeg načina da se neka nova tehnologija prihvati nego što je merljiv tehno-ekonomski rezultat, koji će između ostalog biti prikazan i uspešnim navarivanjem tri tipična dela građevinskih mašina [1, 2, 3, 4, 5].

4. PRIMERI IZVEDENIH REPARATURA

Iz tehno-ekonomskih razloga odlučili smo se da predložimo fizičke modele navarivanja nekih karakterističnih delova građevinske mehanizacije za različite uslove rada i to: *udarnih greda drobilica, zuba kašika utovarivača i lopatica mešalica*. Pored reparature, kad god je to bilo moguće, analizirana je mogućnost primene proizvodnog navarivanja nekih novih delova uz očekivanje produženja radnog veka.

Na osnovu dostupnih radova [6, 7, 8, 9, 10, 11] i naših eksperimenata, došlo se do predloga procedure izbora postupka navarivanja, dodatnog materijala, tehnologije navarivanja i režima termičke obrade (prethodne, tekuće i naknadne). Svi eksperimenti izvedeni su na fizičkim modelima, što omogućuje da se izabere najpovoljnija tehnologija, koja se u celini ili delimično može primeniti i na radne delove.

4.1 Udarne grede

Udarne grede služe da svojom mehaničkom energijom razbijaju i usitnjavaju kameni agregat (granulat) za nasipanje puteva. Na rotor drobilice montiraju se četiri grede tako što se ubacuju u specijalne žlebove koji onemogućavaju njihovo pomeranje u radijalnom i aksijalnom pravcu čime se sprečava njihovo ispadanje iz rotora. Imaju dve radne površine što omogućuje da se posle habanja jedne radne površine, okretanjem grede, iskoristi i druga radna površina, čime se produžava njihov radni vek. Obloga drobilice se sastoji iz segmenata koji su različitog oblika (ravni i sferični) i njen zadatak je da usitnjava kamen i štiti telo drobilice od oštećenja. Izgled novih i oštećenih udarnih greda dat je na slici 1.



Slika 1. Izgled novih (a) i oštećenih (b) udarnih greda

Najveći problem pri eksploataciji je izuzetno kratak radni vek udarnih greda. Montaža i demontaža udarnih greda i segmenata obloge je dosta složena i dugo traje, a nabavna cena je visoka, što znatno utiče na ekonomičnost, produktivnost i rentabilnost proizvodnje. To je bio osnovni razlog što je odlučeno da se istraži mogućnost, opravdanost i isplativost produženja radnog veka reparaturnim i proizvodnim navarivanjem.

Eksperimentalna istraživanja su obavljena probnim navarivanjem na modelima i navarivanjem na radnim delovima. Navarivanje na modelima izvedeno je u laboratorijskim uslovima, dok su navarivanja na radnim delovima izvedena u otežanim terenskim radnim uslovima (kamenolomu).

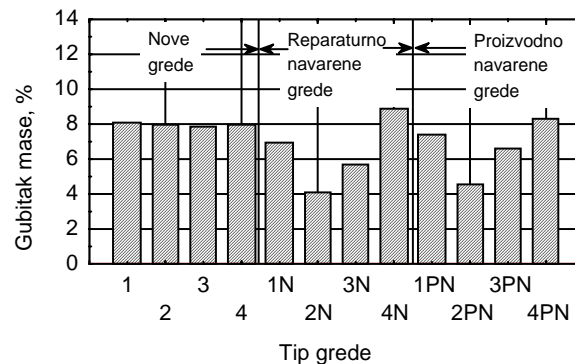
Udarne grede drobilice izradjene su od manganskog čeličnog liva (ČL3460), dimenzija $300 \times 120 \times 1200$ mm čija je masa oko 300 kg/kom. Segmenti obloge imaju debljinu od 30 mm i značajnu masu koja je oko 20 kg/kom, a izradjeni su od manganskog čeličnog liva (ČL3160). Pored velike mase udarnih greda, treba računati i sa velikom količinom dodatnog materijala koji treba naneti, specifičnim procesom navarivanja u terenskim uslovima, što ovo istraživanje čini veoma složenim i otežanim.

Kao dodatni materijali za ova istraživanja upotrebljavane su elektrode: E Mn14, E Mn17Cr13, ABRADUR 58, E DUR 600 i INOX B 18/8/6 [1, 3, 12]. Više vrsta dodatnih materijala je odabrano u cilju provere njihove pogodnosti za zavarivanje i ocenu njihove otpornosti na habanje u uslovima intenzivnog udarnog abrazivnog habanja.

Navarivanje udarnih greda izvedeno je primenom tehnologija ustanovljenih na osnovu modelskih ispitivanja, što znači pod nešto povoljnijim uslovima nego što su radni uslovi [1, 3].

Ispitivanje je izvedeno na osam navarenih udarnih greda, odnosno na dva seta ovih delova, jer se zbog uravnoteženosti rotora drobilice mora odjedanput obaviti zame-na svih udarnih greda (četiri komada). Potrebno je istaći da su ova ispitivanja izvedena za dva slučaja navarivanja - reparaturnog i proizvodnog [1, 3].

Rezultati izmerenih gubitaka materijala navarenih i nenavarenih udarnih greda dobijeni su praćenjem proizvodnog procesa za vreme od 60 efektivnih radnih sati (slika 2) [1, 2, 3].



1N - E Mn14, 2N - E Mn17Cr13, 3N - ABRADUR 58, 4N - E DUR 600
1, 2, 3, 4 - nove grede, 1N, 2N, 3N, 4N - reparaturno navarene grede,
1PN, 2PN, 3PN, 4PN - proizvodno navarene grede

Slika 2. Grafički prikaz gubitka mase materijala udarnih greda posle 60 h rada [1]

Pri praćenju procesa habanja udarnih greda veliki problem predstavljao je način određivanja gubitka materijala. Na to je uticalo više faktora: nemogućnost preciznog

merjenja mase ovih delova zbog relativno velike razlike između mase osnovnog i dodatnog materijala, neopravdanog prekida procesa proizvodnje, izrazita neravnomernost habanja pojedinih delova radne površine i tsl. Posle rada od 72 h dolazi do tolikog oštećenja novih udarnih greda da više nije moguće nastaviti proizvodni proces, već se mora obaviti njihovo okretanje da bi se iskoristila druga radna površina.

Ekonomska opravdanost reparaturnog navarivanja udarnih greda

Praćenjem procesa proizvodnje kamenih agregata došlo se do podataka da radni vek novih udarnih greda od ČL3460 pri obradi krečnog kamena iznosi oko 140 radnih sati uz korišćenje obe radne površine. Tada, usled procesa habanja dolazi do gubitka materijala najviše 10% od ukupne mase udarnih greda. To znači da kad gubitak mase materijala udarne grede sa obe radne površine dostigne oko 30 kg, mora da se izvrši njihova zamena, i to u kompletu od četiri komada. Do sada su tako oštećene grede odbacivane kao otpadni materijal (više od 90% mase početnog materijala).

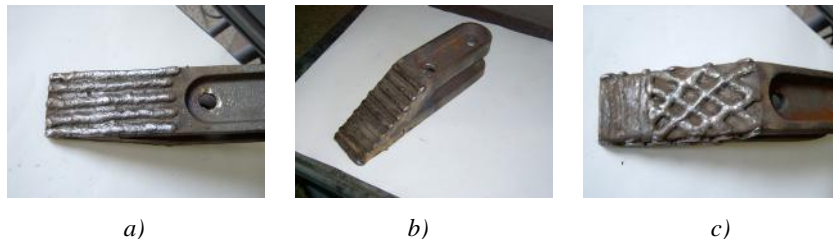
Nabavna cena sa pratećim troškovima za jednu udarnu gredu iznosi 160 000 din, što znači da je potrebno za jednu kompletnu zamenu obezbediti oko 640 000 din. U toku jedne godine neophodno je izvesti najmanje šesnaest zamena kompleta udarnih greda, pa je za nabavku 64 komada potrebno obezbediti 10 240 000 din.

Analizom troškova dodatnog materijala, zavarivačkih i drugih radova, došlo se do podataka da su troškovi reparaturnog navarivanja jedne udarne grede manji od 25% cene jedne nove grede [1, 2].

4.2 Zubi bagera utovarivača

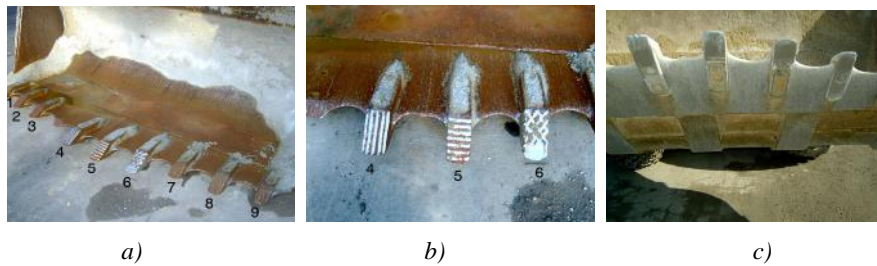
Zubi utovarnih kašika (slika 3) prvenstveno imaju zadatak da odvoje i usitne odgovarajući materijal, kao i da zaštite kašiku od habanja pri utovaru. Broj i oblik zuba zavisi od namene i veličine utovarne kašike, i kreće se od najmanje tri komada (kašike rovkopača) pa do petnaest komada (kašike utovarivača većeg kapaciteta). Uglavnom se izrađuju od čeličnog liva ili livenog gvoždja, mase 3-15 kg po komadu.

Analizom hemijskog sastava materijala zuba utvrđeno je da je reč o čeličnom livu-ČL3134 [1, 2, 8]. Tvrdoća zuba se kretala u granicama od 340-420 HV1, a mikrostruktura je ocenjena kao martenzitna sa izvesnom količinom zaostalog austenita. Ova mikrostruktura nije se pokazala naročito otpornom na abrazivno habanje koje dovodi do relativno brzog trošenja ovih zuba, posebno pri radu u uslovima izrazitog abrazivnog habanja. Iz tog razloga smo odlučili da proizvodnim navarivanjem popravimo pohabane zube, umesto da ih kao do sada zamenimo novim zubima [1, 2, 8].



Slika 3. Izgled navarenih zuba: a) uzdužno, b) poprečno i c) sačasto naneti navari [1]

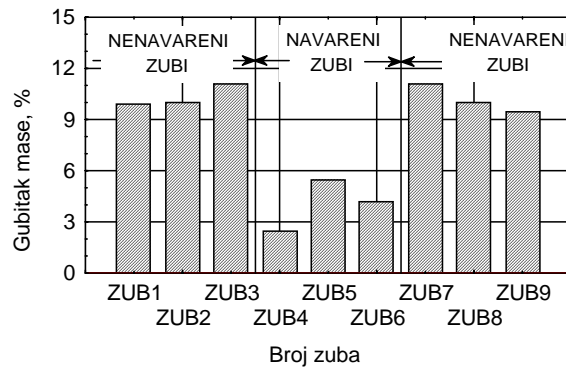
Posle navarivanja na probnim uzorcima i triboloških ispitivanja navara, određena je optimalna tehnologija i "preneta" na realne delove [1, 2, 8]. Odlučili smo se za troslojno navarivanje (uz primenu medjusloja), s obzirom na ograničenja vezana za debljinu osnovnog materijala, visinu ostvarenog navara i prečnik elektrode. Navarivane su radne površine zuba sa strane ledjnog i grudnog ugla-uzduž zuba (sl. 3a), poprečno po širini zuba (sl. 3b) i sačasto-kombinovano (sl. 3c). Širina navara iznosila je 10-12 mm, a visina oko 4 mm. Ovako navareni zubi montirani su na kašiku u njenom centralnom delu jer je tu najveće dejstvo abrazije (sl. 4a, zubi 4, 5 i 6). Krajnji zubi (1, 2, 3 i 7, 8, 9) ugrađeni su za potrebe ovih uporednih ispitivanja kao novi [1, 2, 8].



Slika 4. Redosled montiranja zuba na kašiku utovarivača (a), izgled grudne (b) i ledjne (c) površine zuba posle rada od 360 efektivnih sati [1]

Ocena ekonomske opravdanosti primenjene reparature

Pre montaže izmerena je masa zuba. Posle eksploatacije u radnim uslovima (od 3200 h), zubi kašike su demontirani i ponovo merena njihova masa. Na slici 5 dat je dijagramski prikaz gubitka mase novih-nenavarenih i navarenih zuba [1, 2, 8].



Slika 5. Dijagramski prikaz gubitka mase nenavarenih i navarenih zuba (DM: navar – ABRADUR 58, medjusloj – INOX B 18/8/6) [1]

Radni vek navarenih zuba, u zavisnosti od tehnike navarivanja, bio je veći od nenavarenih zuba 2-4 puta. Što se tiče tehnike navarivanja, najveću otpornost na abrazivno habanje (utovar drobljenog stenskog materijala) pokazuju zubi sa uzdužno nanetim navarima, pa zatim sačasto naneti navari i na kraju poprečno naneti navari. Za

druge uslove abrazivnog habanja, mora se posebno istraživati najbolji raspored navara [1, 2, 8]. Treba istaći da je iskustveni kriterijum za zamenu pohabanih zuba oko 6400 efektivnih sati rada (dve građevinske sezone) ili gubitak početne mase od 20%. Dobijeni rezultati pokazuju da je prosečni radni vek zuba $T_{rz}= 16200$ sati sa verovatnoćom radnog veka $p_{oz}= 0.94\%$. Prema tome očekivani radni vek zuba je $T_{ez}= T_{rz} \times p_{oz}= 15128$ sati [2].

4.3 Lopatice mešalica za asfalt

Lopatice mešalica (slika 6) za proizvodnju asfalta radni su delovi mešalice čija je uloga da što bolje izmešaju osušen stenski agregat i bitumen kako bi došlo do što boljeg prijanjanja i obavijanja zrna agregata bitumenom. Lopatice su zavrtnjevima vezane za držače, a držači su takodje pomoću zavrtnjeva spojeni sa vratilima mešalice koja se obrću u suprotnim smerovima (vidi sliku 8). U konkretnom slučaju broj ugrađenih lopatica na oba vratila je 64, a masa jedne lopatice je oko 3 kg. Lopatice mešalica



Slika 6. Lopatice mešalica

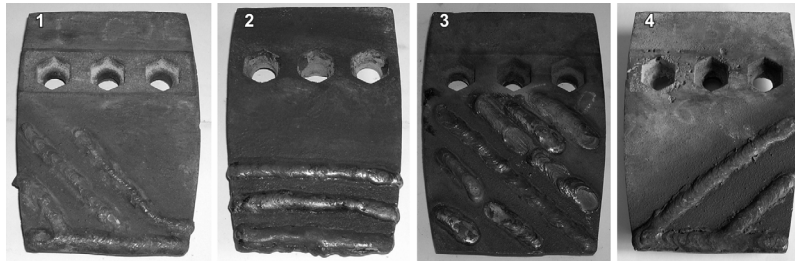
posebno ekonomski neopravdano imajući u vidu vreme koje je potrebno da se postignu projektovani radni parametri postrojenja, utrošak energenata i gubitak usled zastoja u proizvodnji asfalta. Zbog toga se zamena oštećenih lopatica najčešće odlaže, a šteta postaje još veća, jer dolazi do proizvodnje nekvalitetnog asfalta usled pregorevanja bitumena.

Dodatni materijali za navarivanje izabrani su na osnovu preporuka proizvođača, ali je bilo potrebno u ovim konkretnim radnim uslovima obaviti proveru njihovih svojstava. Određivanje svojstava dodatnog materijala E DUR 600, CrWC 600, ABRADUR 58 i dobijeni rezultati u celosti su prikazani u radovima [1, 4, 12].

Probim navarivanjima utvrđeno je da se uspešno navarivanje na ČL4150 može izvesti samo predgrevanjem (na $T_p= 500^\circ\text{C}$), dogrevanjem i sporim hladjenjem navarenih delova u peći [1, 4].

Lopatice su navarivane nanošenjem pokrivnih navara u dva sloja, pošto se primeni medjuslojna elektroda u svim slučajevima. Posle navarivanja svih lopatica, izvedeno je mestimično brušenje poslednjeg sloja navara, slično kao pri izradi modela.

Proizvodno navarene lopatice (slika 7) montirane su u mešalicu zajedno sa novim nenavarenim lopaticama, vodeći računa da navarene lopatice, budu na mestima gde je najintenzivnije habanje (uz ravne obloge-bokove mešalica) (slika 8).



1- E DUR 600, 2- ABRADUR 58, 3- ABRADUR 58, 4- CrWC 600

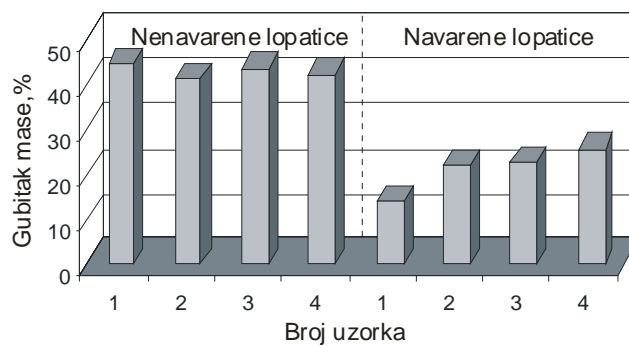
Slika 7. Izgled proizvodno navarenih uzoraka lopatice [1]



Slika 8. Izgled unutrašnjosti mešalice za proizvodnju asfalta sa rasporedom lopatica

Praćenje efektivnih radnih sati bilo je veoma precizno, budući da je na mešalici ugrađen uređaj za merenje vremena rada. Intenzitet habanja tokom proizvodnog procesa, zbog uslova proizvodnje, praćen je samo vizuelno, a u vreme kraćih zastoja otvaranjem gornjeg poklopca mešalice. Pozitivni efekti navarivanja lopatica uočeni su posle 240 sati rada (proizvedeno 25000 tona asfalta), a ispitivanje u realnim radnim uslovima izvedeno je za vreme rada od 720 sati (proizvedeno oko 86000 tona asfalta).

Otpornost ispitivanih lopatica na abrazivno habanje shematski je prikazana na slici 9, pri čemu je kao parametar za ocenu usvojen procentualni gubitak mase.



1- E DUR 600, 2- ABRADUR 58, 3- ABRADUR 58, 4- CrWC 600

Slika 9. Dijagramski prikaz otpornosti materijala ispitivanih uzoraka na habanje u radnim uslovima [1]

Na osnovu gubitka mase materijala ispitivanih uzoraka može se zaključiti da su navarene lopatice pokazale bolju otpornost prema abrazivnom habanju pri istim radnim uslovima od novih nenavarenih lopatica. Ovo se pokazalo kod svih slučajeva navarivanja bez obzira na vrstu dodatnog materijala i način nanošenja navara. Primenjena tehnologija navarivanja je značajna iz tehničko-tehnološkog aspekta, jer je kod navarenih lopatica došlo do manjeg gubitka materijala, a korišćeni dodatni materijali su pokazali i dobru otpornost prema koroziji (povećan sadržaj hroma). Koliko je očigledna razlika gubitka mase materijala navarenih i nenavarenih uzoraka toliko je mala razlika gubitaka mase materijala kod uzoraka navarenih sa različitim dodatnim materijalima (sl. 9). Očekuje se da vreme rada navarenih lopatica bude dvostruko veće od novih. Posebno treba istaći pozitivan efekat u pogledu kvaliteta dobijenog asfalta, postignutog zbog usporenog habanja lopatica [1, 2, 4].

5. ZAKLJUČAK

Pravilnim izborom i primenom tehnologije reparaturnog i proizvodnog navarivanja postižu se brojne prednosti u odnosu na ugradnju novih delova. Tu se pre svega misli na produženje radnog veka analiziranih delova, povećanje produktivnosti, skraćivanje vremena zastoja, smanjivanje troškova zaliha i ostale koristi proistekle primenom navedene proizvodne tehnologije. Pokazali smo da je izbor tehnologije navarivanja povezan sa složenom procedurom provere kvaliteta navara, što ukazuje na to da se reparaturni radovi mogu izvoditi samo u specijalizovanim radionicama za regeneraciju, koje raspolažu adekvatnom opremom i odgovarajućim stručnim kadrom. Očekivana neto korist koja će proisteći primenom navarivanja ovde analiziranih delova građevinske mehanizacije iznosi oko deset miliona dinara za jednu građevinsku sezonu. Pri ovoj proceni nisu kvantifikovani dodatni eksterni i interni efekti.

6. LITERATURA

- [1.] *Mutavdžić, M.*: Reparaturno navarivanje delova mašina i uređaja građevinske mehanizacije, radna verzija magistarske teze u rukopisu, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2006.
- [2.] *Čukić, R., Mutavdžić, M., Lazić, V., Jovanović, M., Ratković, N.*: Tehno-ekonomski efekti reparaturnog i proizvodnog navarivanja delova građevinske mehanizacije, "ZAVARIVANJE 2006", 26-29.04.2006., Zlatibor, (rad prihvaćen u celini, prezentiran na skupu i objavljen na CD-u).
- [3.] *Mutavdžić, M., Lazić, V., Jovanović, M., Josifović, D., Krstić, B.*: Izbor optimalne tehnologije reparaturnog navarivanja udarnih greda rotacionih drobilica, "Zavarivanje 2006", 26-29.04.2006., Zlatibor, (rad prihvaćen u celini, prezentiran na skupu i objavljen na CD-u).
- [4.] *Lazić, V., Mutavdžić, M., Jovanović, M., Adamović, D., Nedić, B.*: Proizvodno navarivanje lopatica mešalica asfaltnih baza, "Zavarivanje 2006", 26-29.04.2006., Zlatibor, (rad prihvaćen u celini, prezentiran na skupu i objavljen na CD-u).
- [5.] *Jovanović, M., Mutavdžić, M., Lazić, V., Nedić, B., Adamović, D.*: Reparaturno navarivanje noževa rotacionog uređaja za ravnanje terena, "Zavarivanje 2006", 26-29.04.2006., Zlatibor., (rad prihvaćen u celini, prezentiran na skupu i objavljen na CD-u).

- [6.] *Lazić, V., Jovanović, M., Ratković, N., Adamović, D., Vulović, R.*: Procena otpornosti na habanje navarenih slojeva izvedenih manganskom elektrodom, Tribologija u industriji, Originalni naučni rad, Godina XXII, Oktobar-Decembar 2002, Br. 3&4, Mašinski fakultet u Kragujevcu i Jugoslovensko društvo za tribologiju, str. 10-17, Kragujevac, Yugoslavia.
- [7.] *Jovanović, M., Lazić, V., Ratković, N., Adamović, D., Mutavdžić, M.*: Estimate of wear resistance of the hard-facced layers made by manganese electrode, 11th International Scietific Conference, 17-19. 09. 2003., University of Žilina, Slovak Republic, pp. 105-108.
- [8.] *Jovanović, M., Lazić, V., Mutavdžić, M., Adamović, D.*: Izbor optimalne tehnologije reparature zuba utovarne kašike, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, Originalni naučni rad, godina L, Vol. 50, No. 1-66, str. 11-20.
- [9.] *Mutavdžić, M., Lazić, V., Jovanović, M., Adamović, D., Ratković, N.*: Uticaj različitih vrsta stenskih minerala na izbor materijala radnih delova građevinske mehanizacije, YUTRIB '05, Kragujevac, str. 820-833.
- [10.] *Jovanović, M., Lazić, V., Mutavdžić, M., Ratković, N., Adamović, D.*: Izbor tehnologije reparaturnog navarivanja radnih delova građevinskih mašina izloženih intenzivnom abrazivnom habanju, YUTRIB '05, Kragujevac, str. 810-819.
- [11.] *Lazić, V., Jovanović, M., Adamović, D., Mutavdžić, M.*: Reparaturno navarivanje alata za obradu zemljišta izloženih abrazivnom habanju, Zavarivanje 2003., Medjunarodna konferencija, Beograd.
- [12.] *Katalozi*: Thyssen Marathon Edelstahl-Vosendorf, FEP-Plužine, Elvaco-Bijeljina, Železarna Jesenice-Fiprom, Bohler-Kapfenberg, Messer Griesheim-Frankfurt am Main, Esab-Göteborg, Lincoln Electric, USA, Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

PREGLED ČELIKA POVIŠENE JAČINE I OCENA NJIHOVE ZAVARLJIVOSTI

V. Lazić ¹⁾, M. Jovanović ²⁾, R. Vulović ³⁾, N. Ratković ⁴⁾

Rezime: Čelici povišene jačine se u današnje vreme nameću kao opšte prihvaćeni konstrukcioni materijal, posebno kada je reč o odgovornim zavarenim konstrukcijama. Razlozi za njihovu sve veću upotrebu se ogledaju u relativno niskoj ceni, povoljnim mehaničko-metalurškim svojstvima, lakšim konstrukcijama, poboljšanoj zavarljivosti i dr. S druge strane, svaki unos toplote dovodi do pogoršanja mehaničko-metalurških svojstava zavarenog spoja u celini. Posebno treba voditi računa o količini unete toplote pri zavarivanju, koja se mora strogo kontrolisati i održavati u preporučenim, najčešće veoma uskim granicama, ponekad i u kombinaciji sa temperaturom predgrevanja.

Cljučne reči: čelici povišene jačine, zavarljivost, mikrostruktura, tvrdoća

REVIEW OF HIGH STRENGTH STEELS AND ESTIMATES OF THEIR WELDABILITY

Abstract: High strength steels are today being considered as the generally accepted structural material, especially when one speaks about the responsible welded structures. Reasons for their ever-growing application are their relatively low price, convenient mechanical-metallurgical properties, lighter structures, improved weldability, etc. On the other hand, any heat input causes worsening of the mechanical-metallurgical properties of the welded joint as a whole. One should especially pay attention to the quantity of the heat that is brought in during welding, which has to be strictly controlled and maintained within the recommended, usually very narrow limits, sometimes in combination with the preheating temperature.

Key words: high strength steels, weldability, microstructure, hardness

1. UVOD

Uzimajući u obzir da zavarivanje predstavlja jedan od najviše primenjivanih postupaka spajanja metala, nameće se potreba da se ukaže na probleme koji su vezani za zavarljivost čelika povišene jačine, utoliko pre, što je stepen njihovog razvoja i

¹⁾ Doc. dr Vukić Lazić, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, vlazic@kg.ac.yu

²⁾ Prof. dr Milorad Jovanović, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija

³⁾ Radun Vulović, dipl. ing., Zastava vozila doo, Direkcija kontrole, Trg topolivca 4, Kragujevac, Srbija

⁴⁾ Mr Nada Ratković, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija

dobijanja danas takav da se oni relativno lako proizvode, a mehaničke osobine uskladjuju se prema zahtevima krajnjih korisnika. Zbog toga se u ovom radu posebna pažnja posvećuje opisu metalurških karakteristika ovih čelika, koje su osnova za razumevanje i rešavanje problema zavarljivosti. Za to je potrebno poznavati osnovne principe dobijanja čelika povišene jačine, tj. upoznati se sa različitim postupcima termomehaničke kontrolisane plastične prerade i sa uticajem mikrolegirajućih elemenata na mikrostrukturu i mehaničke osobine ovih čelika. Iz aspekta zavarljivosti, ocena sklonosti čelika povišene jačine ka obrazovanju prslina, posebno hladnih, kao i mere za njihovo sprečavanje, osnovni su predmet razmatranja u ovom radu. U tom smislu, pravilan izbor postupka zavarivanja, dodatnog materijala, temperature predgrevanja i parametara zavarivanja predstavljaju minimalne uslove neophodne da se u zavarenom spoju očuvaju mehaničke osobine osnovnog materijala.

2. METALURŠKI POSTUPCI POVEĆANJA NAPONA TEČENJA

Povećanje napona tečenja uz zadržavanje potrebnog nivoa drugih osobina, pre svega zavarljivosti, obradljivosti na hladno, otpornosti protiv krto g loma i zamora postiže se promenama mikrostrukture i submikrostrukture čelika povišene jačine. U najuticajnije faktore koji podižu napon tečenja ubrajaju se:

- a) rezultujuća struktura, koja može biti feritno-perlitna, formirana od aksikularnog⁵ ferita, bejnita, martenzita ili sorbita,
- b) supstitucijsko i intersticijsko ojačanje,
- c) ojačanje granica zrna i podzrna (subzrna),
- d) precipitaciono (taložno) ojačanje,
- e) dislokaciono ojačanje,
- f) raspodela i količina perlita i dr.

Faktori b) i f) posebno su izraženi kod čelika feritno-perlitne strukture, naročito ako je dobijen aksikularni ferit [3].

Ojačanje čvrstog rastvora ferita (α -Fe) postiže se pre svega legiranjem čelika sa Mn i Si. Sadržaj mangana se kreće obično od 1.5 do 2%, a sadržaj silicijuma oko 0.5%. Uticaj supstitucijskih legirajućih elemenata Mn i Si prekriva se dejstvom uvek u čeliku prisutnih intersticijski rastvorljivih elemenata kao što su C i N. Istina, ovi elementi ojačavaju ferit više nego supstitucijski elementi, ali Mn i Si istovremeno povećavaju prelaznu temperaturu i pogoršavaju zavarljivost. Stoga se iz aspekta zavarljivosti, pri debljini preseka do 25 mm sadržaj ugljenika ograničava na $C < 0.20\%$ odnosno ekvivalentni ugljenik na $CE < 0.45\%$:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}, \% \quad (1)$$

Ojačanje granica zrna postiže se usitnjavanjem strukture što dovodi do rasta napona tečenja, udarne žilavosti i sniženja prelazne temperature. Usitnjavanje zrna postiže se normalizacionim žarenjem, blokirajućim dejstvom nitrida Al i karbida V, Nb i Ti na rast austenitnog zrna, kao i kontrolisanim stepenom redukcije i temperature završnog valjanja; sve to odlaže rekristalizaciju austenita, tj. o grubljavanje austenitnih zrna pre

⁵ Aksikularni ferit je neravnoosni ferit koji nastaje iz austenita pri ubrzanom hladjenju kliznim i difuznim načinom transformacije. Temperatura nastanka ovog ferita nešto je viša od temperature pojave gornjeg bejnita.

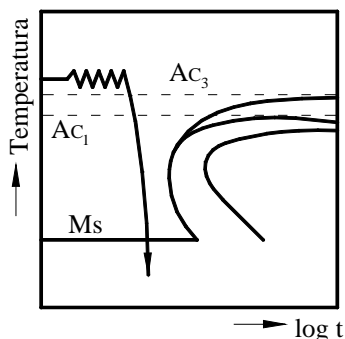
transformacije $\gamma \rightarrow \alpha$. Niobijum, titan i vanadijum prisutni u čvrstom rastvoru i njihovi karbidi i nitridi potpuno se izlučuju u toku valjanja te se rekristalizacija znatno usporava (koči). Odlaganju rekristalizacije austenita doprinosi i brzo hladjenje sa temperature završnog valjanja do temperature transformacije $\gamma \rightarrow \alpha$. Kod čelika sa niskim sadržajem ugljenika, ovaj postupak dovodi do pojave aksikularnog ferita. Kontrolisan stepen redukcije, temperatura valjanja i brzina hladjenja naziva se jednom rečju kontrolisano valjanje i hladjenje. Tendencija je da se valjanje završi pri temperaturama 20-30°C iznad A_{C3} i da se po završenom valjanju ide na intenzivno hladjenje. Ovaj postupak dovodi do povećanja napona tečenja i do 150 MPa u odnosu na normalizaciono žareno stanje, pri istom nivou udarne žilavosti [3].

Precipitaciono ojačanje nastaje izlučivanjem karbida, karbonitrida odnosno nitrida Nb, Ti i V u feritu pri kontrolisanom hladjenju sa temperature valjanja ili sa temperature normalizacionog žarenja. Potrebni sadržaji ovih elemenata veoma su niski, obično ispod 0.10% (izuzetno do 0.20%), te su zato ti elementi nazvani mikrolegirajući. Disperziono ojačanje je u uskoj vezi sa veličinom zrna. Sitnije zrno povećava to ojačanje [3, 11, 12].

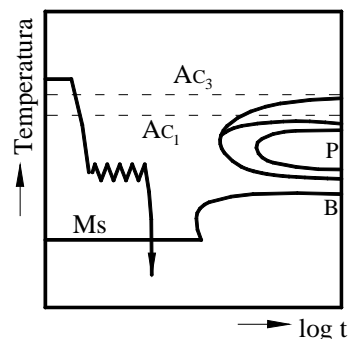
Perlit povećava zateznu jačinu čelika dok na napon tečenja manje utiče, ali dovodi do pada udarne žilavosti pa se ne preporučuje njegovo povećanje. Stoga se teži ka proizvodnji čelika sniženog sadržaja perlita, tj. ugljenika na ispod 0.10%. Čelici perlitno-feritne strukture sa aksikularnim feritom kod kojih se navedeni mehanizmi izrazito ispoljavaju, dostižu napon tečenja do 500 MPa. Čelici sa višim naponom tečenja kompleksno su legirani i imaju strukture aksikularnog ferita i bejnita (dobijeni kontrolisanim valjanjem i hladjenjem, odnosno hladjenjem posle normalizacionog žarenja) ili martenzita i sorbita dobijene uobičajenim kaljenjem i otpuštanjem, tj. poboljšanjem [3, 11, 12].

3. TERMOMEHANIČKI POSTUPCI POVEĆANJA NAPONA TEČENJA

Poslednjih godina u mnogim industrijski razvijenim zemljama znatna pažnja se posvećuje izradi niskolegiranih i srednjelegiranih konstrukcionih čelika, tzv. termomehanički obradjenih čelika (TMO). Od raznih varijanti TMO najviše se primenjuju dva postupka i to: visokotemperaturska TMO i niskotemperaturska TMO (slike 1 i 2) [3].



Slika 1. Shema visokotemperaturske termomehaničke obrade (VTMO)



Slika 2. Shema niskotemperaturske termomehaničke obrade (NTMO)

Pri VTMO (slika 1) čelik se intenzivno plastično preradjuje u oblasti stabilnog austenita na temperaturi nešto iznad A_{C3} -linije. Stepenn deformacije kreće se u granicama 40 do 90%. U veoma deformisanim zrnima austenita odvija se, pri temperaturi plastične prerade, oporavljanje i rekristalizacija. Odmah po pojavi novih rekristalisanih zrna čelik se naglo hladi, odnosno kali. Nastaje veoma sitan martenzit, koji se zatim otpušta na niskoj temperaturi. Ovaj se postupak može primeniti i kod nelegiranih i niskolegiranih čelika. Kod niskolegiranih podeutektoidnih čelika se po VTMO dostiže zatezna jačina čak do 2500 MPa [3].

Niskotemperaturna termomehanička prerada je shematski prikazana na slici 2. Reč je o pothladjivanju do oblasti metastabilnog austenita (obično 500 do 800°C) i intenzivne plastične prerade na toj temperaturi. Plastična prerada u navedenom temperaturnom intervalu je obrada ispod temperature rekristalizacije austenita. Po završenoj plastičnoj preradi čelik se kali i zatim otpušta na niskoj temperaturi. Velika gustina dislokacija kristalne rešetke austenita dovodi do pojave veoma sitnog martenzita. Ovaj postupak se može uspešno primeniti samo kod dobro prokaljivih čelika, koji imaju dovoljno dug inkubacioni period izotermičke promene austenita i dovoljno širok temperaturni interval metastabilnog austenita između oblasti perlitnog (P) i bejnitnog (B) preobražaja (sl. 2). Čelici sa višim sadržajem primesa dostižu posle NTMO zateznu jačinu oko 3000 MPa [3].

4. GLAVNE GRUPE ZAVARLJIVIH ČELIKA POVIŠENE JAČINE I OCENA NJIHOVE ZAVARLJIVOSTI

Svi čelici sa naponom tečenja preko 360 MPa svrstavaju se u čelike povišene jačine, a problemi njihove zavarljivosti moraju se za svaku grupu čelika posebno razmatrati. U ovom radu daje se podela i kratak opis ovih čelika i ističu specifične teškoće vezane za zavarivanje, izbor postupka zavarivanja i optimalne tehnologije. Razume se da je pre konačnog izbora potrebno u skladu sa normativima (JUS EN 288) verifikovati predloženu tehnologiju zavarivanja [1, 2, 3, 8, 9, 10, 11].

U literaturi se mogu naći različiti načini podele ovih čelika, zavisno od stepena razvoja i njihove primene u pojedinim zemljama. Tako se npr. prema poljskim standardima oni dele na: C-Mn čelike, mikrolegirane čelike i niskolegirane čelike povišene jačine. Prema češkim standardima razlikuju se mikrolegirani feritno-perlitni čelici, bejnitni niskolegirani normalizovani i otpušteni čelici kao i niskolegirani poboljšani čelici. U nemačkim standardima ovi čelici su obuhvaćeni standardima DIN 17100 i DIN 17200.

U našem standardu JUS C.B0.500 daje se pregled opštih konstrukcionih C-Mn čelika, dok standard JUS C.B0.502 uključuje i mikrolegirane fino-zrne čelike povišene jačine. Ostaje pitanje da li atribut fino-zrni treba dodati samo mikrolegiranim čelicima, budući da se gotovo svi čelici ove klase odlikuju sitnozrnastom gradjom metalnih zrna.

4.1 Problemi zavarljivosti C-Mn čelika

Povećanje svojstava otpornosti kod ovih perlitno-feritnih čelika nastaje usled porasta udela perlita u strukturi, ojačanja ferita manganom rastvorenim u α -gvoždju i usitnjavanjem metalnih zrna [1, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 14].

Čelici tipa C-Mn sa ekvivalentnim ugljenikom $CE < 0.45\%$ i $s < 25\text{ mm}$ smatraju se dobro zavarljivim bez predgrevanja. Za veće debljine, kao i pri zavarivanju na sniženim temperaturama neophodno je predgrevanje ili zavarivanje kratkim zavarima.

Osnovni problem pri zavarivanju ovih čelika je sklonost ka hladnim prslinama, jer se perlit iznad A_{C1} temperature transformiše u austenit koji pri brzom hladjenju zone uticaja toplote (ZUT-a) može preći u martenzit. Zbog toga se mora primeniti potpuno ili lokalno predgrevanje i što veća pogonska energija zavarivanja. U obzir dolaze isključivo postupci i tehnologije koje se odlikuju niskim sadržajem difundovanog vodonika, što kod REL postupka odgovara korišćenju bazičnih sušenih elektroda i čistoj žici kod zavarivanja u zaštiti CO_2 .

C-Mn čelici isporučuju se u obliku šipki, profila i limova, a namenjeni su za mostogradnju, hidrogradnju, građevinarstvo, rezervoare i slično.

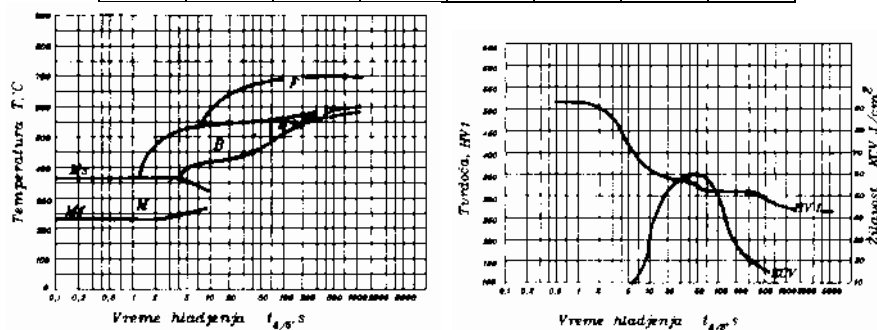
4.2 Problemi zavarljivosti mikrolegiranih (finozrnih) čelika

Na zavarljivost mikrolegiranih čelika presudno utiče sklonost ka pojavi hladnih prslina, što zavisi od veličine ekvivalentnog ugljenika, debljine i tipa spoja. One se sprečavaju predgrevanjem koje utiče ne samo na obrazovanje povoljne strukture ZUT-a već i na sniženje zaostalih napona i količine difuznog vodonika iz šava u ZUT-u. Temperatura predgrevanja ovde se povezuje sa minimalnom vrednošću međjuslojne temperature i može se odrediti primenom odgovarajućeg dijagrama [11] ili pomoću poznatih parametarskih jednačina [1, 10, 13].

Problem zavarljivosti ove grupe čelika razmotrićemo na primeru čelika oznake ČRV 500. Na osnovu podataka iz KHZ dijagrama za čelik ČRV 500 (sl. 3) proizilazi da se mora ograničiti i maksimalna vrednost pogonske energije da bi se dobila optimalna žilavost ZUT-a (kriva KCV, sl. 3- desno). Ovo se naročito odnosi na CO_2 postupak i zavarivanje pod prahom, dok se kod REL postupka parametri zavarivanja određeni iz uslova pravilnog formiranja šava uklapaju u tražene granice žilavosti [1, 4, 6, 7, 10, 11].

Hemijski sastav, %:

C	Mn	Si	P	S	Al	Cr	V
0.19	1.56	0.27	0.017	0.024	0.033	0.04	0.17



Slika 3. Modifikovani KHZ dijagram za ČRV 500

Preliminarno se zavarljivost finozrnih mikrolegiranih čelika sa sadržajem, (%): $0.1 \div 0.18$ C; $1.0 \div 1.6$ Mn i $0.025 \div 0.095$ Nb može proceniti pomoću sledeće formule za ekvivalentni ugljenik:

$$CE = C + \frac{Mn}{10} + 3 \cdot Nb, \% \quad (2)$$

Slično se za finozne čelike sa dodatkom vanadijuma i azota izračunava:

$$CE = C + \frac{Mn}{10} + \frac{V}{3} + 3 \cdot N, \% \quad (3)$$

Čelici kojima odgovara $CE < 0.35\%$ mogu se zavarivati bez posebnih mera, dok se za čelike sa $CE = 0.35 \div 0.45\%$ pri zavarivanju pod prahom i u zaštiti CO_2 moraju preduzeti posebne mere [9, 10, 11]. One se uglavnom odnose na povezivanje temperature predgrevanja sa pogonskom energijom i međuslojnom temperaturom.

Mikrolegirani čelici povišene jačine upotrebljavaju se za cevovode visokog pritiska, sudove pod pritiskom, elemente drumskih vozila, železničke vagona i cisterne za prevoz gasa, mostove, industrijske hale i dr.

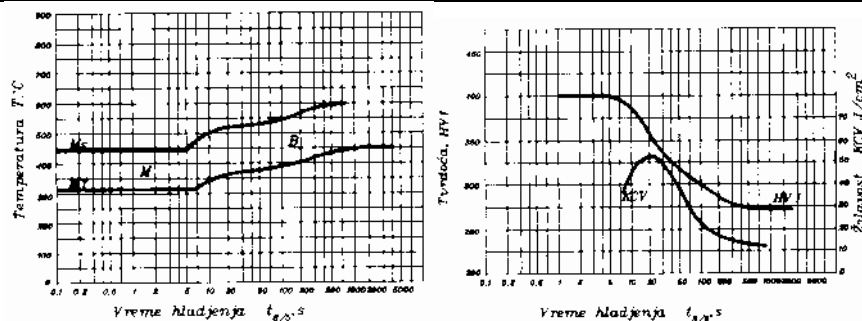
4.3 Problemi zavarljivosti niskolegiranih čelika povišene jačine

a) Bejnitni čelici

Osnovni problemi pri zavarivanju ovih čelika proističu iz njihove sklonosti ka hladnim prslinama i padu žilavosti u ZUT-u. Ovaj se problem može rešiti smanjenjem brzine hlađenja posle zavarivanja što se postiže predgrevanjem ili povećanjem pogonske energije. Radi ilustracije kako se biraju parametri zavarivanja bejnitnih čelika, uzećemo poljski čelik 15HNMBM čiji je KHZ dijagram prikazan na slici 4. Sa ovog dijagrama se vidi da se za svako vreme $t_{8/5} > 8$ s dobija čisto bejnitna struktura. Ako se za kriterijum kvaliteta usvoji da žilavost ZUT-a ne opadne ispod $40 J/cm^2$, onda vreme $t_{8/5}$ može da varira od $8 \div 60$ s, što praktično znači da za REL postupak treba definisati samo donje granično vreme $t_{8/5}$, i na taj način proveriti usvojene parametre, odnosno tehnologiju zavarivanja [1, 2].

Hemijski sastav, %

C	Mn	Si	P	S	Al	Cr	Ni	Mo	V	B
0.10	0.96	0.41	0.018	0.016	0.017	0.58	0.61	0.33	0.10	0.003



Slika 4. Modifikovani KHZ dijagram bejnitnog čelika

b) Niskolegirani poboljšani čelici (Q+T - quenching + tempering)

Većina čelika izradjena kaljenjem i otpuštanjem (Q+T-čelici) su finozni čelici, to znači da se kale sa temperature pri kojoj su nastala sitna austenitna zrna. Na taj se način mogu dobiti čelični poluproizvodi velike jačine i dobre zavarljivosti.

Budući da su mehaničke osobine niskolegiranih poboljšanih čelika dobijene optimalnom termičkom obradom, jasno je da će se te osobine pri zavarivanju menjati

usled dejstva temperaturnih ciklusa zavarivanja. Zbog toga, pri izboru termičkog režima zavarivanja nije dovoljno da se uzme u obzir samo hemijski sastav, već i činjenica da su korisne osobine postignute i termičkom obradom poboljšanja. Iz ovog razloga se mora za svaki čelik ove klase definisati opseg variranja brzine hladjenja, odakle proizilaze i granične vrednosti pogonske energije, kao i vreme zadržavanja ZUT-a iznad A_{C_3} -temperature. Donja granična vrednost pogonske energije određuje se iz uslova da se spreče hladne prsline, a njena maksimalna vrednost kao i vreme zadržavanja iznad A_{C_3} iz uslova da se svede na najmanju meru pad jačine u delu ZUT-a.

Za razliku od drugih zavarljivih konstrukcionih čelika, kod Q+T-čelika bolji se rezultati postižu primenom tehnologija sa nižim pogonskim energijama, kao što su REL i zavarivanje u zaštiti gasova. Naročito za ove čelike važi preporuka da se tehnologija zavarivanja propisuje povezano sa traženim izlaznim karakteristikama zavarenog spoja. Prema literaturnim podacima potrebno je da q_l bude u granicama $8\div 12$ kJ/cm pri REL-zavarivanju i 13 do 30 kJ/cm za EPP postupak [5, 6, 8, 9, 11].

Pošto su varijacije q_l manje ili više ograničene, jedini način da se spreči pojava hladnih prsline jeste predgrevanje, održavanje medjuslojne temperature i ponekad dogrevanje. Bitna je širina pojasa kod lokalnog predgrevanja, jer i to utiče na brzinu hladjenja do 300°C , kao i na difuziju vodonika iz šava u ZUT. Ovo se naročito odnosi na prvi, tj. koreni zavar za koji je sklonost ka prslinama najveća [1, 11].

5. ZAKLJUČAK

Pri projektovanju odgovornih zavarenih konstrukcija jedan od najznačajnijih koraka je i pravilan izbor osnovnog materijala. U literaturi se mogu naći odvojeno pojedinačni podaci o njima, bez detaljnije i potpunije podele u vezi sa namenom i radnim uslovima. Ta činjenica nameće potrebu da se na jednom mestu da pregled, podela i namena zavarljivih konstrukcionih čelika povišene jačine sa odgovarajućim karakteristikama čime bi se znatno olakšao njihov izbor. U ovom radu pokušali smo da sistematizujemo podelu čelika povišene jačine, ukažemo na postupke povećanja mehaničkih svojstava i olakšamo izbor nekih čelika povišene jačine, koji se najviše praktično primenjuju. Pored toga, ukazujemo na potrebu da se pri projektovanju zavarenih konstrukcija uspostavi veza izabrane tehnologije zavarivanja i korisnih izlaznih osobina zavarenog spoja preko raspoloživih KHZ dijagrama, koja mora biti overena naknadnim eksperimentalnim probama kako na modelima tako i na realnim konstrukcijama.

6. LITERATURA

- [1.] Jovanović, M., Lazić, V., Josifović, D., Adamović, D.: Pregled visokovrednih konstrukcionih čelika i ocena njihove zavarljivosti, Zbornik MF, ISBN 86-80581-25-9, Kragujevac, 1995., str. 125-132.
- [2.] Lazić, V., Adamović, D., Josifović, D., Jovanović, M.: Prilog definisanju graničnih parametara zavarivanja konstrukcionih čelika povišene jačine, Zbornik MF, ISBN 86-80581-25-9, Kragujevac, 1995., str. 133-140.
- [3.] Beneš, V., Macek, K., Zilvar, V., Zuna, P.: Nauka o materialu II, Edični sredisko ČVUT, Fakulta strojni, Praha, 1989.

- [4.] *Lazić, V., Josifović, D., Jovanović, M.*: Validity of some formulae for calculation of cooling time during welding, Zavarivač, Originalni naučni rad, Vol. 40 (2), 1995., Beograd.
- [5.] *Lazić, V., Jovanović, M., Rajačić, D., Josifović, D., Adamović, D.*: Navarivanje kuke kamionske dizalice, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, Originalni naučni rad, Vol.42, No.3, str. 159-164.
- [6.] *Josifović, D., Jovanović, M., Lazić, V.*: The effect of welding conditions on the heat affected zone mechanical properties in low-alloy steel arc welding, 15th Conference on Materials Testing in Metallurgy and 11th Congress on Materials Testing, Volume 1, pp. 343/348, Euromat '94, Baltonszeplak, Hungary.
- [7.] *Lazić, V., Josifović, D., Jovanović, M.*: Ocena tačnosti empirijskih izraza za proračun vremena hladjenja pri zavarivanju, Medjunarodno savetovanje - Zavarivanje '94, Novi Sad, 1994., str. 59-62.
- [8.] *Jakubiec, M., Lesinski, K., Czajkowski, H.*: Technologia konstrukcji spawanych, WNT, Warszawa, 1987.
- [9.] *Pilarczyk, J.*: Metaloznawstwo spawalnicza, WPW, Warszawa, 1977.
- [10.] *Brozda, J., Pilarczyk, J., Zeman, M.*: Spawalnicze wykresy przemian austenitu CTPc-S, Wydawnictwo "Slask", Katowice, 1983.
- [11.] *Jovanović, M., Adamović, D., Lazić, V.*: Priručnik za tehnologiju zavarivanja, Jugoslovensko društvo za tribologiju, Kragujevac, 1995.
- [12.] *M., Jovanović, D., Adamović, V., Lazić, N. Ratković*: Mašinski materijali, univerzitetski udžbenik, Mašinski fakultet u Kragujevcu, ISBN 86-80581-55-0, Kragujevac, 2003.
- [13.] *Milosavljević, M., Radojković, M., Kuzmanović, B.*: Osnovi čeličnih konstrukcija, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1986.
- [14.] *Ondrejček, P.*: Zvaranie vysokoepvnyh konštrukčnych oceli, VUZ, Bratislava, 1977., (interna publikacija).

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

IZBOR OPTIMALNE TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA CEVI POLUOBLOGE I KUTIJE ZADNJEG MOSTA KAMIONA VATROGASNOG VOZILA

V. Lazić ¹⁾, M. Jovanović ²⁾, R. Vulović ³⁾, N. Ratković ⁴⁾

Rezime: U radu se analizira problematika zavarivanja cevi poluobloga i kutije mosta koje čine sklop zadnjeg mosta kamiona. Da bi se sprečilo okretanje ovog tvrdo presovanog sklopa, izvodi se njihovo spajanje u specijalnim perforiranim spojevima MAG postupkom zavarivanja. Analizom postojeće tehnologije zavarivanja, zaključeno je da su deformacije sklopa i ostvarene metalurško-mehaničke osobine pojedinih zona spoja nepovoljne. Iz tih razloga izvršena su dodatna eksperimentalna ispitivanja u cilju izbora najpovoljnije tehnologije zavarivanja, koja uočene nedostatke svodi u dozvoljene granice.

Ključne reči: zadnji most kamiona, niskolegirani čelik za poboljšanje, nodularni liv, zavarivanje, dodatni metal.

SELECTION OF OPTIMUM TECHNOLOGY FOR WELDING OF THE REAR AXLE SEMI-HOUSING AND BOX OF THE FIRE TRUCKS

Abstract: In this paper are analyzed problems of welding the semi-housing and box of the fire truck rear axle assembly. To prevent the turning of this hard-pressed assembly, its joining is done in special perforated layers by the MAG welding procedure. By analysis of the existing technology it was established that that deformations of the assembly and realized metallurgical and mechanical properties of individual layers are unsatisfactory. Those were the reasons to perform additional experimental tests in order to select the optimum technology of welding, which would reduce the observed deficiencies into the acceptable limits.

Key words: fire truck rear axle, low alloyed tempered steel, nodular cast iron, welding, filler metal.

1. UVOD

U proizvodnom programu Zastava kamioni, cevi poluobloge i kutija zadnjeg mosta kamiona zavaruju se postupcima MAG i REL. Cev poluobloge je izradjena od

¹⁾ Doc. dr Vukić Lazić, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, vlazic@kg.ac.yu

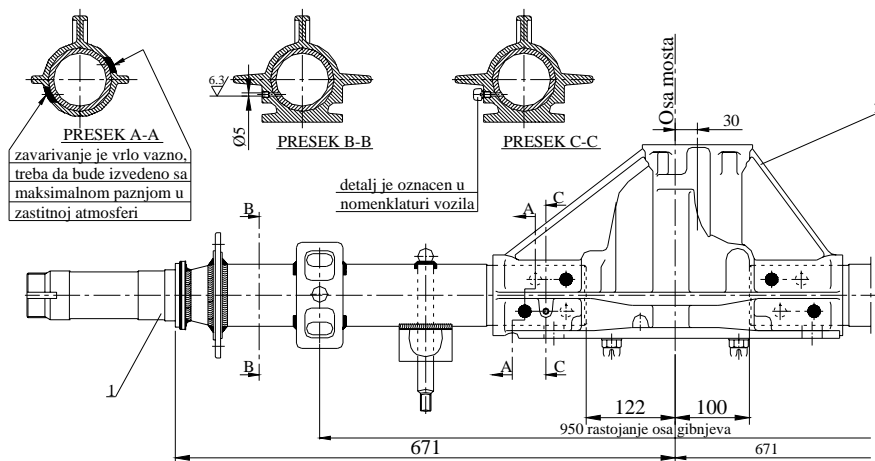
²⁾ Prof. dr Milorad Jovanović, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, Srbija

³⁾ Radun Vulović, dipl. ing., Zastava vozila doo, Direkcija kontrole, Trg topolivca 4, Kragujevac, Srbija, deportivo@microsky.net

⁴⁾ Mr Nada Ratković, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, Srbija

niskolegiranog čelika za poboljšanje (povišene jačine), a kutija mosta od nodularnog liva. Oba materijala se smatraju uslovno zavarljivim i sklonim ka zakaljivanju, što uzrokuje povećanje tvrdoće i pojavu deformacija iznad propisanih. Ovdje se daju smernice za umanjene postojećih problema putem pravilnog izbora dodatnog materijala, režima i redosleda zavarivanja.

U postojećim proizvodnim uslovima pri zavarivanju cevi poluobloge i kutije mosta (slika 1) od različitih materijala, bili su uočeni brojni problemi koji su se ogledali u otežanom spajanju ovih materijala, povećanju deformacija ukupnog sklopa, kao i deformacija pojedinih obradjenih površina kutije mosta. Takodje, primenjenim postupkom i tehnologijom zavarivanja došlo je do rasta tvrdoće u zoni uticaja toplote (ZUT-u) oba dela, kao i do nastanka nepovoljne strukture. Zbog toga se na zahtev "Zastava kamioni" pristupilo detaljnoj analizi izvodjenja ove operacije zavarivanja [2].



Slika 1. Sklop zadnjeg mosta kamiona

2. OSNOVNI MATERIJALI

2.1 Cev poluobloge

Cev poluobloge se izrađuje kovanjem od čelika 25 MnCr6 (UNI 6403, FIAT IVECO 52541), propisanog hemijskog sastava (tab. 1) i mehaničkih osobina (tab. 2).

Tablica 1. Hemijski sastav osnovnog materijala

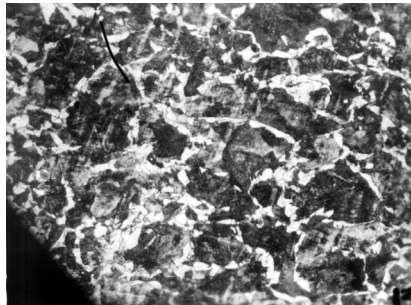
Oznaka	Standard	Zahtev	Sadržaj hemijskih elemenata, %							
			C	Mn	Si	P	S	Cr	Cu	Al
25MnCr6	UNI 6403	Propisan	0.20-0.28	1.20-1.70	0.15-0.35	max 0.035	0.02-0.04	0.30-0.60	max 0.30	-
	IVECO-52541	Analiziran	0.26	1.28	0.15	0.012	0.02	0.40	-	0.02-0.05

Tablica 2. Mehaničke osobine osnovnog metala, debljina i mikrostruktura

Oznaka	Zahtev	R _m , MPa	R _p , MPa	A ₅ , %	HV	s, mm	Mikrostruktura
25MnCr6	Propisan	785-930	≥640	≥14	164-204	10 ^{±1}	Bejnit + Sorbit
	Analiziran	875	780	18	172	10	Medjufazna struktura poboljšanja – sorbitna

Termo-fizičke karakteristike čelika 25 MnCr6: gustina, $\rho = 7.85 \text{ kg/dm}^3$; modul elastičnosti, $E = 206000 \text{ MPa}$; modul klizanja, $G = 81400 \text{ MPa}$; koeficijent linearnog širenja, $\alpha = 11.2 \cdot 10^{-6} \text{ m/mK}$ na 20 do 100°C; termička provodnost, $\lambda = 0.427 \text{ W/cmK}$.

Ovaj čelik spada u klasu niskolegiranih čelika za poboljšanje ($\approx \text{Č4730}$) i upotrebljava se za izradu delova koji su izloženi znatnijim ili veoma jakim statičkim i dinamičkim opterećenjima. Posle termičke obrade poboljšanja, navedeni čelik ima gotovo ista mehanička svojstva po čitavom preseku dela.



Slika 2. Mikrostruktura cevi poluobloge (200×)

Manganski čelici za poboljšanje primenjuju se isključivo u poboljšanom stanju. Mangan dovodi do povećanja zatezne čvrstoće na sobnim temperaturama. Nije podložan otpusnoj krtosti. Čelici legirani manganom mogu se zavarivati primenom posebnih mera, što znači da spadaju u uslovno zavarljive čelike. Mikrostruktura cevi poluobloge, ocenjena je kao medjufazna struktura poboljšanja (sorbitna) (slika 2).

2.2 Kutija mosta – materijal, hemijski sastav i druge najvažnije karakteristike

2.2.1 Materijal kutije mosta

Materijal kutije mosta je nodularni liv Gh 60-38-10, St. 52215-IVECO, što približno odgovara NL 60, JUS J2.022. Proizvodjač kutije je Livnica Kikinda. Nodularni liv odnosno nodularno liveno gvoždje je u suštini visokokvalitetno sivo liveno gvoždje sa grafitom zrnastog (nodularnog, sfernog) oblika, ravnomerno raspoređenim u metalnoj matrici. Sferni tj. loptasti oblik grafita postiže se uvodjenjem u prethodno desumporisani rastop male količine magnezijuma (u metalnom obliku ili legure sa Cu ili Ni) i zatim modifikacijom. Time se zadržavaju dobre livačke osobine kao kod sivog liva, uz neuporedivo bolje mehaničke osobine koje dostižu ili čak prevazilaze odlivke od čeličnog liva. Mehaničke osobine se mogu čak upoređivati sa termički obradjenim čelicima. Odlivci od nodularnog liva, dakle, uspešno konkurišu ne samo čeličnim odlivcima, već i otkovcima. Iz navedenih razloga, kao i ekonomskih prednosti, za kutiju zadnjeg mosta je predviđen nodularni liv Gh 60-38-10.

Pre ugradnje livenih kutija u sklopove kamiona, trebalo je dobiti povoljan test homologacije IVECO-TESTING/Labs. Posle svih neophodnih ispitivanja (rendgenska, hemijska, mehanička, metalografska i dr.) i dobijanja povoljnih rezultata, delovi su poslani na homologaciju i posle dobijanja pozitivnih rezultata pušteni u proizvodnju.

Pre homologacije, izvršena je selekcija odlivaka zadnjeg mosta rendgenskom kontrolom. To je obavljeno u I Petoljetci – Trstenik na aparatu sa ekranom. Na ispitivanje je poslato 15 odlivaka. Ocenom dobar ocenjeno je šest odlivaka, ocenom tolerantni dva i ocenom loš sedam odlivaka kutije mosta.

Hemijski sastav kutije mosta – propisan i analiziran dat je u tablici 3.

Tablica 3. Hemijski sastav kutije mosta

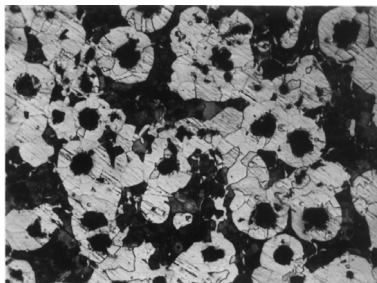
Standard	Hemijski sastav	C	Mn	Si	P	S	Ni	Mg
IVECO St. 52215	Propisan	3.7	0.40	2.6	≤ 0.05	≤ 0.015	≤ 1.5	≤ 0.01
	Analiziran	3.65	0.35	2.52	0.026	0.004	0.08	0.05

Odredjivane su i mehaničke osobine (R_m , R_{eH} i A_5) kutije mosta na epruvetama isečenim iz kutije. Mesta uzimanja uzoraka određena su internim standardom IVECO-a (dva mesta po dve epruvete). Dimenzije epruveta su bile: merni prečnik- $d_0 = 6 \text{ mm}$, merna dužina- $l_0 = 30 \text{ mm}$, ukupna dužina- $l_t = 95 \text{ mm}$. Rezultati ispitivanja zatezanjem, kao i izmerene tvrdoće (tri različita mesta) naznačenih mesta kutije, dati su u tablici 4.

Tablica 4. Mehaničke osobine kutije mosta [1, 3, 6]

Gh 60-38-10	Zatezna čvrstoća, R_m, MPa	Napon tečenja, R_{eH}, MPa	Izduženje, $A_5, \%$	Tvrdoća, HB
Zahtev standarda IVECO-a, St. 52215	≥ 590	≥ 370	≥ 10	190-250
Mesto 1	601, 601	389, 389	13.3, 13.6	197, 179, 229
Mesto 2	552	460	12.0	207, 179, 229
	552	460	12.4	
Mesto 3	-	-	-	197, 184, 229

Prema standardu IVECO-a St. 52215 potrebno je da odlivak ima perlitno-feritnu mikrostrukturu matrice (osnove) sa učešćem cementita od max. 5% (sl. 3).



Slika 3. Mikrostruktura kutije mosta (100×)

3. IZBOR DODATNOG METALA ZA ZAVARIVANJE KUTIJE MOSTA I CEVI POLUOBLOGE

Posle završne pripreme ramena mosta (levog i desnog) i obrade kutije zadnjeg mosta na konačne dimenzije, na specijalnoj horizontalnoj presi nabijaju se ramena u

kutiju mosta formirajući tako sklop zadnjeg mosta kamiona (sl. 1, poz. 1 i 2). Da bi se ramena mosta i cevi poluobloga osigurala od eventualnog obrtanja, predviđeno je i zavarivanje kutije za cev poluobloge na oba kraja kutije sa po četiri perforirana spoja.

Prema tehnološkoj dokumentaciji IVECO-a spajanje se izvodi MAG postupkom zavarivanja pomoću čelične žice prečnika 1.2 mm, tako što se polažu dva sloja. Preporučuje se kružno kretanje gorionika i uspostavljanje i održavanje luka na na cevi poluobloge, a ne na kutiji da ne bi došlo do pregorevanja ivica perforiranog žleba. Takodje, preporučuje se što manji unos toplote što je u saglasnosti i sa literaturnim preporukama [1, 2, 3, 5].

Na probnim uzorcima zavarenih spojeva izvedena su metalografska ispitivanja, koja su otkrila nepovoljnu strukturu (ledeburit, martenzit) i veoma visoke vrednosti tvrdoće (posebno u ZUT-u kutije mosta). Takodje, na sklopovima su posle nabijanja merene određene kote i proveravani traženi geometrijski uslovi. Zatim je izvodjena operacija zavarivanja i ponovljena pomenuta merenja na troosnoj koordinatnoj mašini za merenje "Opton". Pri ovim merenjima uočene su deformacije celog sklopa (ugaona deformacija ramena u odnosu na prvobitnu osu cevi) i deformacije finalno obradjenih površina kutije mosta – posebno čela predviđenog za oslanjanje ležaja.

Napred navedeni razlozi ukazivali su da treba korigovati dotadašnju tehnologiju kako bi se umanjili ili pak otklonili uočeni nedostaci. U tom cilju odlučili smo se za probna zavarivanja kako sa različitom MAG tehnologijom (troslojno zavarivanje cevi i kutije) tako i sa REL zavarivanjem pomoću različitih dodatnih materijala (UTP 88H i SUPERFONTE NiFe). Kao dodatni materijal u redovnoj proizvodnji pri zavarivanju u zaštiti CO₂ koristi se puna žica VAC 60, d = 1.2 mm (DIN 8559 SG-2), a probna zavarivanja REL-om izvodjena su elektrodom UTP 88H, d= 2.5 mm (DIN 8573: ENiFeBG1) odnosno SUPERFONTE NiFe, d = 4 mm (DIN 8573: ENiFeC2). U tab. 5 date su neke najvažnije karakteristike korišćenih dodatnih materijala.

Tablica 5. Hemijski sastav žice, vrsta gasa i mehaničke osobine čistog zavara [6]

Vrsta dodatnog materijala	Hemijski sastav, %						Vrsta zaštite	Mehaničke osobine čistog zavara			
	C	Si	Mn	Ni	Cu	Fe		R _m , MPa	R _{eH} , MPa	A ₅ , %	KV, J
VAC 60	0.1	0.9	1.5	-	-	97.5	CO ₂	510-590	410-490	22-30	80-125
UTP 88H	1.4	1	0.5	ostalo	2	2	-	500	-	-	-
SUPERFONTE NiFe	-	-	-	53	2	43	-	450	-	-	-

4. OCENA ZAVARLJIVOSTI OSNOVNIH MATERIJALA

4.1 Ocena zavarljivosti materijala kutije

Pri zavarivanju REL postupkom, nodularnog liva i uopšte livenog gvoždja, preporučuju se dve tehnike zavarivanja: na toplo i na hladno [2, 5]. Iz tehnoloških razloga odustalo se od zavarivanja na toplo, već se pristupilo hladnom zavarivanju. Najbolji rezultati se ostvaruju ako se ispoštuje uobičajena REL tehnologija zavarivanja. Za izvodjenje prvog sloja u žlebu treba izabrati elektrodu što manjeg prečnika i najma-

nju moguću jačinu struje zavarivanja. Elektroda se pri zavarivanju vodi vertikalno uz što kraći električni luk. Polažu se tanki zavari, širine do najviše dva prečnika elektrode ($\approx 5-7 \text{ mm}$) i dužine ne veće od deset prečnika. Zavar se posle polaganja iskiva alatom sa zatupljenom glavom, a čeličnom četkom uklanja se obijena troska, a naredni zavari nanose tek posle hladjenja prethodnog zavara do sobne temperature. Električni luk se ponovno uspostavlja na već nanetom zavaru, a ne na osnovnom materijalu. Ovako propisana tehnologija omogućava da se izvedu spojevi bez prslina i poroznosti.

4.2 Ocena zavarljivosti materijala cevi poluobloge

Cev poluobloge (poz. 1-sl. 1) izradjena je od niskolegirano \check{c} elika veoma osetljivog na zavarivanje. Prema računskim metodama za procenu zavarljivosti ovog čelika, isti bi trebalo predgrevati, ili odabrati pogodnu tehnologiju zavarivanja. Na osnovu odgovarajućeg dijagrama kontinualnog hladjenja u uslovima zavarivanja, može se odrediti optimalno vreme hladjenja između 800 i 500°C ($t_{8/5}$), odnosno mogu se orijentaciono proceniti izlazne - korisne osobine spoja proistekle iz odgovarajućeg režima zavarivanja ili temperature predgrevanja [3, 4]. Budući da se ovde spajaju čelik i nodularni liv, varijacije procesnih parametara zavarivanja znatno su sužene i vezane su za znatno lošiju zavarljivost nodularnog liva. Zbog velikog sadržaja ugljenika u nodularnom livu, sklonost ka zakaljivanju je jako izražena, pa se mora zavarivati uz posebne mere predostrožnosti (sa predgrevanjem, specijalnim dodatnim materijalom, malom pogonskom energijom zavarivanja i sl.). Imajući to u vidu i raspoloživu opremu, izvršena su odgovarajuća eksperimentalna ispitivanja zasnovana na MAG i REL postupku zavarivanja.

5. OSNOVNI PARAMETRI ZAVARIVANJA

Na osnovu preporuka za izbor parametara zavarivanja i odgovarajućih računskih metoda izvršen je izbor parametara za svaki od dodatnih materijala [4, 5, 6]. Parametri zavarivanja proizilaze iz lošije zavarljivog materijala, tj. kutije mosta od nodularnog liva. To omogućuje da se izvedu probna zavarivanja variranjem osnovnih parametara i da se potom izvede kontrola takvih spojeva. Merenjem ostvarene dubine uvarivanja, tvrdoće i mikrostrukture došlo se do optimalnih režima zavarivanja (tab. 6).

Tablica 6. Osnovni parametri zavarivanja i dubina uvarivanja

Dodatni materijal	Postupak zavarivanja	Broj slojeva	Parametri zavarivanja				Dubina uvarivanja	
			I, A	U, V	v_z , cm/s	Q_G , l/min	δ_1 , mm	δ_2 , mm
VAC 60	MAG	2	250	30	0.84	10-15	1.5	1.3
VAC 60	MAG	3	170	25	0.31	10-15	1.7	1.8
UTP 88H	REL	3	70	23	0.15	-	2	1.9
SUPERFONTE NiFe	REL	3	70	23	0.10	-	2.7	2.5

Za ispitivanje mikrostrukture metalografski izbrusak je pripremljen iz isečka koji je prvenstveno namenjen za izradu epruveta za ispitivanje zatezanjem. Mikrostruktura matrice odlivka procenjena je kao perlitno-feritna (40/60%). Pravilnost obrazovanja nodula: 90%. Srednja veličina nodula: 0.055 mm. Ravnomernost nodula: 50/mm².

6. MERENJE TVRDOĆE I ISPITIVANJE MIKROSTRUKTURE

Posle konačnog izbora parametara zavarivanja, pristupilo se u eksperimentalne svrhe zavarivanju odbačenih sklopova zadnjeg mosta kamiona namenjenog za izradu vatrogasnog vozila. Navedeni sklopovi zavarivani su elektrolučno (postupkom CO₂, elektrodom VAC 60 i REL postupkom, elektrodama UTP 88H i SUPERFONTE NiFe). Na posebno pripremljenim uzorcima obavljeno je merenje mikrotvrdoće na svim uzorcima zavarenim različitim tehnologijama i različitim dodatnim materijalima. Na slikama 4 i 5, kao i u tab. 7 dati su rezultati samo za slučaj troslojnog zavarivanja CO₂ postupkom, a na slici 6 prikazana je mikrostruktura ostvarena REL zavarivanjem (elektrodom UTP 88H i SUPERFONTE NiFe).

Tablica 7. Izmerene tvrdoće pojedinih zona izvedenih spojeva

PRAVAC MERENJA	Izmerene vrednosti tvrdoća pojedinih zona spoja (HV1)				
	O.M. ₁	ZUT ₁	ZUT ₂	ZUT ₃	ŠAV (VAR)
I-I Cev poluobloge – metal šava	290, 290, 305	358, 368	413, 467	482, 439	297, 297, 330, 363, 276
II-II Kutija mosta – metal šava	229, 239	713, 699, 660	551, 538, 595	482, 467	269, 290, 313, 305, 297, 290

Ocena mikrostrukture pojedinih zona spoja: kutija mosta - cev poluobloge:

- O.M.₁ – Kutija mosta - perlitno - feritna (60/40) sa učešćem cementita (max 5%);
- O.M.1 – Cev poluobloge - medjufazna struktura poboljšanja, pretežno sorbitna;
- ZUT₁ (kutija mosta) - ledeburitna uz učešće zaostalog austenita;
- ZUT₂ (kutija mosta) - ledeburitno - martenzitna uz učešće zaostalog austenita;
- ZUT₃ (cev) - martenzitna uz učešće zaostalog austenita i medjufaznih struktura;
- ŠAV (VAR) - Vidmanštetenova struktura;

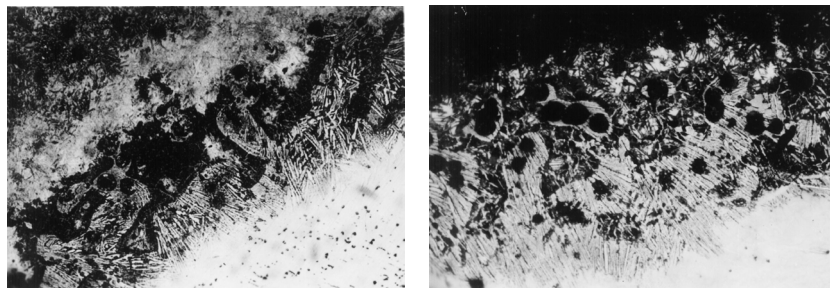
Mikrostrukture ZUT₁ i ZUT₃ prikazane su na slikama 4 i 5.



Slika 4. Mikrostruktura ZUT₁ - ledeburitna + zaostali austenit



Slika 5. Mikrostruktura ZUT₃ – martenzitna + zaostali austenit + medjufazne strukture



a - UTP 88H

b - SUPERFONTE NiFe

Slika 6. Mikrostruktura ZUT-a kutije mosta (ledeburit, martenzit i zaostali austenit)

7. ZAKLJUČAK

Pri zavarivanju kutije mosta i cevi poluobloge dosadašnjim postupkom u zaštiti gasa uočena je visoka tvrdoća u nekim tačkama ZUT-a, što je posledica brzog hlađenja pri zavarivanju, odnosno pojave struktura kaljenja. Osim toga uočavaju se i povećane deformacije oba dela i celog sklopa. Promenom broja slojeva i redosleda njihovog izvodjenja, kao i smanjivanjem količine unete toplote, aksijalne deformacije su umanjene ali je ostala nepovoljna struktura i visoka tvrdoća. Postavljanjem protivtegova na krajevima poluobloge smanjena je ugaona deformacija sklopa.

Novi eksperiment sa primenom ručnog elektrolučnog zavarivanja i dodatnim materijalom na bazi nikla, pokazao je da aksijalne deformacije ostaju kao kod dosadašnje tehnologije uz postignutu povoljniju strukturu i manju tvrdoću. Budući da je osnovna uloga ovih perforiranih spojeva da spreči okretanje presovanog sklopa cevi poluobloge i kutije mosta, to se, pre svega iz razloga produktivnosti, preporučuje zavarivanje u zaštiti CO₂ sa uvećanim brojem slojeva i smanjenim unosom toplote.

8. LITERATURA

1. *Lazić, V., Adamović, D., Josifović, D., Jovanović, M.*: Poboljšanje postupka zavarivanja sklopa zadnjeg mosta kamiona automatskim postupkom u zaštiti gasa, Medjunarodno savetovanje-Zavarivanje '96, Beograd, 1996., str. 84-87.
2. *Lazić, V., Jovanović, M., Adamović, D., Ratković, N.*: Improvement of the welding procedure of the fire truck rear axle semi housing assembly, *Mobility & Vehicles Mechanics, International Journal for Vehicle Mechanics, Engines and Transportation Systems*, Vol. 30, Number 1, March 2004, pp. 45-57.
3. *Jovanović, M., Josifović, D., Rajačić, D., Lazić, V., Adamović, D.*: Selection of Optimal Technology for Welding Tube to Housing of the Truck Rear Axle, 8. International Conference on the Joining of Materials JOM-8, Helsingor - DK, 1997., pp. 194-199.
4. *Jovanović, M., Adamović, D., Lazić, V.*: Tehnologija zavarivanja - priručnik, samostalno izdanje, Kragujevac, 1996.
5. *Mistur, L.*: *Technologia spajania i ciecia želiwa*, WNT, Warszawa, 1976.
6. *Standardi (JUS, UNI, ...)* i *katalozi proizvođača osnovnog i dodatnog materijala.*

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

PROJEKTOVANJE BAZE PODATAKA ATESTIRANIH ZAVARIVAČA

D. Jovanić ¹⁾, S. Stojadinović ²⁾, D. Steva ³⁾

Rezime: Baza podataka atestiranih zavarivača omogućuje povećanje kvaliteta procesa, kao i zadovoljenje zahteva predviđenih sistemom menadžmenta kvaliteta ISO 9000, u pogledu postojanja i sistematskog ažuriranja odgovarajuće dokumentacije. Projektovanje baze podataka atestiranih zavarivača izvršeno je pomoću File Maker Pro softvera. Izlazni dokument tj. atest zavarivača u pogledu izgleda i sadržaja izveštaja u potpunosti odgovara zahtevima standarada JUS EN 287-1.

Ključne reči: Menadžment zavarivanjem, baza podataka, informacioni sistemi, menadžment kvalitetom

DESIGN DATABASE OF QUALIFIED WELDERS

Abstract: The database of qualified welders allows improvement of the quality of the process and meeting the requirements of the system of quality management ISO 9000 regarding keeping and systematic updating of the proper documentation. The qualified welders database was designed by means of the File Maker Pro software.

The look and the contents of the output document, i.e. the welder qualification, entirely meets the requirements of the JUS EN 287-1 standards.

Key words: Welding management, database, information systems, quality management.

1. UVOD

Uvođenje sistema kvaliteta ISO 9000 je neophodno ukoliko neko preduzeće želi konkurentno da nastupi na tržištu. Da bi se to ostvarilo, moraju se ispuniti određeni zahtevi propisani sistemom menadžmenta kvalitetom, gde se između ostalog zahteva i ažuriranje dokumentacije.

Proizvođač mora da raspolaze dovoljnim brojem i kompetentnim osobljem za planiranje, izvođenje, nadzor i ispitivanje zavarivačke proizvodnje prema utvrđenim zahtevima.

Svi zavarivači moraju imati važeće uverenje o proveru stručne osposobljenosti prema JUS EN 287-1, a prema odgovarajućem delu ISO 9606.

¹⁾ Mr Dušan Jovanić, dipl.maš.inž., VTŠ Zrenjanin, jovanicd@ptt.yu

²⁾ Prof. dr Slobodan Stojadinović, dipl. inž. metalurgije, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin

³⁾ Danić Steva, VTŠ Zrenjanin

U ovom radu projektovana je baza podataka o atestiranim zavarivačima, pomoću računara. Na taj način je omogućeno brže projektovanje tehnologije zavarivanja.

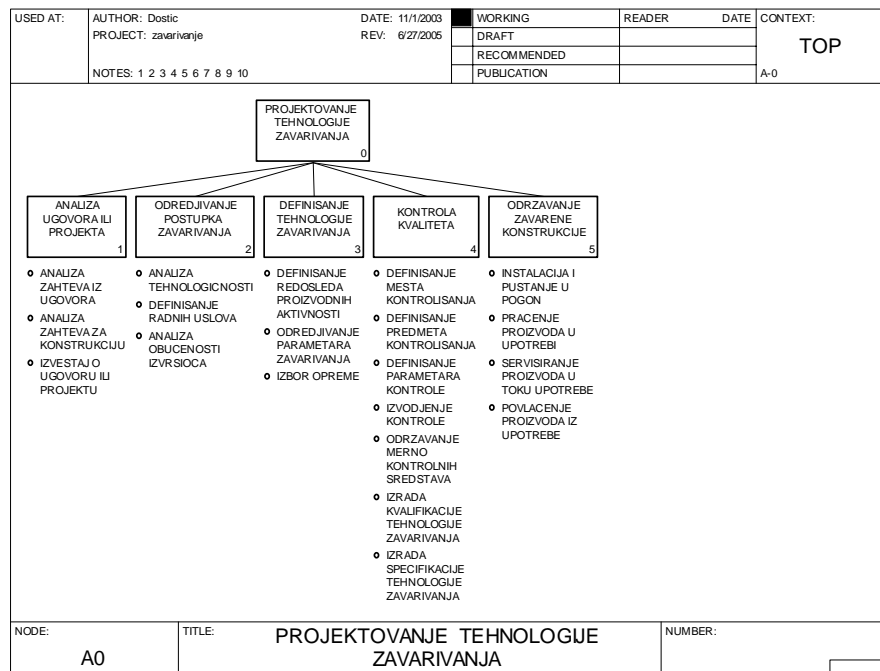
2. DEFINISANJE STABLA AKTIVNOSTI PROCESA ZAVARIVANJA

U ovom delu biće analizirane aktivnosti projektovanja tehnologije zavarivanja, dok će detaljno biti razrađena aktivnost analiza obučenosti izvršioca tj. baza podataka o atestiranim zavarivačima.

Proizvođač mora imati na raspolaganju odgovarajuće osoblje za koordinaciju pri zavarivanju, osposobljeno prema EN 719, tako da osoblje za zavarivanje bude snabdeveno potrebnom specifikacijom postupka ili radnim instrukcijama, kako bi rad mogao biti na odgovarajući način obavljen i kontrolisan.

Takođe, proizvođač mora da raspolaže dovoljnim brojem kompetentnog osoblja za planiranje i vršenje kontrole i ispitivanje zavarenih proizvoda, prema utvrđenim zahtevima. Osoblje za ispitivanje metodama bez razaranja mora imati uverenje u skladu sa ISO 9712.

Na slici 1 je prikazano stablo aktivnosti projektovanja tehnologije zavarivanja.



Slika 1. Stablo aktivnosti projektovanja tehnologije zavarivanja

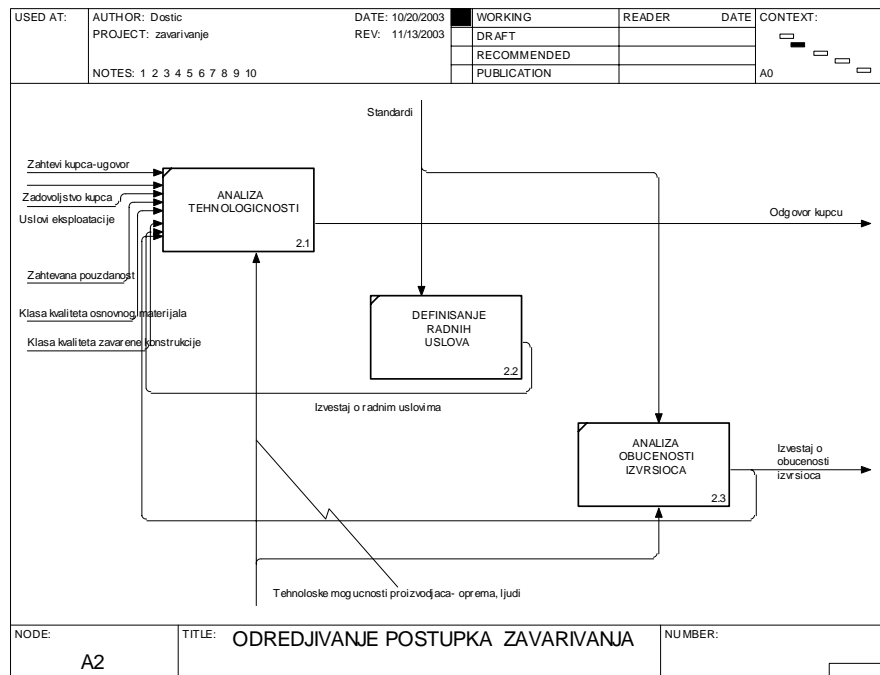
3. ODREĐIVANJE POSTUPKA ZAVARIVANJA

Na izbor postupka zavarivanja utiče veliki broj faktora, a najvažniji među njima su kvalitet i troškovi zavarivanja. Pored ovih faktora na određivanje koji će se

postupak zavarivanja primeniti utiče i produktivnost, obučenost neposrednog izvršioca, raspoloživa oprema, sastav i debljina osnovnog materijala.

Na slici 2 prikazan je dekompozicioni dijagram za aktivnost određivanje postupka zavarivanja koja se sprovodi kroz:

- analizu tehnološkičnosti,
- definisanje radnih uslova i
- analiza obučenosti izvršioca.



Slika 2. Dekompozicioni dijagram za aktivnost određivanje postupka zavarivanja.

4. BAZA PODATAKA ATESTIRANIH ZAVARIVAČA

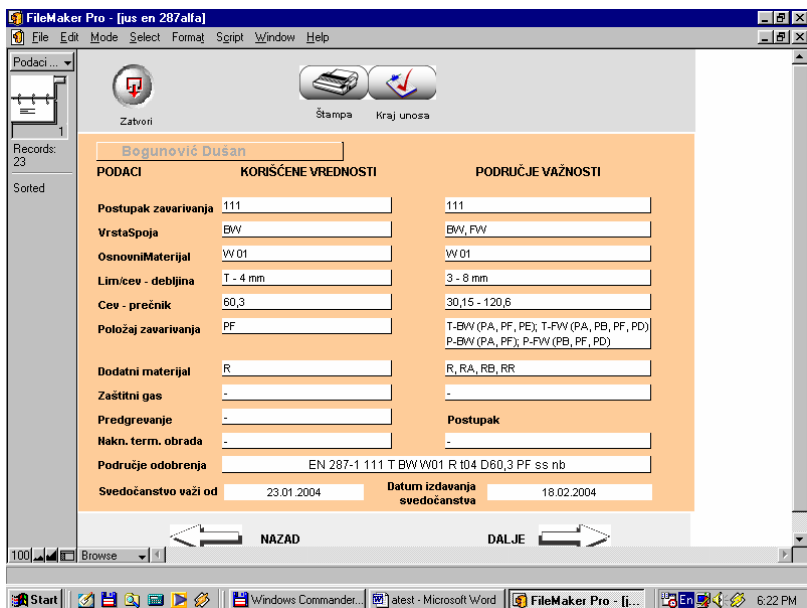
Baza podataka atestiranih zavarivača omogućuje povećanje kvaliteta procesa, kao i zadovoljenje zahteva predviđenih sistemom menadžmenta kvaliteta ISO 9000, u pogledu postojanja i sistematskog ažuriranja odgovarajuće dokumentacije. Projektovanje baze podataka atestiranih zavarivača izvršeno je pomoću File Maker Pro softvera. Izlazni dokument tj. atest zavarivača u pogledu izgleda i sadržaja izveštaja u potpunosti odgovara zahtevima standarda JUS EN 287-1.

Na slici 3. prikazani su podaci o preduzeću i zavarivaču, podaci o uslovima ispitivanja i područje uverenja je dato na slici 3, dok su rezultati ispitivanja prikazani na slici 5.

31. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA SCG



Slika 3. Podaci o preduzeću i zavarivaču



Slika 4. Podaci o uslovima ispitivanja i područje uverenja

REZULTATI ISPITIVANJA

Vizuelna kontrola

Magnetoskopska kontrola

Radiografska Kontrola

Ispitivanje savijanjem	Spoj	Lice/Koren	Lice/Koren	Bočno	Ocena
	PF	120°	120°		Zadovoljava

Ispitivanje preloma	Spoj	Nalaz	Nalaz	Nalaz	Nalaz	Ocena

Ispitivanje Makro-strukture

Ostala ispitivanja vrsta

Odgovorno lice

Slika 5. Rezultati ispitivanja

5. ZAKLJUČCI

Uštede koje se postižu, uvođenjem baze o atestiranim zavarivačima su vremenski i materijalno ne merljive, ali se postiže kvalitet, sledljivost i ponovljivost procesa, kao i zadovoljenje zahteva predviđenih sistemom menadžmenta kvaliteta ISO 9000, u pogledu postojanja i sistematskog ažuriranja odgovarajuće dokumentacije.

Osim toga dobijena baza atestiranih zavarivača je u skladu sa zahtevima, koje propisuje standard JUS EN 287-1, u pogledu izgleda izveštaja i u potpunosti zadovoljava zahteve kupaca.

Uvođenjem informacionih tehnologija, odnosno računara u proces projektovanja omogućeno je lakše, brže i tačnije projektovanje tehnologije zavarivanja. Tačnijim projektovanjem tehnologije zavarivanja mogu se izbeći troškovi u fazi izrade zavarene konstrukcije usled, pojave neželjenih grešaka.

Modelovanje procesa zavarivanja omogućuje lakše upravljanje, odnosno menadžment procesom zavarivanja. Olakšano upravljanje se ogleda u tome što je izvršena funkcionalna dekompozicija postupka zavarivanja na svim nivoima, a stvorena je i dokumentacija u skladu sa zahtevima koje propisuje serija standarda ISO 9000.

Modelovanje procesa projektovanja tehnologije zavarivanja je izvršeno pomoću standarda IDEF0, odnosno njegove softverske realizacije BPWin CASE alata, koji je prihvaćen od strane ISO organizacije, kao alat za uvođenje sistema kvaliteta.

6. LITERATURA

1. Palić V.: Zavarivanje, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka-Novu Sad, Novi sad, 1987.
2. Inženjersko-tehnički priručnik: Zavarivanje 1,2,3,4, Rad Beograd, Beograd, 1979.
3. American Welding Society: Welding handbook,1978
4. Veljović A.: Kompjuter u sistemu kvaliteta- primena standarda ISO 9000:2000, Savez inženjera i tehničara Jugoslavije, Beograd, 2001.
5. Veljović A.: Razvoj informacionih sistema i baze podataka, Sektor za školstvo, obuku, naučnu i izdavačku delatnost, Uprava za naučnu i izdavačku delatnost, Vojno tehnička akademija VJ, Beograd, 2000.
6. BPwin, ERwin, Methods Guide, 1998.
7. JUS EN 287-1:1995, Zavarivanje topljenjem - Ispitivanje stručne osposobljenosti zavarivača
8. JUS ISO 3834-2:1995, Zahtevi kvaliteta pri zavarivanju, Zavarivanje topljenjem metalnih materijala - Deo 2: Opšti zahtevi kvaliteta.
9. JUS ISO 9001:2001, Sistemi menadžmenta kvalitetom- Zahtevi,
10. Jovanić D.: Projektovanje tehnologije elektrolučnog zavarivanja čelika pomoću računara, magistarska teza, Tehnički fakultet „M. Pupin“, Zrenjanin, 2004.



UVODNI REFERAT

MOGUĆNOST PRIMENE NOVOG TEHNOLOŠKOG POSTUPKA LIVENJA ALUMINIJUMSKIH LEGURA

Z. Gulisija ¹⁾, B. Jordović ²⁾, M. Stefanović ³⁾, A. Patarić ⁴⁾,
B. Nedeljковиć ⁵⁾, V. Djordjević ⁶⁾

Rezime. Ispitivana je mogućnost primene novog tehnološkog postupka livenja Al-legura pod dejstvom elektromagnetnog polja. U svetu su već postignuti pozitivni rezultati korišćenjem ovog postupka. Oni se ogledaju u dobijenoj modifikovanoj mikrostrukturi i poboljšanim mehaničkim osobinama odlivaka. Na taj način su stvoreni uslovi za skraćenje tehnološkog postupka dalje prerade odlivaka. U radu su korišćene legure 2007 i 2024 odlivene u uslovima različitih radnih parametara elektromagnetnog polja nakon čega je izvršena kompletna karakterizacija dobijenih odlivaka.

Ključne reči: Al legure, livenje, elektromagnetno polje

THE POSSIBILITY FOR APPLICATION OF NEW PRODUCTION PROCESS FOR CASTING ALUMINUM ALLOYS

Abstract. This paper presents the investigation into the possibility for application of new production process for casting aluminum alloys under the influence of electromagnetic field. Some world progress results obtained by this production process were already reported. These results are reflected in obtaining a modified microstructure and better mechanical properties of ingots. In this way, the conditions for shortening the further production process of ingots were created. Alloys Al 2007 and Al 2024 investigated in this paper were casted at different values of operation parameters of electromagnetic field and after that the complete characterization was carried out.

Key words: Al alloys, casting, electromagnetic field

UVOD

Aluminijumske legure visoke čvrstoće imaju raznovrsnu i široku primenu u skoro svim granama industrije. Zbog specifičnosti osobina, pre svega odnosa čvrstoće i mase, i pored veće proizvodne cene u odnosu na legure železa aluminijumske legure su obezbedile značajno mesto na svetskom tržištu.

¹⁾ Zvonko Gulisija, ITNMS - Beograd, z.gulisija@itnms.ac.yu

²⁾ Prof. dr Branka Jordović, Tehnicki fakultet - Čačak,

³⁾ Prof. dr Milentije Stefanović, Mašinski fakultet - Kragujevac

⁴⁾ Aleksandra Patarić, ITNMS - Beograd

⁵⁾ Borivoje Nedeljковиć, Tehnicki fakultet - Čačak

⁶⁾ Veselinka Djordjević, ITNMS - Beograd

Korišćene legure u radu su EN AW 2024 (AlCu4Mg1Mn) i EN AW 2007 (AlCu4PbMg). To su termički obradive legure i namenjene su za plastičnu preradu. Njihova proizvodnja i prerada je dugotrajna i skupa, jer se sastoji od niza tehnoloških operacija (modifikacija, livenje, homogenizacija, presovanje plastična prerada i termička obrada).

Poznato je da konvencionalnim horizontalnim ili vertikalnim livenjem u kokile, usled neravnotežnih uslova očvršćavanja, dolazi do pojave segregacija po granicama zrna ili dendrita. Pored ovoga javlja se poroznost, tople pukotine i neujednačenost u veličini zrna. Sve ovo utiče na pogoršanje mehaničkih svojstava pre svega čvrstoće i žilavosti. U cilju otklanjanja navedenih nedostataka u svetu su primenjene razne metode: metalurgija praša, ultra-zvuk i mehaničke vibracije. Na žalost postupci su dosta komplikovani, skupi ili nedovoljno efektni. Literaturni pregled pokazuje da je mnogo jednostavniji i efikasniji postupak livenja pod dejstvom elektromagnetnog polja [1,2].

Prilikom livenja u prisustvu elektromagnetnog polja, naizmjenična struja generiše vremenski promenljivo magnetno polje u istopljenoj masi, što opet povećava indukovanu struju u istopljenoj masi i ingotu. Stoga je istopljena masa podvrgnuta elektromagnetnim silama koje su prouzrokovane interakcijom indukovane struje i magnetnog polja. Gustina Lorencove sile [3], prisutne u sistemu, sastoji se iz dva dela i izražena je jednačinom :

$$F = J \times B = -\nabla \left(\frac{1}{2} \mu B^2 \right) + \frac{1}{\mu} (B \cdot \nabla) B \quad (1)$$

gde su B i J intenzitet magnetne indukcije i gustina struje generisana u istopljenoj masi, a μ permeabilnost istopljene mase. Prvi član desne strane jednačine (1) je obrnuta komponenta što ima za rezultat prinudnu konvekciju i protok u istopljenoj masi. Drugi član su potencijalne sile uravnotežene sa statičkim pritiskom istopljene mase što ima za rezultat formiranje konveksne površine i smanjenje kontaktnog pritiska na kalup što daje dobru površinu odlivka. Uopšteno, razlog koji dovodi do poboljšanja mikrostrukture, smanjenja poroznosti i podsticanja heterogene nukleacije, je što prinudna konvekcija generisana elektromagnetnim silama rezultira protokom hladnijeg istopljenog metala od ivica prema centru i obrnuto. Na taj način se uspostavlja ravnomernije temperaturno polje. Ujednačena temperatura kroz poprečni presek ingota smanjuje i naprezanja koja nastaju u toku očvršćavanja. Takođe se može očekivati i smanjenje metalurških grešaka u odlivcima.

Ovaj rad predstavlja prvi pokušaj kod nas, da se primenom elektromagnetnog polja u postupku livenja Al legura, utiče na proces kristalizacije kako bi se dobila modifikovana mikrostruktura i poboljšane mehaničke osobine. Na taj način su stvoreni uslovi da se izbegnu neke tehnološke operacije u toku dobijanja (modifikacija) i prerade (homogenizacija) ovih legura čime bi se ostvario značajan ekonomski efekat.

EKSPERIMENT

Hemijski sastav korišćene legure EN AW 2007 (AlCu4PbMg) i EN AW 2024 (AlCu4Mg1Mn) prikazan je u tabeli 1.

Tabela 1. Hemijski sastav legura

Sadržaj Legura	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ni	Ti	Pb
2007	0.30	0.30	3.92	0.80	0.95	-	0.02	0.004	0.02	1.1
2042	0.09	0.22	4.1	0.60	1.28	0.01	0.02	0.01	0.01	-

Za topljenje legura korišćena je srednje frekventna indukciona peć kapaciteta 100 kg, sa grafitnim kristalizatorom. Uzorci (trupci) legure 2007, prečnika Ø50mm, su dobijeni horizontalnim kontinualnim livenjem. Uzorci legure 2024, prečnika Ø 60mm, vertikalnim kontinuiranim livenjem. Izvlačenje trupaca je vršeno impulsivno (5mm nazad -14 mm napred). Na dnu peći se nalazi navedeni kristalizator oko koga je bilo postavljeno elektromagnetno polje sa kontrolisanim radnim parametrima (frekvencija, jačina polja struja, broj namotaja u kalemu). Temperatura livenja je iznosila 720°C. Kao etalon za poredjenje je odliven uzorak 1, bez uticaja elektromagnetnog polja.

U tabeli 2. su prikazani neki od radnih parametara livenja. Izabrane su frekvencije u širokom dijapazonu od 1830 do 30Hz. Literaturni podaci [1,2,3] postoje samo za niske frekvencije (< 100 Hz). Posto smo imali priliku da isprobamo uticaj i visokih frekvencija, uradjene su i te probe na leguri sličnog sastava (2007) sa legurom koja je predmet našeg glavnog interesovanja tj. 2024.

Tabela 2. Oznake uzoraka i radni parametri livenja

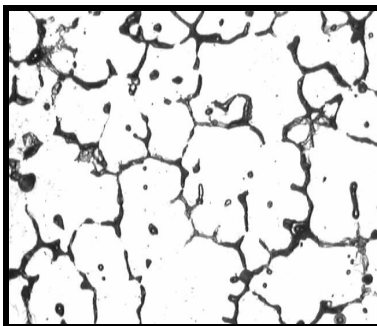
Uzorak	Legura	Frekvencija, Hz	Broj namotaja u kalemu
Uzorak 1	2007	0	40
Uzorak 2	2024	50	40
Uzorak 3	2024	30	40
Uzorak 4	2007	1100	40
Uzorak 5	2007	1830	40

Kvalitativna i kvantitativna (širina sekundarnih dendritnih grana, DAS, širina međudendritnog prostora, L_{IMF} , i zapreminski udeo intermetalnih faza, V_{VIMF}) mikrostrukturna analiza je izvršena na poprečnom preseku uzoraka (trupaca). Korišćen je optički mikroskop sa automatskim uređajem za analizu slike Leica Q500MC. Za merenje su odabrani parametri koji najbolje prikazuju disperznost strukture a posledica su uslova očvršćavanja. Za odabrane uzorke ispitane su i mehaničke osobine ($R_{p0.2}$, R_m , A_o i HB).

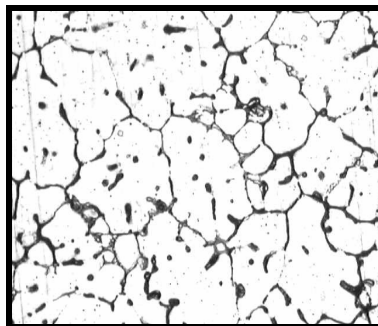
REZULTATI I DISKUSIJA

Na slici 1 su prikazane karakteristične mikrostrukture ispitivanih uzoraka.

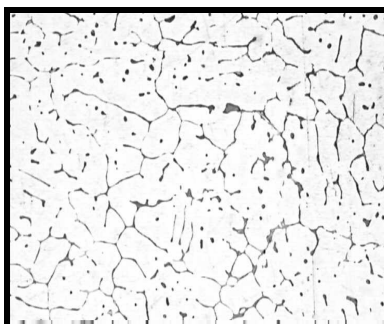
Mikrostruktura je dendritsko-čelijske morfologije izdvajanja Al čvrstog rastvora, kod svih uzoraka. po granicama dendrita i zrna su izlučene intermetalne faze u vidu eutektikuma ili pojedinačno.



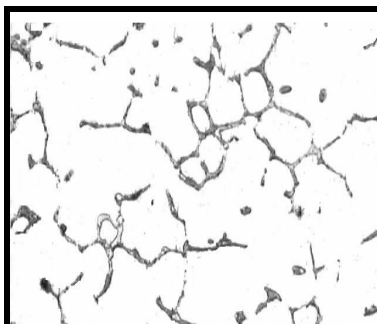
Uz. 1 (legura 2007)



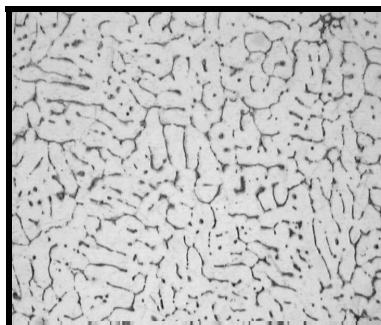
Uz. 4 (legura 2007)



Uz. 2 (legura 2024)



Uz. 4 (legura 2007)



Uz. 3 (legura 2024)

Slika 1. Mikrostruktura ispitivanih uzoraka, Kelerov reagens

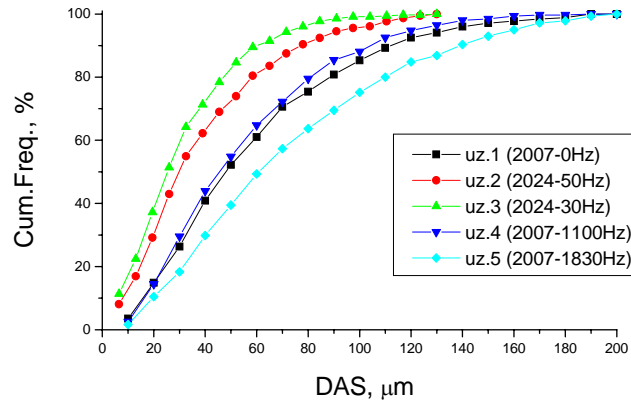
EDX analiza je pokazala da su prisutne faze: Mg_2Si , Al_2Cu , Al_3Fe , Al_3Mg_2 , Al_6Mn i Al_4Mn . U leguri 2007 su disperzno rasporedjene i čestice olova. Očigledno je da je primenom visokih frekvencija dobijena grublja struktura u odnosu na niske. To su potvrdili i rezultati merenja parametara DAS i L_{IMF} , tabela 3.

Tabela 3. Vrednosti strukturnih parametara DAS, L_{IMF} i V_{VIMF} u funkciji frekvencije elektromagnetnog polja

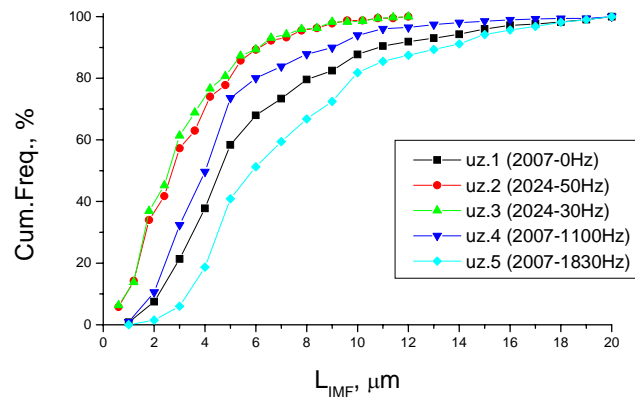
Uzorak	DAS, μm			L_{IMF} , μm			V_{VIMF} , %
	min	max	srednje	min	max	srednje	
Uz.1 (2007)	3.95	332.9	59.9	0.83	33.06	6.40	10.2
Uz.2 (2024)	0.81	212.6	39.5	0.41	14.29	3.30	8.0
Uz.3 (2024)	3.27	105.7	35.3	0.40	13.80	2.60	7.8
Uz.4 (2007)	3.95	227.6	54.3	0.83	42.98	7.99	8.7
Uz.5 (2007)	5.26	428.9	78.4	1.65	76.03	8.50	10.9

Histogrami raspodele vrednosti merenih parametara, slika 2, pokazuju da disperznost strukture raste sa snizenjem frekvencije polja. Takodje, je očigleno da primena visokih frekvencija nema efekta na poboljšanje mikrostrukture, kao sto se i očekivalo. Čak, naprotiv, pri 1830 Hz struktura je grublja u odnosu na onu dobijenu bez uticaja elektromagnetnog polja. Prikazane vrednosti parametara takodje pokazuju veći uticaj polja na vrednosti DAS u odnosu na L_{IMF} iako se, pri vecim povećanjima,

može konstatovati usitnjavanje čestica IMF sa sniženjem frekvencija. Međutim, istovremeno se zapaža veća diskontinualnost izlučenog eutektikuma i IMF po granicama zrna i dendrita kod uzorka 2(50Hz), slika 1b, nego kod uzorka 3(30Hz), slika 1c gde su oni u vidu kontinualne mreže. To znači da se uslovi za nukleaciju menjaju sa padom frekvencije ali bez značajnog uticaja na parametar V_V IMF, bar u okviru izabranih frekvencija.



(a)



(b)

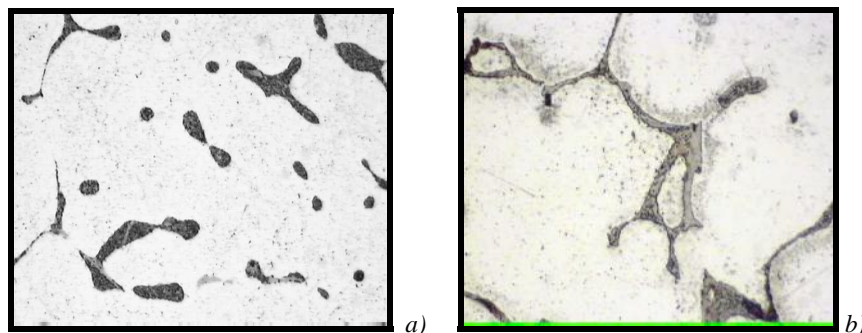
Slika 2. Histogrami raspodele vrednosti parametara DAS (a) i L_{IMF} (b) u funkciji frekvencije elektromagnetnog polja

Detaljnijom analizom uzoraka je ustanovljeno prisustvo interdendritne poroznosti, čija količina opada sa padom frekvencije elektromagnetnog polja, što doprinosi boljem kvalitetu odlivaka a time i mehaničkim osobinama. S obzirom na zaključak da ne postoji pozitivan efekat visoke frekvencije na dobijenu mikrostrukturu, ispitane su mehaničke osobine samo odlivaka dobijenih primenom frekvencija 50Hz i 30Hz ali i istog dobijenog bez uticaja elektromagnetnog polja. Vrednosti mehaničkih osobina su date u tabeli 4.

Tabela 4. Mehaničke osobine odlivaka legure 2024

Uzorak	Rp _{0,2} , MPa	Rm, MPa	A, %	HB _{5/250/30}
Uz.2. (50Hz)	198.04	243.20	1.20	93.5
Uz.3. (30Hz)	246.66	274.21	0.67	107.0

Na osnovu prethodne mikrostrukturne analize mogao se i očekivati ovakav trend promene karakteristika otpornosti legure, t.j. njihov rast. Međutim, sniženje plastičnosti kod uzorka 3 se može tumačiti pojavom grubih kontinualno izlučenih čestica IMF u odnosu na uz. 2. slika 3.



Slika 3. Čestice IMF u međudendritnom prostoru, uz.2.(50Hz)-a; uz.3.(30Hz)-b, Kelerov reagens

Međutim, ovde treba imati u vidu činjenicu da su vrednosti mehaničkih osobina za uzorke legure 2024 livene bez uticaja magnetnog polja bile: Rp_{0,2} = 162.5 MPa, Rm = 179.9 MPa i A = 0.49%. To znači da dobrom kombinacijom radnih parametara livenja se može postići i rast karakteristika otpornosti ali i plastičnosti kroz kontrolu mikrostrukture.

ZAKLJUČAK

Rezultati ispitivanja uticaja elektromagnetnog polja na kvalitet odlivaka Al legura 2007 i 2024 su pokazali da on nedvosmisleno postoji u smislu promene mikrostrukture i mehaničkih osobina. Pri tome, pozitivan efekat ima samo primena polja niskih frekvencija ($\leq 50\text{Hz}$) koje očigledno menjaju uslove očvršćavanja. Dalji rad u ovoj oblasti treba usmeriti ka pronalaženju optimalnih radnih parametara livenja, uz primenu niskih frekvencija, koji će omogućiti dobijanje odlivaka takvih strukturalnih i mehaničkih karakteristika koje će omogućiti skraćanje tehnološkog postupka prerade ovih legura.

LITERATURA

1. S. W. Kim and H. Hao, *Metal. Mater. Trans. A*, vol 34A (2003), 1537 – 1543.
2. C. Zhiqiang, J. Fei, Z. Xingguo, H. Hai, J. Junze, *Mater. Sci. Eng. A* 327 (2002), 133-137.
3. Z. Zhao, J. Cui, J. Dong, Z. Eang, B. Zhang, *J. Alloys and Compounds* (2005).
4. B. Zhang, J. Cui, *Mater. Lett.* 57(2003) 1701-1711.
5. B. Zhang, J. Cui, *Mater. Sci. Eng. A* 355 (25) (2003) 325-330.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

BIFURKACIJA SLOJEVA KOD DVOSLOJNIH KOMPOZITNIH MATERIJALA

M. Todić¹⁾, O. Miletić²⁾

Rezime: Na granici slojeva i u slojevima slojevitih materijala pri tehnološkoj obradi dolazi do pojave bifurkacije što je jedan od nedostataka ovih materijala. Taj nedostatak može se otkloniti poznavajući osobine materijala u sloju, metod spajanja slojeva i adekvatnim definisanjem naponske šeme koja neće dovesti do pomenute pojave. U radu su data eksperimentalna istraživanja pri profilisanju na V-profilu dvoslojnog materijala. Predloženi metod može se koristiti u tehnološkoj preradi radi upozorenja da je proces u nestabilnom stanju tj. da dolazi do pojave bifurkacije unutar i na granici slojeva.

Ključne riječi: bifurkacija slojeva kompozita, dvoslojni materijali, odvajanje, raslojavanje

BIFURCATION OF LAYERS AT TWOLAYER COMPOSITE MATERIALS

Abstract: On limit of layers and in layers at technological processing comes to the bifurcation which is one of the drawbacks of these materials. That drawback can be removed by knowing material characteristics in layer, method of affixture and adequate definition of stress sheme witch won't come to already mentioned appearance. In work are given experimental researches at profiling on V-profile of two layer material. Suggested method can be used in technological processing in due to working that process is in unstable condition that is it comes to appearance of bifurcation inside layers and on limit of layers.

Key words: bifurcation of layers of composite, two layer materials, separation, edge dellamation

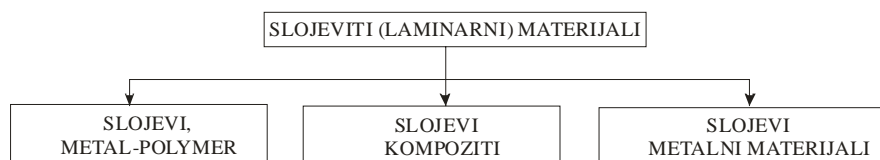
1. UVOD

Kompozitni slojeviti (laminati) materijali u savremenim konstrukcijama zauzimaju značajno mjesto, i sve su više u primjeni, zbog svojih prednosti u odnosu na konvencionalne materijale. Naprimjer, poznato je da na boingu 787 ugrađeno 50%

¹⁾ Mr Mladen Todić, Mašinski fakultet, Banja Luka, Republika Srpska, BiH,
todice@urc.bl.ac.yu

²⁾ Prof. dr Ostoja Miletić, Mašinski fakultet, Banja Luka, Republika Srpska, BiH,
miletic@urc.bl.ac.yu

kompozitnih materijala, 20% aluminijuma, 10% čelika, 15% legure čelika sa titanom i aluminijumom, te ostalih 5 % materijala. Od kompozitnih slojevitih materijala najviše je primjenjen laminarni (slojeviti) materijali (karbon laminarni i sendvič laminarni materijali). Na šemi 1. prikazana je osnovna podjela slojevitih materijala.

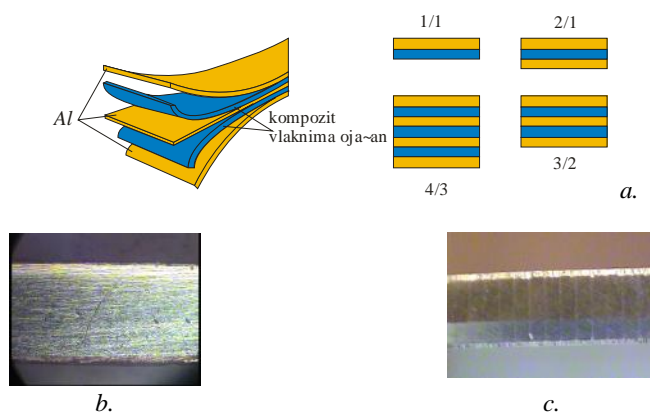


Šema 1. Osnovna podjela slojevitih materijala

Međutim, uz sve prednosti koje posjeduju, postoje i nedostaci, od kojih se neki mogu izbjeći, pravilnim izborom slojeva, načina vezivanja slojeva, tehnološkom obradom, položaja slojeva itd. Laminarni materijali mogu se obrađivati: klasičnim savijanjem, istezanjem, razdvajanjem i dubokim izvlačenjem sa ukupnim nižim stepenom deformacije.

2. MEĐUSLOJNA VEZA

Minimalan broj slojeva u spoju je dva, a maksimalan zavisi od vrste materijala slojeva, potrebnih mehaničkih i hemijskih karakteristika, načina tehnološke prerade, mjesta primjene, ukupne debljine itd.. Na slici 1.a prikazan je slojeviti (laminarni) kompozitni materijali (metal-polymer), slici 1b. troslojni materijal (bakar-čelik-bakar), slici 1c. dvoslojni metalni materijal (bakar-čelik). Veza slojeva se može ostvariti na više načina (zavisno od vrste materijala slojeva) i to: lijepljenjem, lemljenjem, valjanjem, eksplozivnim zavarivanjem itd.



Slika 1. Slojeviti (laminarni) materijali

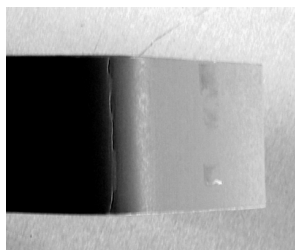
a) veza između slojeva ostvarena lijepljenjem

b) troslojni spoj, ostvaren eksplozivnim zavarivanjem i naknadno valjana

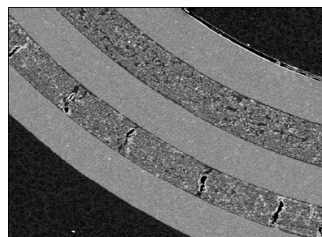
c) dvoslojni spoj, čelik-bakar, ostvaren eksplozivnim zavarivanjem

3. BIFURKACIJA

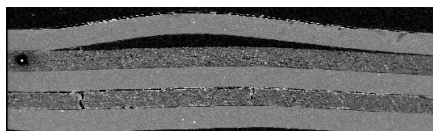
Kod primjene slojevitih materijala ili njihove tehnološke prerade može doći do pojave bifurkacije stanja ili bifurkacije procesa. Riječ bifurkacija znači: razdvajanje, odvajanje, cijepanje, pucanje, itd. U trenutku pojave bifurkacije na tom elementarnom dijelu nastaje nejedinstveno stanje. Gdje će to stanje nastati zavisi od spoljnih remetilačkih faktora (namjernih ili slučajnih). Ako se pojava manifestuje na periferiji slojeva slojevitih materijala, dolazi do pojave odvajanje, dok razdvajanje nastaje na granicama slojeva ili u slojevima unutar slojevitih materijala kao posledica naponsko-deformacionih stanja. Stanje unutrašnjih parametara u direktnoj je zavisnost od promjene spoljnih parametara. Na slici 2. prikazani su primjeri pojave bifurkacije do koje je došlo u toku deformacione obrade slojevitih materijala.



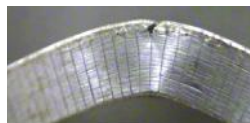
a. pucanje vanjskog sloja, metal
(laminat, metal-polymer)



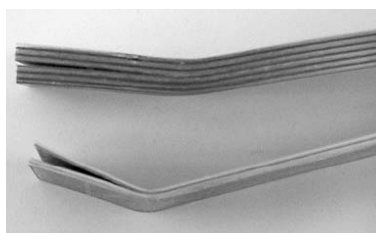
b. pucanje sloja polimera
(laminat, metal-polymer)



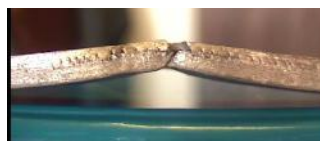
c. razdvajanje metalnog sloja
(laminat, metal-polymer)



d. pucanje spoljnjeg sloja,
dvoslojni čelik



e. odvajanje laminata, metal-polymer



f. razdvajanje i prskotine kod dvoslojnog
materijala (Bakar-aluminij), pri
istezanju

Slika 2. Primjeri bifurkacije na uzorcima

Matematička zavisnost napona i deformacija pri profilisanju zavisi od načina spajanja slojeva, tj. da li je vezivno sredstvo novi sloj ili nije (bez obzira ako je to novi sloj koji je reda veličine 0,1 mm). Ako je vezivanje izvedeno lemljenjem, ljepljenjem, onda je to novi sloj koji se uzima u obzir pri rješavanju naponsko-deformacionih odnosa

u zoni deformisanja. Spajanje izvedeno valjanjem ili eksplozivnim zavarivanjem-nema novog sloja, ali je zona na granici slojeva ojačana u odnosu na ostale dijelove slojeva. Ispitivanje kvaliteta spoja slojeva vrši se savijanjem i istezanjem po već propisanim standardima. Koji način ispitivanja će biti primjenjen zavisi od ukupne debljine laminata. Savijanjem na V-profil u deformacionoj zoni nastaju normalni radijalni i tangencijalni naponi, te tangenti naponi u funkciji načina savijanja (savijanje momentom ili savijanje silom). Normalni radijalni naponi po cjelom presjeku u deformacionoj zoni imaju negativnu vrijednost, dok intenzivnost tangencijalni naponi ide od negativne ka pozitivnoj vrijednosti u odnosu na centar profilisanja (savijanja). Radijalni i tangencijalni naponi na granici slojeva mogu se odrediti jednačinama pri tzv. čistom svijanju

$$\sigma_{\rho} = -\beta\sigma_s'' \ln \frac{R}{\rho_{gr}} \quad \text{ili} \quad \sigma_{\rho} = -\beta\sigma_s' \ln \frac{\rho_{gr}}{r}, \quad (1)$$

Tangencijalni

$$\sigma_{\theta} = -\beta\sigma_s'' \left(1 - \ln \frac{R}{\rho_{gr}} \right) \quad \text{ili} \quad \sigma_{\theta} = -\beta\sigma_s' \left(1 + \ln \frac{\rho_{gr}}{r} \right) \quad (2)$$

gdje su:

σ_s' - granica tečenja materijala na konkavnoj strani,

σ_s'' - granica tečenja materijala na konvexnoj strani,

ρ_{gr} - poluprečnik površine spoja slojeva

r – radijus savijanja,

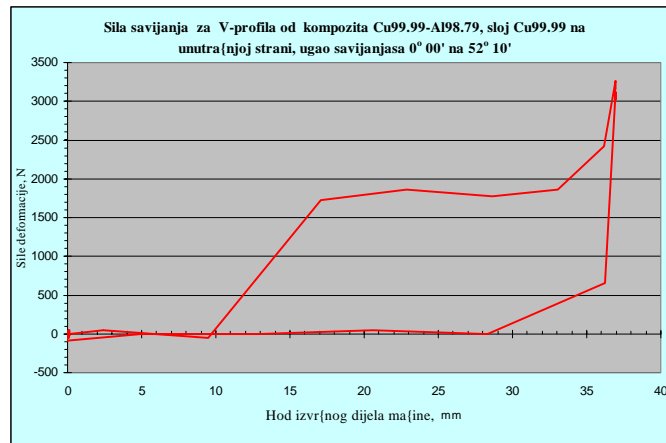
R – vanjski radijus.

Da bi došlo do razdvajanja na granici slojeva intenzivnost napona mora preći drugo granično stanje. Prelazak drugog graničnog stanja je funkciji adhezivnih karakteristika materijala na granici slojeva i naponsko-deformacionog stanja na granici slojeva.

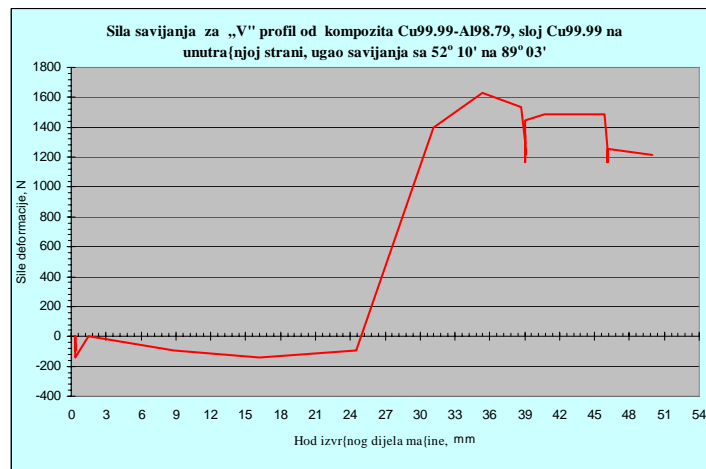
4. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Eksperimentalna istraživanja su izvedena u realnim tehnološkim uslovima na dvoslojnom materijalu bakar-aluminijum. Savijanje (profilisanje) V-profila sa radijusom savijanja 6 i 2 mm. Deformacija je vršena na ugao 45° i na 90°. Na izvršni dio mašine ugrađen je senzor za identifikaciju sile i hoda. Ovi senzori su dio mjernog lanca u koji je još nalazi: mjerno pojačalo (UPM 100) i računar (Mekintoš). Obrada i snimanje mjernih rezultata je vršena softverom BEAM2, softver je specijalno namjenjen za ovakve vrste snimanja i obradu rezultata. Grafički prikaz zavisnosti sila-put, prikazuje u realnom vremenu na monitoru računara, tako da se identifikacija kvalitetnog ili nekvalitetnog obratka može donijeti istovremeno, u slučaju ako se pojavila bifurkacija na granici slojeva ili u slojevima. Na slici 3. prikazan je grafički prikaz na osnovu kojeg se vidi da nije došlo do pojave bifurkacije na granici slojeva ili unutar slojeva (nema intenzivnijeg lokalnog pada sile savijanja). Logično je da ne bi trebalo doći do pojave bifurkacije pošto stepen deformacije nije velik, slojevi materijala imaju približno iste geometrijske karakteristike, mehaničke karakteristike materijala nisu značajno različite (ugao savijanja 52°, sloj bakra je od elektrolitički bakar, drugi sloj je

od materijala A199). Slika 4. daje prikaz pojave bifurkacije na granici slojeva obratka kod kog se u prvom stepenu deformisanja nije pojavila bifurkacija (slika 3.). Validna konstatacija je izvršena naknadnim pregledom obratka. Sa te slike vidimo da je raslojavanje nastalo pri hodu alata na 39-om mm. Na osnovu toga moguće je izračunati stepen deformacije pri kojoj je došlo do pojave bifurkacije.



Slika 3. Sila savijanja u funkciji hoda izvršnog dijela mašine (nema bifurkacije na 52°)



Slika 4. Sila savijanja u funkciji hoda izvršnog dijela mašine (bifurkacija na 89°)

4. ANALIZA REZULTATA

Za realnu tehnološku obradu slojevitih materijala bitno se uočiti da li je došlo, i kada do pojave bifurkacije na granici slojeva ili unutar slojeva. Nakon uočavanja

pojave bifurkacije, možemo odbaciti nekvalitetne obratke. Ako je učestala pojava nekvalitetnih obradaka, može se konstatovati da je proces u nestabilnom stanju. Potrebno je onda izvršiti analizu radi identifikaciju parametara koji dovode do tog stanja. Kao što je navedeno, vršena je identifikacija sile savijanja profila u funkciji hoda izvršnog dijela mašine i pokazalo se da je to efikasan način radi identifikacije pojave bifurkacije kod profilisanja dvoslojnih materijala. Na osnovu dobijene grafičke zavisnosti, koja se dobija u realnom vremenu, došlo se do predhodno navedene konstatacije. Postavlja se pitanja, kada dolazi do pojave razdvajanja, a kada do pucanja unutar slojeva? To se ne može vizuelno odredit, već se može konstatovati na osnovu navedenog načina identifikacije. Ako je pad sile izraženiji (na grafičkom prikazu) onda je došlo do raslojavanja slojeva. U slučaju manje izraženog pada sile dolazi do pukotina unutar slojeva materijala.

5. ZAKLJUČAK

Bifurkacija je fenomen koji se javlja kod profilisanja slojevitih materijala. Da li će se ona pojaviti zavisi od niza faktora. Međutim, najvažniji faktori su: mehaničke karakteristike materijala slojeva, način vezivanja slojeva, geometrijske karakteristike obratka, položaj slojeva u odnosu na radijus savijanja, brzine deformisanja i deformacije, stepena deformacije itd. Kod dvoslojnog materijala bakar-aluminijum razdvajanje slojeva nastaje kada je sloj bakra na konkavnoj strani a sloj aluminija na konveksnoj strani. Debljina slojeva je jednaka, radijus savijanja 6 i 2 mm. Stanjenje sloja aluminija je izrazito, dok je zadebljanje sloja bakra neznatno. Ta pojava se ne dešava kada je sloj aluminija na unutrašnjoj strani, što za sobom povlači konstataciju, ako se profiliše dvoslojni navedeni materijal treba nastojati da spoljni sloj bude sloj bakra. Ako se ne može izbjeći da sloj bakra bude na spoljnoj strani, onda treba obratiti pažnju na ukupni intenzitet stepena deformacije i radijus savijanja. Međutim, ako je manji relativni radijus savijanja, sloj aluminija na konkavnoj strani u deformacionoj zoni se dovodi na drugo granično stanje, kada nastaje kontrakcija debljine sloja aluminijuma. Predloženi metod identifikacije pojave bifurkacije može se adaptirati u realan tehnološki proces. Moguća je robotizacija kontrole kvalitetnog ili nekvalitetnog odabira obratka.

6. LITERATURA

- [1] *Miletić O.*, Konstituitivne relacije procesa neprekidnog profilisawa kompozitne ljsuke i ploče, Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, Banja Luka, 2002.
- [2] *Tokighiro M., Yoshida F.*, Plastic bending of adhesive-bonded sheet metals, *Jurnal of Materials Processing Technology* 113, page 743-748, 2001.
- [3] *Todić M.*, Prilog istraživanju položaja neutralnih linija pri profilisanju višeslojnih materijala, doktorska disertacija, Banja Luka, 2006.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

ISPITIVANJE ANIZOTROPIJE MEHANIČKIH OSOBINA TRAKE

O. Miletić¹⁾, M. Todić²⁾

Rezime: Rezultati ispitivanja anizotropije mehaničkih osobina trake potvrđuju osnove teorije anizotropije plastičnosti-teksturna struktura. Valjanje bez žarenja dovodi do umanjenja anizotropije, jer je intenzivnost napona funkcija radnog i deformacionog ojačavanja. Uspostavljena razlika deformacija u ravni lima, pri valjanju sa žarenjem na nižoj temperaturi od 350 °C je manja nego pri valjanju sa žarenjem na višim temperaturama od 350 °C.

Ključne riječi: valjanje i žarenje, anizotropija mehaničkih osobina, teksturna struktura, ojačavanje i anizotropija plastičnosti

ANISOTROPY EXAMINATION OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF BOUND

Abstract: Results of anisotropy examination of mechanical characteristics of bound confirm basic anisotropy theories about plasticity-texture structure. Rolling without full annealing brings to reduction of anisotropy, because of the stress intensity form fraction of work and deformation of reinforcement. Establishment of deformation difference in plane of sheet, , at rolling with full annealing on lower temperature at 350 °C is less than at rolling with full annealing on higher temperatures at 350 °C.

Key words: rolling and full annealing, anisotropy of mechanical characteristics, texture structure, reinforcement and anisotropy of plasticity

1. UVOD

Ispitivanje je vršeno na trakama-limovima od aluminijuma AlMn1, valjanjem između cilindričnih valjaka u hladnom stanju. Žarenje materijala odvijalo se u peći sa neutralnom atmosferom na različitim temperaturama i nakon svakog žarenja vršeno je valjanje u hladnom stanju po režimu različitih deformacija. Uzorci za ispitivanje anizotropije mehaničkih osobina isjecani su iz trake u pravcu valjanja, pod uglom 45° i uglom 90° u odnosu na pravac valjanja i podvrgovani istezanju.

¹⁾ Prof. dr Ostoja Miletić, Mašinski fakultet Banja Luka, Republika Srpska, BiH,
miletic@urc.bl.ac.yu

²⁾ mr Mladen Todić, Mašinski fakultet Banja Luka, Republika Srpska, BiH,
todice@urc.bl.ac.yu

Ispitivana je polazna traka hladnim valjanjem. Na uzorcima su nanošene kordinatne mreže laserom, koji su istezani na kidalici a mjerenje elemenata mreže nakon kidanja vršeno je na mikroskopu tačnosti ±0,005 mm. Koeficijent anizotropije predstavlja odnos logaritamske deformacije po širini i debljini poprečnog presjeka uzorka pri ispitivanju istezanjem

$$a_{\alpha} = \frac{e_{\xi}}{e_d} \quad (1)$$

gdje su:

e_{ξ} – logaritamska deformacija po širini poprečnog presjeka ispitivanog uzorka

e_d – logaritamska deformacija po debljini poprečnog presjeka ispitivanog uzorka

$$e_d = e_l - e_{\xi} \quad (2)$$

e_l – logaritamska deformacija po dužini ispitivanog uzorka

2. REZULTATI ISPITIVANJA

Rezultati ispitivanja početnog valjanja i mjerenja na uzorcima iz valjane trake dati su u tabeli 1.

Žarenje je vršeno na temperaturama (100-450)°C po promjeni za 50 °C, nakon čega je vršeno valjanje i ispitivanje anizotropije mehaničkih osobina, a eksperimentalni i računski podaci dati su u tabeli 2-9.

Tabela 1. Karakteristike trake bez žarenja

Redni broj	t e m p e r a t u r a 20 °C									
	ϵ	R_m u MPa			δ u %			a		
		0°	45°	90°	0°	45°	90°	0°	45°	90°
1	0,000	93	82	94	30.1	25.5	11.0	0.37	0.5	0.6
2	0,108	110	96	109	22.5	16.2	10.2	0.265	0.31	0.5
3	0.154	115	102.5	117	16.2	14.8	6.5	0.28	0.15	0.47
4	0.230	119	108.5	126	7.7	9.4	4.7	0.26	0.16	0.35
5	0.385	122	129	143	6.6	8.5	3.3	0.25	0.17	0.33
6	0.461	134	135	148	4.5	5.1	4.1	0.33	0.23	0.32
7	0.508	141	140	152	3.2	4.3	3.8	0.40	0.45	0.26
8	0.585	140	144	155	3.1	3.2	3.6	0.42	0.55	0.27
9	0.615	145	146	158	2.5	2.8	2.8	0.47	0.60	0.35
10	0.664	152	146	168	2.5	3.1	3.1	0.55	0.68	0.32
11	0.723	160	154	168	2.0	2.6	2.7	0.73	1.00	0.34
12	0.769	162	159	166	2.4	2.5	2.5	0.66	1.35	0.33
13	0.815	165	165	170	2.5	2.0	2.3	0.75	1.50	0.40
14	0.846	170	168	172	2.2	2.3	2.2	0.88	1.71	0.48

Tabela 2. Karakteristike trake nakon žarenja na 100 °C

Redni broj	t e m p e r a t u r a 100 °C									
	ε	R_m u MPa			δu %			a		
		0°	45°	90°	0°	45°	90°	0°	45°	90°
1	0,108	108	100	106	24.6	18.5	13.2	0.85	0.77	1.20
2	0.154	114	103	116	220.1	16.2	10.3	0.87	0.78	1.18
3	0.230	118	111	125	9.1	8.4	4.3	0.80	0.56	1.01
4	0.385	121	128	144	8.5	9.4	4.2	0.82	0.62	0.90
5	0.461	132	135	148	6.1	6.8	5.1	0.78	0.88	1.02
6	0.508	140	141	150	4.2	5.0	4.6	0.80	0.90	1.00
7	0.585	141	143	165	3.1	4.6	4.8	1.00	1.17	0.95

Tabela 3. Karakteristike trake nakon žarenja na 150 °C

Redni broj	t e m p e r a t u r a 150 °C									
	ε	R_m u MPa			δu %			a		
		0°	45°	90°	0°	45°	90°	0°	45°	90°
1	0,108	112	98	107	28.2	20.3	15.6	1.20	0.98	1.60
2	0.154	110	100	118	24.3	19.1	13.2	1.15	0.89	1.60
3	0.230	115	111	123	12.4	11.6	7.3	1.03	0.77	1.40
4	0.385	119	128	142	11.3	12.5	7.8	.90	0.85	1.28
5	0.461	132	134	146	10.2	10.6	8.3	0.82	1.08	1.25
6	0.508	141	139	151	8.4	9.2	7.8	0.98	1.15	1.30
7	0.585	140	142	163	8.5	7.8	8.0	1.30	1.40	1.25

Tabela 4. Karakteristike trake nakon žarenja na 200 °C

Redni broj	t e m p e r a t u r a 200 °C									
	ε	R_m u MPa			δu %			a		
		0°	45°	90°	0°	45°	90°	0°	45°	90°
1	0,108	111	97	103	27.4	21.2	15.0	1.42	1.20	1.68
2	0.154	101	111	113	25.1	20.4	14.6	1.38	1.00	1.70
3	0.230	109	126	126	15.2	9.6	5.5	1.16	0.89	1.81
4	0.385	127	142	142	10.3	12.3	8.0	0.98	0.91	1.66
5	0.461	134	147	147	10.0	10.2	8.1	1.20	1.18	1.48
6	0.508	139	136	148	9.6	10.0	8.4	1.20	1.20	1.45
7	0.585	141	140	162	9.2	8.8	8.6	1.40	1.57	1.48

Tabela 5. Karakteristike trake nakon žarenja na 250 °C

Redni broj	t e m p e r a t u r a 250 °C									
	ε	R_m u MPa			δu %			a		
		0°	45°	90°	0°	45°	90°	0°	45°	90°
1	0,108	105	96	133	29.3	24.2	14.8	1.65	1.23	1.80
2	0.154	108	98	112	26.3	21.8	15.0	1.36	1.11	1.75
3	0.230	110	107	124	18.4	12.3	7.8	1.20	1.00	1.8
4	0.385	121	123	140	12.4	13.1	10.2	1.00	0.93	1.50
5	0.461	130	130	144	14.6	13.0	9.6	1.22	1.10	1.50
6	0.508	136	136	147	15.4	14.6	10.1	1.17	1.28	1.50
7	0.585	138	138	161	14.4	14.8	13.9	1.50	1.60	1.55

Tabela 6. Karakteristike trake nakon žarenja na 300 °C

Redni broj	t e m p e r a t u r a 300 °C									
	ϵ	R_m u MPa			δu %			a		
		0°	45°	90°	0°	45°	90°	0°	45°	90°
1	0,108	104	97	101	32.1	25.6	15.0	1.5	1.15	1.80
2	0.154	106	97	109	29.2	27.4	14.6	1.3	0.98	1.65
3	0.230	110	109	124	17.1	11.7	7.0	1.14	0.85	1.50
4	0.385	120	123	134	12.6	12.6	8.5	1.10	0.86	1.41
5	0.461	126	128	139	17.3	15.0	12.1	1.15	1.00	1.40
6	0.508	138	134	143	20.3	16.2	10.8	1.20	1.20	1.38
7	0.585	136	132	144	19.8	16.4	12.2	1.39	1.49	1.40

Tabela 7. Karakteristike trake nakon žarenja na 350 °C

Redni broj	t e m p e r a t u r a 350 °C									
	ϵ	R_m u MPa			δu %			a		
		0°	45°	90°	0°	45°	90°	0°	45°	90°
1	0,108	93	90	95	35.6	28.1	16.0	1.44	1.08	1.60
2	0.154	96	89	93	30.1	24.2	14.5	1.22	0.94	1.48
3	0.230	94	90	92	25.6	18.4	10.3	1.00	0.85	1.30
4	0.385	95	92	96	28.4	20.1	10.0	0.84	0.74	1.30
5	0.461	94	96	92	26.1	20.2	13.8	0.90	0.90	1.20
6	0.508	96	94	94	28.8	20.5	15.3	1.00	1.00	1.20
7	0.585	98	93	95	30.2	24.6	18.3	1.10	1.28	1.10

Tabela 8. Karakteristike trake nakon žarenja na 400 °C

Redni broj	t e m p e r a t u r a 400 °C									
	ϵ	R_m u MPa			δu %			a		
		0°	45°	90°	0°	45°	90°	0°	45°	90°
1	0,108	85	80	82	36.3	30.2	15.6	1.20	0.90	1.20
2	0.154	87	84	84	35.1	26.8	14.3	1.04	0.63	1.20
3	0.230	87	87	85	38.1	24.3	13.5	0.56	0.61	0.94
4	0.385	86	79	85	38.5	26.8	12.2	0.60	0.50	0.67
5	0.461	88	88	86	36.2	25.3	18.6	0.76	0.68	1.00
6	0.508	86	85	84	38.4	27.4	22.2	0.78	0.70	0.90
7	0.585	84	84	87	39.1	30.8	20.2	0.90	0.90	0.68

Tabela 9. Karakteristike trake nakon žarenja na 450 °C

Redni broj	t e m p e r a t u r a 450 °C									
	ϵ	R_m u MPa			δu %			a		
		0°	45°	90°	0°	45°	90°	0°	45°	90°
1	0,108	80	79	78	40.3	38.2	26.6	0.60	0.48	0.70
2	0.154	76	77	76	42.2	40.2	28.0	0.48	0.40	0.80
3	0.230	79	78	77	44.6	39.8	28.3	0.28	0.41	0.40
4	0.385	80	79	78	45.1	40.0	26.2	0.42	0.16	0.52
5	0.461	76	75	78	40.4	39.2	28.1	0.38	0.30	0.50
6	0.508	80	78	79	44.2	38.6	25.6	0.39	0.30	0.45
7	0.585	76	77	78	43.5	41.2	26.8	0.50	0.51	0.50

3. ANALIZA REZULTATA

Numeričkom analizom eksperimentalnih podataka dobija se zavisnost odgovarajuće promjene koeficijenta anizotropije u različitim pravcima u ravni lima u zavisnosti od stepena valjanja i temperature žarenja.

$$\frac{a'_o}{a_o} = 1 - 2.432x_1 + 4.864x_1^2 + (4.243 - 12.378x_1 + 16.030x_1^2)x_2 - (0.920 - 2.648x_1 + 3.153x_1^2)x_2^2 \quad (3)$$

$$\frac{a'_{45}}{a_{45}} = 1 - 5.714x_1 + 1.020x_1^2 + (2.041 - 4.0x_1 + 6.673x_1^2)x_2 - (0.428 - 0.735x_1 + 1.367x_1^2)x_2^2 \quad (4)$$

$$\frac{a'_{90}}{a_{90}} = 1 - 2.083(x_1 - x_1^2) + (2.033 - 0.516x_1)x_2 - (0.443 - 0.092x_1)x_2^2 \quad (5)$$

gdje su:

a_o, a_{45}, a_{90} – koeficijenti anizotropije pripremljena

a'_o, a'_{45}, a'_{90} – koeficijenti anizotropije obradaka (valjanje i žarenje)

$x_1 = \varepsilon = \frac{h-h_1}{h}$ – relativna deformacija pri valjanju

h, h_1 – debljina pripremljena i obratka

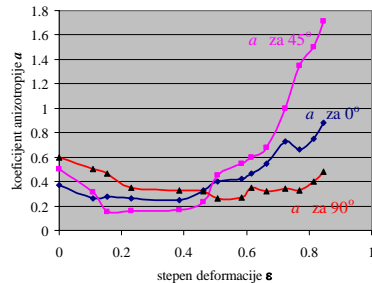
$x_2 = \frac{t-20}{100}$ – parametar karakteristične temperature žarenja.

Suma kvadrata odstupanja modelskih i eksperimentalnih rezultata ne prelazi vrijednost 0.008, a granica pouzdanosti modela (preko intervala pomjeranja za pouzdanost od 95%). Na slici 1. prikazane su krive promjene koeficijenta anizotropije a_α u zavisnosti od stepena deformacije pri valjanju, gdje su takođe prikazane i eksperimentalne vrijednosti. Sve krive imaju minimum, pri čemu se promjena koeficijenta anizotropije u pravcu valjanja pod uglom 45° u odnosu na pravac valjanja dešava intenzivnije.

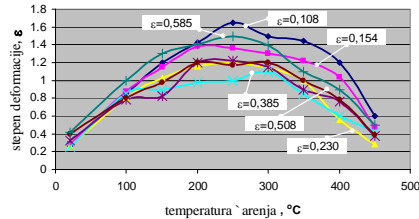
Na slici 2. predstavljena je promjena koeficijenta anizotropije u zavisnosti od temperature žarenja za neke vrijednosti stepena deformacije pri valjanju.

Analizom dobijenih rezultata može se pokazati sljedeće:

- karakter promjene koeficijenta anizotropije u različitim pravcima u odnosu na pravac valjanja ostaje konstantan pri promjeni stepena deformacije ili temperature žarenja
- veličina koeficijenta anizotropije u ma kom pravcu u ravni lima s povećanjem stepena deformacije pri valjanju opada do određenog minimuma, a zatim raste, pri čemu promjena koeficijenta anizotropije u pravcu valjanja i pod 45° u odnosu na pravac valjanja, intenzivnije raste,
- veličina koeficijenta anizotropije u ma kom pravcu u ravni lima s povećanjem temperature žarenja uvećava se do određenog maksimuma, a zatim opada



Slika 1. Krive koeficijenta anizotropije u funkciji stepena deformacije



Slika 2. Krive koeficijenta anizotropije u funkciji stepena deformacije i temperature žarenja

Takva promjena je prezentirana za sve ispitane stepene deformacije pri valjanju.

Prikazani eksperimentalni podaci mogu se koristiti za projektovanje tehnoloških procesa valjanja, termičke obrade i daljnje finalizacije trake (profilisanje, prosjecanje, izvlačenje itd.)

4. ZAKLJUČAK

Povećanjem brzine procesa valjanja dovodi do promjene karaktera anizotropije; pri manjim brzinama valjanja $a_{90} > a_{45} > a_0$, pri većim brzinama procesa $a_{45} > a_0 > a_{90}$. Valjanje i zatim žarenje dovode do promjene veličine koeficijenta anizotropije, pri čemu se promjena dešava po paraboličnom zakonu s Valjanje bez žarenja dovodi do smanjenja razlike relativnog izduženja u uzdužnom i poprečnom pravcu, a valjanje sa žarenjem na višoj temperaturi od 350 °C dovodi do uspostavljanja te razlike.

Pri valjanju sa žarenjem na temperaturi ispod (nižoj od) 350 °C uspostavljena razlika deformacija u uzdužnom i poprečnom pravcu nije zapažena.

Dobijene korelacije anizotropije mogu se koristiti za projektovanje tehnološkog procesa valjanja, termičke obrade (npr. za dobijene limove s određenom anizotropijom) i dalje obrade trake.

LITERATURA

- [1] Milić O., Konstitutivne relacije procesa neprekidnog profilisanja kompozitne ljuške i ploče, Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, Banja Luka, 2002.
- [2] Milić O. i dr., Aplikativnost rezultata istraživanja tehnoloških i energetskih parametara procesa savijanja kalibriranjem trake. SIZ Nauke BiH, Banjaluka-Sarajevo, 1989.
- [3] Tong, W., A Plane Stress Anisotropic Plastic Flow Theory for Orthotropic Aluminum Sheet Metals, Int. J. Plast., accepted for publication. 2002.



PRIMENA Al –Mg LEGURA U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI

E. Romhanji ¹⁾, M. Stefanović ²⁾

IZVOD. U radu je prikazana kratka analiza primene Al-legura u konstrukcijama auto karosefrije, sa posebnim osvrtom na svrsishodnost uvođenja aluminijuma u auto karoserije. Takođe su prikazani rezultati ispitivanja na novoj leguri tipa AlMg4.5Cu0.5 koja je proizvedena u Valjaonici aluminijuma "IMPOL-SEVAL" a prošla je i probna ispitivanja u fabrici automobila "ZASTAVA" u Kragujevcu.

Ključne reči: Al – legure za auto-karoserije, Al-Mg-Cu legure

APPLICATION OF Al-ALLOYS IN CAR INDUSTRY

ABSTRACT. Aluminum alloys application in car body constructions considered. Results of the currently tested AlMg4.5Cu0.5 type alloy sheet, produced in "IMPOL-SEVAL" rolling mill, which passed the trial in the press shop of "ZASTAVA" car factory, were also presented.

Key words: Al-alloys for car bodies, Al-Mg-Cu alloys

1. UVOD

Ideja o primeni aluminijumskih legura u izradi automobilskih karoserija datira sa početka XX veka (1920 godine) kada se javlja pionirski pokušaj izrade delova karoserije od aluminijuma kod Rolls-Roys-a ili Pomeroy-a [1]. No čini se da je za te godine to ipak bila preterano zahtevna ideja (obzirom na cenu aluminijumskih legura i znatno niže karakteristike čvrstoće i duktilnosti u odnosu na čelik) i nije dobila širi zamah. Kasnije ova ideja je ciklično dolazila u žižu interesovanja u automobilskoj industriji. Sredinom sedamdesetih godina interes za uvođenjem aluminijuma u automobilske konstrukcije u Americi postaje dominantan pokretač svih razvojnih zadataka [2] kako bi se udovoljilo zahtevima za smanjenjem potrošnje goriva. Već osamdesetih godina ideja o aluminijumu odlazi u drugi plan, jer su postignuta značajna unapredjenja u aerodinamici vozila, stepenu iskorišćenja energije, olakšan je osnovni ram vozila itd., te je tadašnji pritisak za smanjenjem potrošnje goriva bio zadovoljen [2]. Devedesetih godina se ponovo javlja snažan ekonomski pritisak na proizvođače

¹⁾ Prof. dr Endre Romhanji, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, 11000 Beograd, Karnegijeva 4, endre@tmf.bg.ac.yu

²⁾ Prof. dr Milentije Stefanović, Mašinski fakulte, Univerzitet u Kragujevcu, 34000 Kragujevac, Sestre Janjić 6, stefan@kg.ac.y

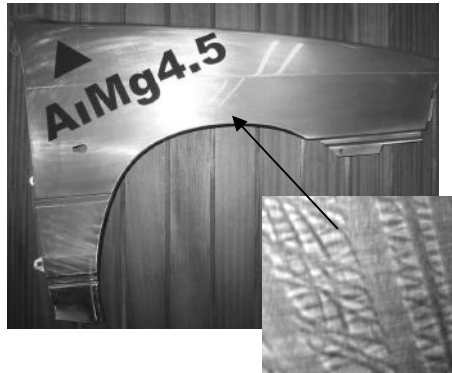
automobila, jer regulativa potrošnje goriva postaje znatno strožija usled dodatnih ekoloških zahteva u razvijenim zemljama. Drugi važan elemenat za povećanje atraktivnosti aluminijuma bila je činjenica da su nakon masovnog uvođenja visoko antikorozivno zaštićenih čeličnih karoserija (pocinkovanje, elektroforeza ili drugi višeslojni limovi.) legure aluminijuma postale su konkurentne sa cenama [3,4]. Za prihvatanje aluminijuma u automobilskim konstrukcijama značajan elemenat bila je činjenica da se limovi od *Al*-legura mogu uspešno oblikovati na postojećim presama za čelik sa neznatnim korekcijama uslova izvlačenja [5]. U sledećoj etapi razvoja ova prednost bi se mogla utopiti u neki novi koncept superlakih čeličnih konstrukcija [6] itd. U današnjoj literaturi lako se ućava da su stručne dileme i kontraverze na planu ocene celishodnosti i uspešnosti zamene pojedinih čeličnih delova sa nekom od *Al*-legura kod konstrukcija automobila zaista brojne [6]. No čini se da je prisustvo aluminijuma u karoserijama za duži period osigurano, ali je još neizvesno u kom obimu ili koje pozicije opravdavaju četiri-pet puta veću cenu u odnosu na tri puta manju težinu.

2. TIPOVI *Al* - LEGURA KOJE SU NAŠLE PRIMENU KOD IZRADE DELOVA AUTO KAROSERIJA

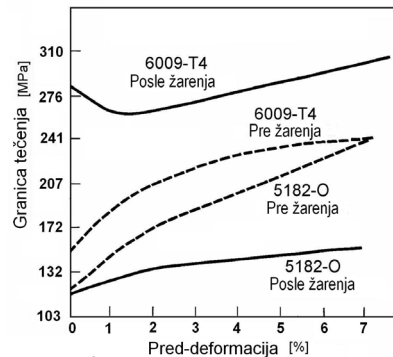
U istorijatu primene *Al* – legura za izradu delova karoserije, kod većine proizvođača automobila kako u Evropi tako i u Americi, u početnoj fazi razvoja, dominantnu ulogu imale su legure 2036 – T4 na bazi bakra i 5182 – O na bazi magnezijuma [7, 8]. Treću grupu čine legure iz familije 6000 na bazi *AlMgSi* (tabela 1) koje su potisnule legure 2036, jer su kompatibilne legurama 5000 u procesima reciklaže. Legure iz ove serije se takodje odlikuju taložnim ojačavanjem, tj. visokom čvrstoćom nakon starenja, odsustvom Lüdersove deformacije, i dobrom zavarljivošću. Primenom ovih legura, zahtevana krutost karoserija postizala se ugradnjom limova sa povećanom debljinom u odnosu na čelik u opsegu 20% do 40%. Legura 2036, koja je podložna ojačava starenjem, koristila se za izradu spoljnih delova karoserije, dok je legura 5182 – O, zbog karakterističnog površinskog reljefa usled Lüdersove deformacije (slika 1), više usmerena na izradu unutrašnjih delova karoserije. U odnosu na leguru 2036 ili grupu 6000, legura 5182 ojačava hladnom deformacijom i efektom rastvarajućeg ojačavanja magnezijuma. Iz ove razlike proizašla je bitna razlika u ponašanju u toku pečenja boje. Naime, na povišenoj temperaturi, na kojoj se pečenje boje izvodi (160°C - 180°C), čvrstoća *AlMg* legura opada a kod grupe legura 2000 ili 6000, usled taložnog ojačavanja, raste (slika 2).

Tabela 1. Hemijski sastavi legura koje se koriste za izradu auto karoserija (u tež.%). [12,13]

Legura	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
2036-T4	0.50	0.50	2.2-3.0	0.1-0.4	0.3-0.6	0.10	0.25	0.15
6009-T4	0.6-1.0	0.50	0.15-0.60	0.2-0.8	0.4-0.8	0.10	0.25	0.10
6010-T4	0.8-1.2	0.50	0.15-0.60	0.2-0.8	0.6-1.0	0.10	0.25	0.1
6016-T4 (Ac-120)	1.0-1.5	0.5	0.2	0.2	0.25-0.6	0.1	0.2	0.15
5182-O	0.20	0.35	0.15	0.2-0.5	4.0-5.0	0.10	0.25	0.10
5754-O	0.40	0.40	0.10	0.50	2.6-3.6	0.3	0.2	0.15
5030-T4	0.25	0.40	0.50	0.20	3.5-5.0	0.2	0.1	0.10



Slika 1. Makrofotografije površine na automobilskom krilu (za "Floridu") izradjenom od legure AA5182 [9]



Slika 2. Uticaj pred-deformacije i starenja (30' na 204 °C) na granicu tečenja kod 5182-O i 6009-T4 legure [8]

3. KOMERCIJALNO - TEHNOLOŠKI ASPEKTI PRIMENE Al - LEGURA U AUTO KAROSERIJAMA

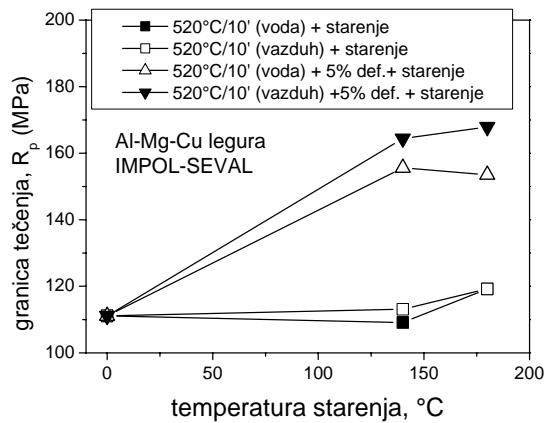
U SAD-u je sredinom 90-ih godina formirana istraživačko - komercijalna asocijacija proizvođača (tri kompanije koje proizvode valjane proizvode: ARCO Aluminium, Inc., Century Aluminum – nekadašnji Ravenswood Aluminum Corporation i Commonwealth Aluminium), korisnika (Ford Motor Company je oformio grupaciju USAMP-Američko partnerstvo za automobilske materijale) i određenih vladinih stručnih grupa (Odeljenje ministarstva za energiju USA, Američko udruženje inženjera, istraživački centar i razvoj tehnologija itd.), pod nazivom ALCAR™ [14], koja je trebala da oceni perspektivu potreba za aluminijumskim limovima u automobilskim karoserijama. Navedena grupacija je nakon detaljne analize na bazi ocene vodećih komercijalno stručnih institucija došli do sledećih zaključaka:

- Buduće potrebe u pogledu olakšanja alutomobilskih karoserija će biti u stalnom porastu;
- Termički obradive legure iz serija 6000 su superiorne u pogledu mehaničkih osobina i kvaliteta površine. Međutim njihova proizvodnja je mnogo zahtevnija - potrebna je savremena oprema i tehnologija kontinuirane termičke obrade, koja je danas na raspolaganju samo velikim kompanijama, što bitno utiče i na konačnu cenu;
- Ekspertske analize cene koštanja termički obradivih (6000) i termički neobradivih legura (5000) pokazale su da uzimajući u obzir sve elementa kvaliteta, investicionih troškova, fiksnih i varjabilnih troškova proizvodnje, Al-Mg legure iz serije 5000 treba da budu jeftinije najmanje **za 10%** od legura iz serije 6000;
- Razlika u ceni materijala u korist Al-Mg legura omogućiti će brže i još masovnije korišćenje aluminijuma u automobilskim konstrukcijama.

Uspešna primena legura iz serije 5000 na mestu legura iz serije 6000 može se očekivati kod strukturnih komponenti vozila, unutrašnjih i spoljašnjih delova karoserije. Prema iznetim procenama, primena legura tipa 6000 će biti opravdana u manjem broju pozicija kod automobila. Proizvodnja legura tipa 6000 biće u glavnom privilegija velikih kompanija koje raspolažu sa potrebnom opremom, i one će dalje imati značajno mesto kod sofisticiranijih konstrukcija kao što su avioni, vasijske letelice itd.

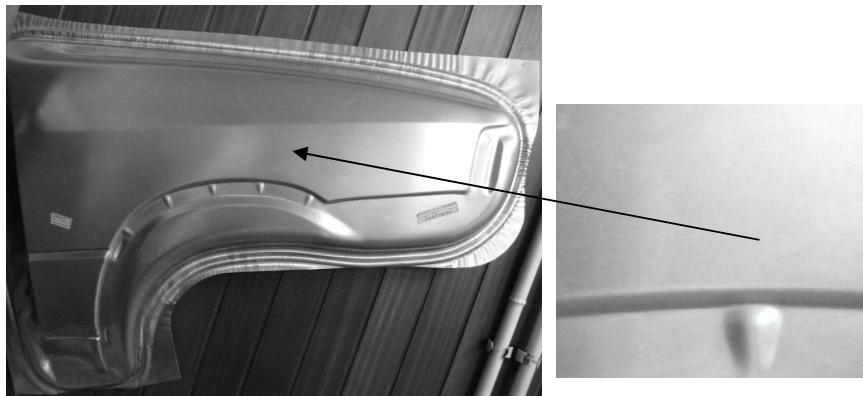
4. KONCEPT PRIMENE Al-Mg LEGURA SA MALIM DODACIMA BAKRA

Poboljšanje u primenljivosti AlMg legura bazirana je na dodatku male količine Cu koja obezbeđuje veoma efektanu precipitaciju i odgovarajuće ojačavanje u pomenutom temperaturnom intervalu pečenja boje [15]. Rezultati ispitivanja na leguri tipa 5030 koja sadrži 0.5% Cu (vidi Tabelu 1) ukazuju na mogućnosti termičkog taloženja ili taložnog ojačavanja i na nešto nižim temperaturama od intervala 160°C - 180°C (slika 3).



Slika 3. Uticaj temperature veštačkog starenja i pred-deformacije na granicu tečenja kod Al-Mg-Cu legure proizvedene u IMPOL-SEVAL

da se karakterističan površinski reljef usled Lüdersove deformacije nije pojavio (Sl.4). Inače legura tipa 5030 koristi se samo u Japanu [18].



Slika 4. Makrofotografije površine na automobilskom krilu (za "Floridu") izradjenom u presaonici "Zastava" automobilu u Kragujevcu, od nove legure tipa AlMg4.5 Cu0.5, proizvedene u Valjaonici IMPOL-SEVAL.

Ovo je bitna karakteristika nove legure, jer uvođenjem specifičnih plastičnih materija u proces bojenja kao i veoma oštih ekoloških zahteva, koji se reflektuju u uvođenju novih, na vodenim komponentama baziranih boja, temperatura pečenja boje se nužno mora smanjiti na interval 140°C - 170°C [16,17]. Navedeni temperaturni interval nije dovoljan za efektano veštačko starenje kod Al-Mg-Si legura iz grupe 6000.

Nakon uspešnih proba presovanja krila za "Floridu" od nove legure tipa 5030 (proizvedene u valjaonici IMPOL-SEVAL), prvo važno zapažanje bilo je vezano za konstataciju

U tabeli 2 dat je pregled mehaničkih osobina svih legura iz Tabele 1 i eksperimentalne legure od koje je proizvedeno krilo za "Floriu". Kod Al-Mg legura 5030 i AlMg4.5Cu0.5 proizvedene u Impol - Seval-u lako se uočava efekat starenja, koji ovu grupu legura dovodi na znatno viši nivo parametara čvrstoće. Pokušaji dostizanja ekvivalentnih vrednosti granice tečenja posle pečenja boje na bazi povećanja sadržaja Mg-a nije dalo konačne rezultate, jer npr. legura tipa 5085 sa sadržajem od 6.2% Mg-a, uvedena od strane Alkoe 1972 god, nije doživela komercijalizaciju zbog određenih teškoća u proizvodnji legure a pre svega zbog znatno niže korozivne postojanosti [18].

Tabela 2. Mehaničke osobine legura iz Tab.1. [12,13]

Legura	R _{p02} [MPa]	R _{p02} * [MPa]	R _m [MPa]	e _t [%]
2036-T4	185	179	338	24
6009-T4	131	234	220	25
6010-T4	186	255	290	24
6016-T4 (Ac-120)	137	220	248	29
5182-O	130	-	276	26
5754-O	100		220	27
5030-T4 - Kobe	138	172	276	30
AlMg4.5Cu0.5 -T4** Impol-Seval	125-140	155-170	280-287	21-26

R_{p02}* - granica tečenja posle pečenja farbe

** Dat je postignuti opseg osobina

5. REZIME

Primena aluminijuma u automobilskoj industriji zavisi od ukupne koristi zamene tradicionalnih ugljeničnih čelika: (i) ekonomske; (ii) tehničke – unapredjenje performansi automobila; (iii) ekološke koristi. Na nivou sadašnjeg stanja razvoja aluminijumske industrije, legura aluminijuma tipa 5000 na bazi magnezijuma, posebno one modifikovane sa malim količinama bakra, čini se da imaju ozbiljnu preimućstvo u sve tri navedene kategorije korisnosti u odnosu na konkurentne legure iz familije 6000.

6. LITERATURA:

1. G. S. Hsu, D. S. Thompson, "Aluminium Sheet Alloys for Automobile and Truck Bodies", *Sheet Metal Industries*, Dec. (1974)772.
2. J. M. Story, G. W. Jarvis, H. R. Zonke, S. J. Murtha, "Issues and Trends in Automotive Aluminium Sheet Forming", Alcoa, *SAE Paper No930277* (1993).
3. *Aluminium and Autobody Structure*, Institute of Metals, London, Oct.2, 1991
4. Anon., "Aluminium Sheet in the Automobile", *Aluminium Industry*, No9, 5(1990)31.
5. T. G. Burk, K. V. Chandorkar, J. M. Story, A. Assempoor, J. Kolodziejcki, "Tool Design for Aluminum Stamping", in Conf. Proc.: *Aluminum and Magnesium for Automotive Application – Materials Week 95 in Cleveland*, Ed.by J.D. Bryant and D. R. White, TMS Publ., Ohio, Oct. 29-Nov. 2, (1995)49.
6. Anon., "Automotive Application of Aluminum", *The Aluminum Asociation-Auto &Light Truck Group*, 2002.

7. G. S. Hsu, D. S. Thompson, "Aluminium sheet alloys for automobile and truck bodies", *Sheet Metal Ind.* (1974)772.
8. W. C. Weltman, "Aluminium Components for Tomorrow's Cars and Trucks", *Sheet Metal Ind.*, No9,60(1983)497.
9. M. Milovanović, M. Stefanović, E. Romhanji, Neobjavljeni rezultati ispitivanja problema presovanja Al delova karoseriji u Zastavi, 2002.
10. H. Uchida, H. Yoshida, "Effect of n value on Formability of Al-Mg Alloys", *Light Metal Tech. Reports*, No1/2, 37(1996)1.
11. J. Hirsch, "Aluminium Alloys for Automotive Application", *Materials Science Forum-Trans Tech Publications*, Switzerland, 242(1997)33.
12. *Aluminium and Autobody Structure*, Institute of Metals, London, Oct.2, 1991
13. J. M. Story, G. W. Jarvis, H. R. Zonker, S. J. Murtha, SAE Paper No 930277, (1993)320.
14. S. K. Das, H. W. Hayden, G. B. Barthold, "Development of Non-Heat-Treatable Automotive Aluminium Sheet Alloys", *Materials Science Forum-Trans Tech Publications*, Switzerland, 331-337(2000)913.
15. Y. Suzuki, M. Matsuo, M. Saga, M. Kikuchi, in Proc. 5th Int. Conf. On Al Alloys, Grenoble, Material Science Forum, vols. 217-222(1996)1789.
16. K. R. Brown, M. S. Venie, R. A. Woods, JOM, 47(1995)20.
17. P. Racthev, B. Verlinden, P. De Smet, P. Van Houte, Materials Trans., JIM, No1, 40(1999)34.
18. R. E. Sanders Jr., P. A. Hollinshead, E. A. Simielli, "Industrial Development of Non-Heat Treatable Aluminum Alloys", Materials Forum, Ed. by J.F. Nie, A.J. Morton, B.C. Muddle, Inst. of Materials Eng. Australasia Ltd, 28(2004)53.



PONAŠANJE GRAFITA U NODULARNOM LIVU PRI ZATEZONOM I PRITISNOM OPTEREĆENJU

S. Baloš¹⁾, L. Šidanin²⁾, D. Rajnović³⁾

Rezime: Nodularni liv se može se smatrati kompozitnim materijalom sa metalnom osnovom i mekim česticama grafita, čije se ponašanje prilikom opterećenja u potpunosti još ne zna. U ovom radu, uzorci od nodularnog liva su deformisani zateznim i pritisnim opterećenjem sa različitim stepenima deformacije, pri čemu izvršena korelacija između mikrodeformacija grafitnih nodula i makrodeformacije uzorka. Pri ispitivanju zatezanjem, utvrđeno je da se grafitne nodule ne deformišu, dok se pri sabijanju one izrazito deformišu, što ukazuje da se nodularni liv u mikro oblasti tokom plastičnog deformisanja različito ponaša.

Cljučne reči: kompozit sa metalnom osnovom, nodularni liv, grafit, mikro i makrodeformacija

TENSILE AND COMPRESSION NODULE BEHAVIOUR IN DUCTILE IRON

Abstract: Ductile iron can be considered as a metal matrix composite (MMC) with soft particles in form of graphite nodules. Deformation behaviour of these particles is not yet known. In this paper, the tension and compression behaviour of graphite nodules was investigated. Furthermore, correlation between deformation of graphite nodules on microscale and bulk material deformation was devised. Under tensile load, graphite nodules do not change their shape, while compression testing resulted in dramatic change in graphite shape, indicating that deformation process on microscale is different.

Key words: metal matrix composite, ductile iron, graphite, deformation on micro and macroscale

1. UVOD

Kompozitni materijali, s obzirom na ojačavajuće elemente, mogu da se podele u tri grupe: partikulitni, vlaknasti i laminatni. Međutim, umesto ojačavajućih elemenata, koji uvek imaju veću zateznu čvrstoću i tvrdoću od matrice, kompozitni materijali mogu imati i meke čestice. Tipični predstavnik partikulitnog kompozitnog materijala sa mekim česticama i metalnom osnovom su nodularni liv i termički obrađeni nodularni liv, odnosno ADI materijal. Kod ovih materijala, metalna matrica daje mehaničke

¹⁾ Sebastian Baloš, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, sebab@uns.ns.ac.yu

²⁾ Leosava Šidanin, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

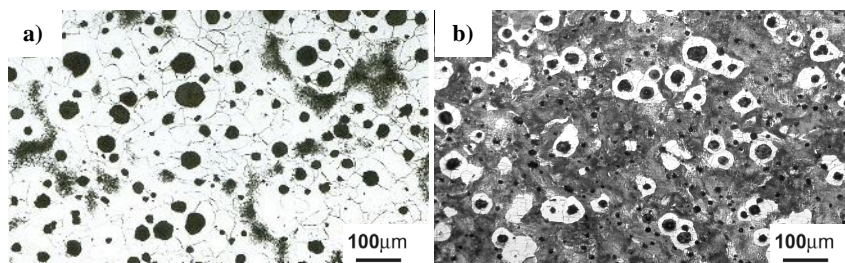
³⁾ Dragan Rajnović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

osobine, koje su uporedive sa pojedinim vrstama čelika, dok visok sadržaj ugljenika omogućava poboljšanu livljivost, smanjenje cene i što je takođe vrlo važno, formiranje grafitnih nodula uz prisustvo nodularizatora. One zbog približno sferičnog oblika omogućavaju smanjenje koncentracije napona i zaustavljanje širenja pukotine, čime se povećava žilavost loma [1,2] u odnosu na ostale livove (sivi i kompaktni).

Nedavno su Shi i autori [3] ispitivali ponašanje nodularnog liva i zaključili su da se grafitne nodule tokom sabijanja na sobnoj temperaturi drobe i pretvaraju u prah. Ovaj zaključak su potvrdili pomoću SEM analize duboko nagriženih uzoraka, na čijoj površini se vide samo prazne šupljine unutar kojih su se pre deformisanja, shodno njihovoj tvrdnji, nalazile grafitne nodule. Suprotno tome, naša prethodna istraživanja na uzorcima korena strugotine kod nodularnog liva koji su dobijeni primenom metode brzog zaustavljanja procesa rezanja, utvrđeno je da su u smicajnoj zoni rezanja prisutne visokodeformisane nodule [4,5]. Stoga, u cilju dobijanja više informacija o ponašanju grafitnih nodula pri deformaciji nodularnog liva, izvršeno je ispitivanje zatezanjem i sabijanjem uzoraka nodularnog liva sa pretežno feritnom i pretežno perlitnom metalnom osnovom.

2. MATERIJALI I EKSPERIMENTALNI RAD

U radu je vršeno ispitivanje dve vrste nodularnog liva, sa pretežno feritnom (90 % ferita) i pretežno perlitnom (30 % ferita) metalnom osnovom, slika 1 a,b. Step en sferoidizacije kod oba nodularna liva iznosio je preko 90 % i sa srednjom veličinom nodula od 35 μm . Za ispitivanje zatezanjem korišćene su proporcionalne epruvete početnog prečnika 6 mm i početne merne dužine 30 mm. Za ispitivanje sabijanjem, upotrebljeni su uzorci cilindričnog oblika, prečnika 12,9 mm i visine 13,5 mm. Ispitivanje zatezanjem izvršeno je na mehaničkoj kidalici VEB ZDM 5/91, dok je za ispitivanje sabijanjem korišćena hidraulična presa Sack und Kiesselbach HP630. Brzina deformacije u oba slučaja iznosila je 5 mm/min. Nakon toga je izvršena standardna metalografska priprema poprečnih preseka uzoraka. Za metalografsko ispitivanje korišćen je svetlosni mikroskop Leitz i skening elektronski mikroskop (SEM) JEOL JSM-6460LV.



Slika 1. Mikrostruktura uzoraka nodularnog liva

Deformacija nodula, metalne matrice i ukupna deformacija uzorka, može se odrediti sledećim matematičkim modelom [3]:

$$\varepsilon_{Nj} = \frac{h_{N0} - h_{Nj}}{h_{N0}} \quad (1)$$

$$\varepsilon_{Mj} = \frac{h_{M0} - h_{Mj}}{h_{M0}} \quad (2)$$

gde su ε_{Nj} i ε_{Mj} deformacije nodula i metalne matrice za određeni stepen deformacije; h_{NO} and h_{MO} su srednje vrednosti visine nodula i rastojanje između nodula pre deformisanja, dok su h_{Nj} i h_{Mj} srednje visine nodula i rastojanja između nodula za određeni stepen deformacije, odnosno sabijanja ($j=1-5$). Srednje vrednosti visine nodula i rastojanja između njih su računane na osnovu 100 merenja. Sva merenja su izvršena duž pravca dejstva sile, odnosno u aksijalnoj zoni uzorka, gde je naponsko polje homogeno.

Deformacija uzorka može se izraziti kao:

$$\varepsilon_j = \frac{(h_{MO} + h_{NO}) - (h_{Mj} + h_{Nj})}{h_{MO} + h_{NO}}, \text{ ili}$$

$$\varepsilon_j = \frac{\varepsilon_{Nj}}{1 + \frac{h_{MO}}{h_{NO}}} + \frac{\varepsilon_{Mj}}{1 + \frac{h_{NO}}{h_{MO}}} \quad (3)$$

Odnos između deformacije nodula (ε_{Nj}) i metalne matrice (ε_{Mj}) označen je kao faktor K_j :

$$K_j = \frac{\varepsilon_{Nj}}{\varepsilon_{Mj}} \quad (4)$$

gde se j odnosi na stepen deformacije.

U načelu, faktor K_j zavisi od tvrdoće čestice u odnosu na metalnu matricu, tako da mogu postojati sledeći slučajevi:

1. metalna matrica tvrđa od čestica, $K > 1$
2. tvrdoća metalne matrice i čestica jednaka, $K = 1$
3. metalna matrica mekša od čestica, $K < 1$

Faktor rasporeda grafitnih nodula se može prikazati kao:

$$F = \frac{h_{MO}}{h_{NO}} \quad (5)$$

Uvrštavanjem jednačina (4) i (5) u (3), makrodeformacija uzorka može biti izražena na sledeći način:

$$\varepsilon_j = \frac{(K_j + F) \cdot \varepsilon_{Mj}}{1 + F}, \text{ ili}$$

$$\varepsilon_j = \frac{K_j + F}{(1 + F) \cdot K_j} \cdot \varepsilon_{Nj} \quad (6)$$

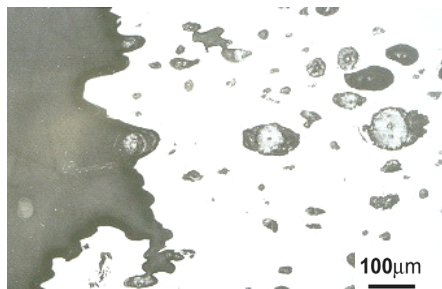
Međutim, kako je faktor distribucije F različit za različite uzorke i delove uzoraka, ukupna deformacija uzorka računata je preko formule:

$$\varepsilon_j = \frac{h_0 - h_j}{h_0} \quad (7)$$

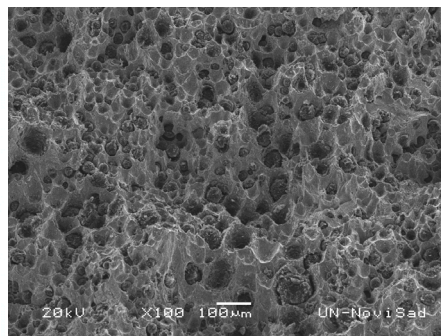
gde su h_0 i h_j visine uzorka pre i posle deformacije.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Na slici 2 prikazan je poprečni presek u zoni loma epruvete za zatezanje. Može se primetiti da je oblik grafitnih nodula neizmenjen i da se javlja dekohezija između nodula i metalne osnove. Dekohezija u kasnijoj fazi dovodi do stvaranja mikrošupljina, a koalescencija mikrošupljina do duktilnog loma. Karakteristična jamičasta površina duktilnog loma prikazana je na slici 3.

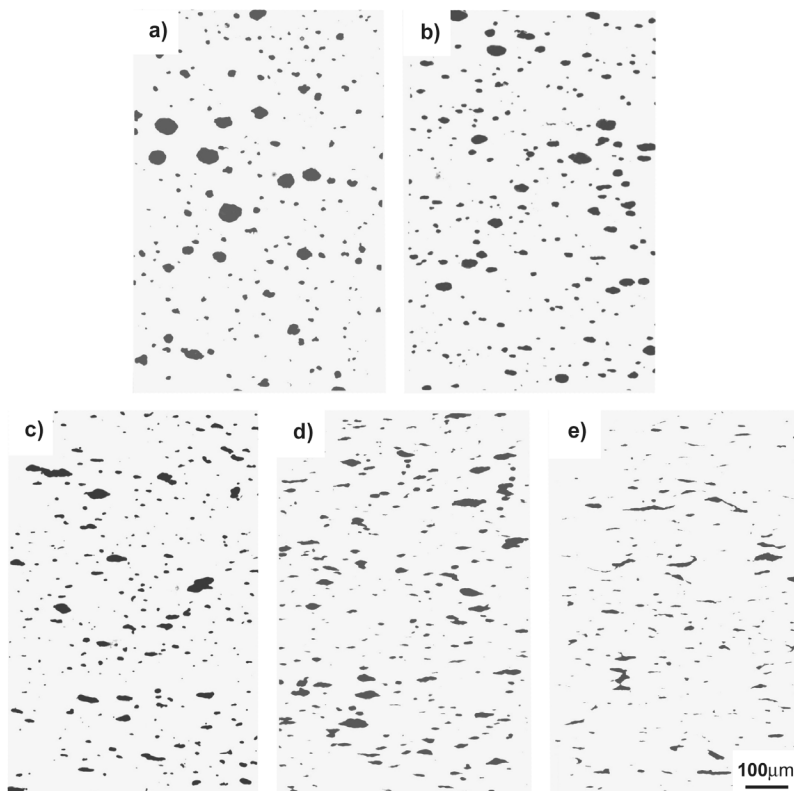


Slika 2 Poprečni presek u zoni loma epruvete za zatezanje



Slika 3 Morfologija površine duktilnog loma

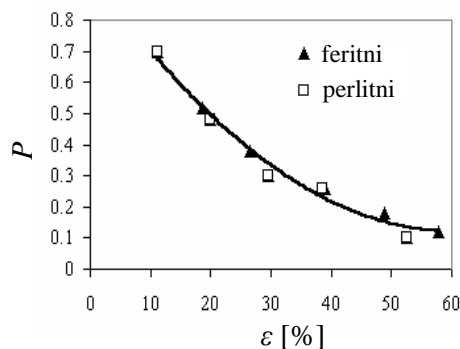
Posle sabijanja međutim, oblik nodula se u velikoj meri menjao. Odnos između visine i širine nodule, označen sa P , se povećanjem stepena deformacije smanjuje, odnosno nodule iz približno sferičnog oblika, postaju pljosnatije, slika 4.



Slika 4. Promena oblika grafitnih nodula kod pretežno perlitnog nodularnog liva, u zavisnosti od stepena sabijanja: 11,8 %; 20 %; 29,6 %; 38,5 % i 52,6 %.

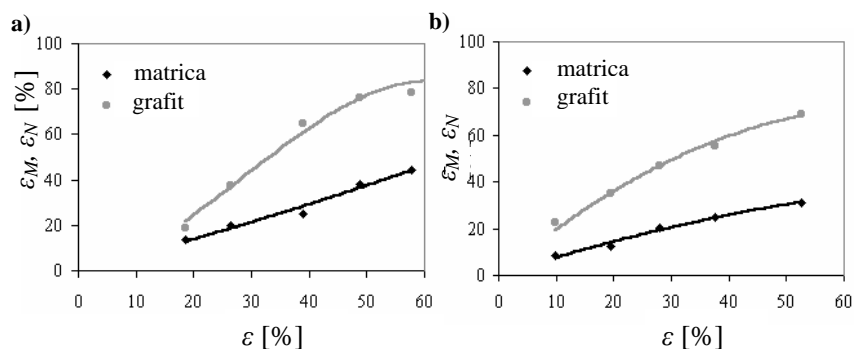
Parametar P , u zavisnosti od stepena deformacije uzorka, prikazan je na slici 5. Sa slike 5, vidi se da se vredosti P za oba ispitivana materijala mogu prikazati jednom aproksimativnom krivom. To znači, da je odnos visine i prečnika nodule nezavisan od mikrostrukture i zavisi samo od stepena deformacije uzorka. Postoje dva razloga za to: prvi je činjenica da su grafitne nodule su kod oba ispitivana nodularna liva okružene feritom, a drugi je velika razlika između tvrdoće metalne osnove, bilo da se radi o pretežno feritnoj ili perlitnoj i tvrdoći grafita. Regresiona formula koja opisuje aproksimativnu krivu sa slike 5, uz korelacioni koeficijent od $R^2=0.981$, glasi:

$$P=0.0002\varepsilon^2-0.0274\varepsilon+0.956 \quad (8)$$



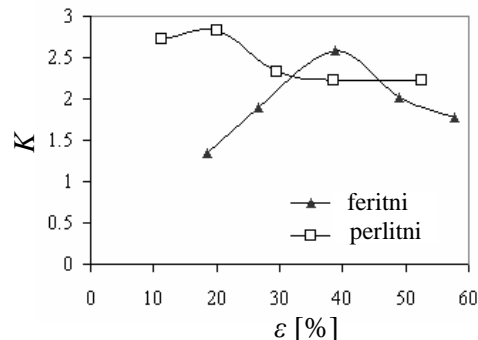
Slika 5 Odnos visine i širine nodule u zavisnosti od deformacije uzorka

Zavisnost deformacije grafitnih nodula i metalne matrice u odnosu na deformaciju uzorka može se prikazati na slici 6, sa koeficijentom korelacije R^2 0,9772 i 0,9888. Sa dijagrama se vidi, da krive ne leže na dijagonali, što znači da stepen deformacije nodula i metalne matrice nije jednak: kriva deformacije nodula (ε_N) leži iznad dijagonale dijagrama, dok kriva deformacije metalne matrice (ε_M) leži ispod. Iz toga sledi, da je stepen deformacije nodula veći nego metalne matrice, za sve deformacije uzorka (ε_j).



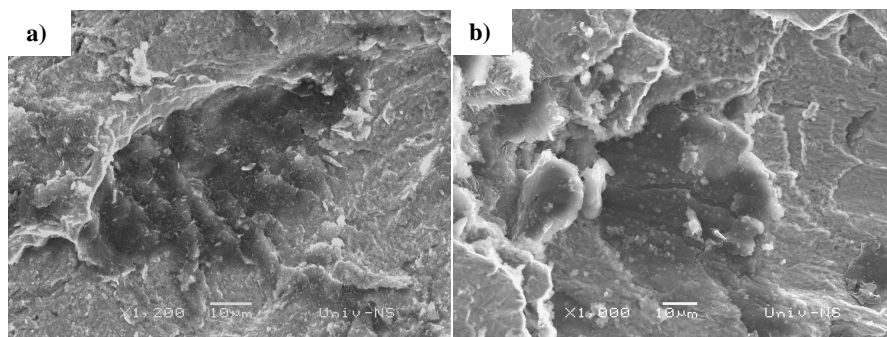
Slika 6 Zavisnost deformacije nodula i matrice od deformacije uzorka: a) pretežno feritni, b) pretežno perlitni nodularni liv.

Kvantitativni opis razlike između deformacije nodula i matrice, dat je na dijagramu na slici 7. Vrednosti odnosa između deformacije nodule i matrice (faktor K), za sve stepene deformacije uzorka su veće od 1, dokazujući da je mikrodeformacija nodula veća od matrice i da proces deformisanja na mikroplanu nije homogen. Najveće vrednosti faktora K , za uzorke sa 90 % i 30 % ferita dobijene su za ukupnu deformaciju uzorka od 40 % i 20 %.



Slika 7. Zavisnost faktora K od deformacije uzorka

Rad Shi-ja i ostalih [3] pokazao je da tokom sabijanja na sobnoj temperaturi, dolazi do drobljenja grafitnih nodula u prah, što znači, da ukoliko se deformisana nodula nalazi površini uzorka, grafitni prah napušta metalnu matricu, ostavljajući praznu mikrošupljinu. Ovo je ilustrovano SEM fotografijom duboko nagriženih uzraka. Međutim, tokom dubokog nagrizanja obično dolazi do reakcije između sredstva za nagrizanje tako da sredstvo za nagrizanje može da rastvori metalnu matricu, tako da grafit, čak i ako nije izdrobljen, može da ispadne iz mikrošupljine. Iz tog razloga, pogodnije je izvršiti analizu grafita na prelomljenoj površini uzorka opterećenog pritisnim opterećenjem sa najvećim stepenom deformacije. Na slici 8a,b, prikazan je izgled nodule na prelomljenoj površini, što pokazuje da se nodule ili deformišu ili se tokom deformacije na njima pojavljuju mikroprslinice.



Slika 8. Grafitne nodule na prelomljenoj površini uzorka za sabijanje: a) deformisana nodula, b) nodula sa mikroprslinom

3. ZAKLJUČCI

Rezultati prikazani u ovom radu pokazuju da zatezno opterećenje ne izaziva deformaciju grafitnih nodula. Tokom opterećenja sva akumulirana deformaciona energija se troši na dekoheziju granične površine nodula grafita i metalne osnove i stvaranju mikrošupljina. Dalja koalescencija tih mikrošupljina vodi ka stvaranju jamičaste duktilne površine loma.

Pri sabijanju međutim, dolazi do promene oblika nodula, pri čemu odnos visine i širine grafitne nodule P, zavisi samo od stepena makroskopske deformacije uzorka. Deformacija grafitnih nodula je veća od deformacije metalne matrice za sve stepene deformacije uzorka, što je dokazano vrednostima faktora K, koje su sve veće od 1. Maksimalna vrednost faktora K je viša kod pretežno perlitnog nego kod feritnog nodularnog liva i javlja se pri nižim vrednostima deformacije uzorka. Pri sabijanju, grafitne nodule se ili deformišu ili se pored deformacije na njima javljaju mikro prsline, dok drobljenje grafitnih nodula nije evidentirano.

LITERATURA

- [1] A.M. Pye, Applications of some of the newer cast irons, *Mater. Des.* (4) (1982) 534-537
- [2] Z.R. He (He Zerong), G.X. Lin, S. Ji, Deformation and fracture of cast iron with an optimized structure, *Mater. Character.* 38 (1997) 251-258
- [3] Shi J., Savas M.A., Smith R.W., Plastic deformation of a model material containing soft spheroidal inclusions: spheroidal graphite cast iron, *Metal Processing Technology* 133 (2003), 297-303
- [4] Šidjanin L., Kovač P., Novović M., Fracture mechanisms on ductile iron in chip formation process, International Manufacturing Engineering Conference Proceedings, *Manufacturing Engineering 2000 and Beyond*, University of Connecticut, USA, 1996, 86-88
- [5] S. Baloš, P. Kovač, M. Knezević, J. Fišl, L. Šidjanin, Deformation of Soft Particles in Metal Matrix Composites, CO-MAT-TECH 2004, Scientific Conference with International Participation, Trnava, Slovak Republic, 2004, 70-75

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

PRELAZNA TEMPERATURA NODULARNOG LIVA LEGIRANOG BAKROM U LIVENOM I TERMIČKI TRETIRANOM STANJU

D. Rajnović ¹⁾, O. Erić ²⁾, L. Šidanin ³⁾, S. Baloš ⁴⁾

Rezime: Prelazna temperatura, kao parametar trenutka kada energija udara materijala naglo opadne, od velikog je značaja za primenu materijala u temperaturno zahtevnim uslovima. Iz tog razloga u ovom radu je izvršeno ispitivanje prelazne temperature u intervalu od -196 do $+150^{\circ}\text{C}$ za nodularni liv legiran sa $0,45\%$ Cu u livenom i termički tretiranom stanju (ADI materijal). Prelazna temperatura za nodularni liv u livenom stanju iznosi $+51,5^{\circ}\text{C}$, dok za ADI materijal je $-40,8^{\circ}\text{C}$. Pored pomeranja tačke prelazne temperature ka nižim temperaturama kod ADI materijala dolazi i do povećanja vrednosti energije udara u celom temperaturnom intervalu ispitivanja.

Ključne reči: Nodularni liv, ADI materijal, prelazna temperatura, mikrostruktura

TRANSITION TEMPERATURE OF AS-CAST AND AUSTEMPERED COPPER ALLOYED DUCTILE IRON

Abstract: The ductile-brittle transition temperature is very important criterion used for selecting of materials in some applications, especially in low temperature conditions. For that reason, in this paper transition temperature of as-cast and austempered copper alloyed ductile iron in temperature interval from -196 do $+150^{\circ}\text{C}$ have been investigated. For ductile iron transition temperature is $+51,5^{\circ}\text{C}$, while for ADI material is $-40,8^{\circ}\text{C}$. Furthermore, ADI material against ductile iron has a shift of all impact energies toward lower temperatures and higher energies.

Key words: Ductile Iron, ADI material, transition temperature, microstructure

1. UVOD

Nodularni liv je liveno gvožđe kod koga se grafit tokom procesa livenja izdvaja u vidu nodula, tj. sfera. Ovakav oblik grafita je izrazito povoljan zbog čega nodularni liv

¹⁾ Dragan Rajnović, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, Srbija, draganr@uns.ns.ac.yu

²⁾ Olivera Erić, Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Vinča, Srbija

³⁾ Leposava Šidanin, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, Srbija

⁴⁾ Sebastian Baloš, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, Srbija

u odnosu na sva ostala livena gvožđa poseduje uz visoku čvrstoću i najveću duktilnost [1]. Daljim termičkim tretmanom (austemperovanjem, odnosno izotermnim poboljšavanjem) nodularnog liva mogu se dobiti još bolje osobine, a nastali materijal se zbog svoje jedinstvene mikrostrukture – ausferit, naziva ADI (Austempered Ductile Iron), tj. austemperovani nodularni liv [2-4]. Širok dijapazon osobina koje se dobijaju variranjem parametara austemperovanja, kao i manja težina za 10% u odnosu na čelik i niži troškovi proizvodnje (do 50%) omogućili su da se ADI materijal koristi kao zamena za velike delove koji se obično izrađuju kao čelični otkovci [5]. Šta više, delovi izrađeni od nodularnog liva ili ADI materijala se često koriste za mašine i uređaje koji rade u ekstremnim temperaturnim uslovima, odnosno na otvorenom prostoru tokom cele godine. Zato, pored karakteristika materijala na sobnoj temperaturi neophodno je poznavati osobine i ponašanje materijala i na niskim i na povišenim temperaturama.

Poznavanje prelazne temperature na kojoj energija udara opada sa smanjenjem temperature predstavlja jedan od bitnih pokazatelja u kojim temperaturnim uslovima materijal može da se koristi. Postoji više kriterijuma za određivanje prelazne temperature, od kojih se najčešće koriste uslov o 50% apsorbovane energije udara (algebarska srednja vrednost energije udara gornjeg i donjeg praga) i uslov o 50% udela krtog i duktilnog loma na prelomljenoj površini. Sa inženjerske tačke gledišta uslov o 50% apsorbovane energije udara je značajniji, jer definiše trenutak posle koga energija udara značajno opada, što je veoma važno kod izbora materijala.

U skorašnje vreme rađena su istraživanja ponašanja nodularnog liva i ADI materijala sa sniženjem temperature [6, 7]. Međutim, u istraživanjima nije uočena veza između prisustva zaostalog austenita sa površinski centriranom kubnom (PCK) rešetkom i njegovog uticaja na promenu ponašanja nodularnog liva u termički tretiranom stanju (ADI materijal). Iz tog razloga, u ovom radu je izvršeno ispitivanje prelazne temperature na osnovu energije udara dobijene u temperaturnom intervalu od -196 do +150°C. Ispitivanje je izvršeno na nodularnom livu legiranom sa 0,45% Cu u livenom i termički tretiranom stanju (ADI materijal).

2. EKSPERIMENTALNA PROCEDURA

Za ispitivanje je korišten nodularni liv sa hemijskim sastavom u %mas.: 3,6%C; 2,5%Si; 0,3%Mn; 0,45%Cu; 0,04%Cr; 0,014%P; 0,014%S i 0,066%Mg u livenom (NL) i termički tretiranom (ADI materijal) stanju. Epruvete za mehanička ispitivanja su izrađene iz donjih delova odlivenih Y-proba od nodularnog liva. Nakon mehaničke obrade epruveta, a u cilju dobijanja ADI materijala iz početnog nodularnog liva, izvršen je termički tretman - austemperovanje. Postupak se sastojao iz austenitizacije epruveta u zaštitnoj atmosferi argona, na temperaturi od 900°C u trajanju od 2 časa i izotermne transformacije u sonom kupatilu na 350°C u trajanju, takođe, od 2 časa.

Za određivanje prelazne temperature korišteno je ispitivanje energije udara prema Šarpiju (JUS EN 10045) na epruvetama bez zareza, dimenzija 10×10×55 mm. Uređaj za ispitivanje je bilo Šarpijevo klatno sa maksimalnom energijom udara od 150 J. Najmanje tri epruvete su ispitane pri svakoj temperaturi u intervalu od -100 do +150°C za nodularni liv i od -196 do +100°C za ADI materijal. Za postizanje niskih temperatura ispitivanja korišteno je hladno kupatilo sa smešom etil alkohola i tečnog azota. Epruvetu su držane 10 min u tečnom sredstvu i potom u kratkom vremenu (manje od 5 s) prelomljene. Za postizanje povišenih temperatura korištena je peć sa gasnom sredinom (vazduh), u kojoj su epruvete držane 30 min. na odgovarajućoj temperaturi i potom, takođe za kratko vreme prelomljene. Pored energije udara izvršeno je i

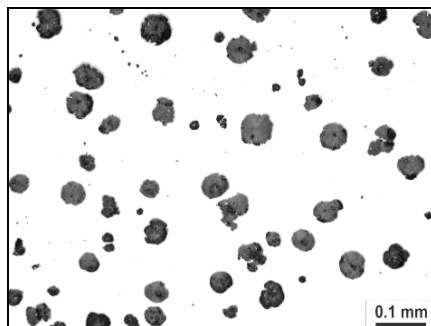
ispitivanje zatezanjem (JUS EN 10002) na sobnoj temperaturi, kao i merenje Vickersove tvrdoće (JUS C.A4.030).

Mikrostruktura nodularnog liva i ADI materijala je ispitivana na uzorcima koji su isečeni iz Šarpijevih epruveta i potom pripremljeni standardnom metalografskom tehnikom (brušenje, poliranje, nagrizanje nitalom) na svetlosnom mikroskopu „Leitz-Orthoplan“. Količina zaostalog austenita u ADI materijalu je određena difrakcijom x-zraka na uređaju „Siemens D-500“ sa monohromatskim Co-K_α zračenjem. Morfologija loma prelomljenih uzoraka ispitivanih udarnim opterećenjem, posmatrana je skening elektronskim mikroskopom „JEOL JSM-6460LV“, pri naponu od 25 kV.

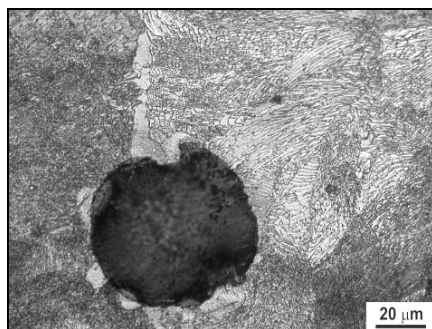
3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1 Mikrostruktura

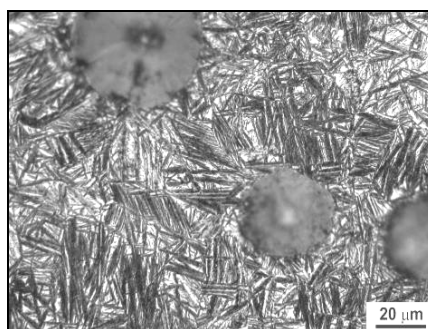
Mikrostruktura nodularnog liva (NL) i ADI materijala u poliranom i nagriženom stanju prikazana je na slikama od 1 do 3. Nodule u livu su ravnomerno raspoređene sa stepenom sferodizacije preko 90%, dok je njihova gustina od 60 do 80 nodula/mm² uz prosečnu veličinu nodula od 40 do 55 μm , slika 1. Mikrostruktura metalne osnove nodularnog liva se sastoji iz perlita i ferita (pretežno perlitna, sa više od 90% perlita), slika 2. Mikrostruktura ADI materijala dobijenog nakon austemperovanja nodularnog liva je ausferitna, sastavljena iz igličastog (acikularnog) ferita i zaostalog austenita, slika 3. Količina zaostalog austenita u mikrostrukturi ADI materijala iznosi 16,56%.



Slika 1. NL i ADI materijal u poliranom stanju



Slika 2. Mikrostruktura NL



Slika 3. Mikrostruktura ADI materijala

3.2 Mehaničke osobine

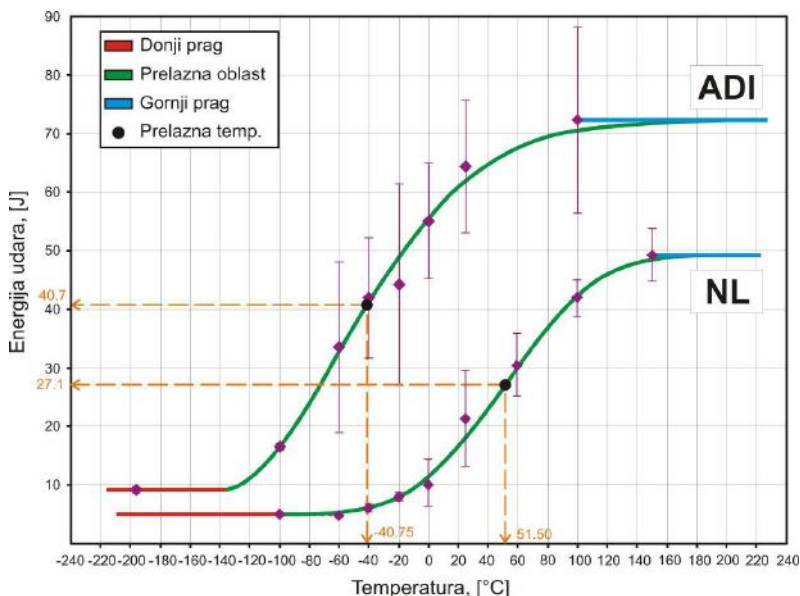
Vrednosti mehaničkih osobina na sobnoj temperaturi, odnosno rezultati ispitivanja zatezanjem, energije udara i Vickersove tvrdoće dati su u tabeli 1. Austemperovanje poboljšava sve mehaničke osobine nodularnog liva, tako da dolazi do povećanja vrednosti čvrstoće, izduženja, energije udara i tvrdoće od 1,5 do 2 puta. Ovaj porast mehaničkih osobina je uslovljen promenom mikrostrukture iz pretežno perlitne kod NL u ausferitnu kod ADI materijala [2-4].

Tabela 1 Mehaničke osobine na sobnoj temperaturi

Materijal	Zatezna čvrstoća, R_m [MPa]	Napon tečenja, $R_{p0,2\%}$ [MPa]	Izduženje, A [%]	Energija udara [J]	Tvrdoća HV_{10}
NL	771	510	5,0	21,4	270
ADI	1110	995	7,9	64,3	480

3.3 Energija udara i prelazna temperatura

Energije udara sa standardnim odstupanjem rezultata za nodularni liv i ADI materijal u temperaturnom intervalu od -196 do $+150^\circ\text{C}$ su date dijagramski, slika 4. Sa dijagrama se može uočiti da se prilikom ispitivanja javljaju tri oblasti: gornji prag (konstantne visoke vrednosti energije udara), donji prag (konstantne niske vrednosti energije udara) i prelazna oblast sa padom energije udara od gornjeg ka donjem pragu.



Slika 4. Energije udara za NL i ADI materijal u temperaturnom intervalu ispitivanja

Matematički model zavisnosti energije udara od temperature ispitivanja je određen prema metodologiji predloženoj od strane Todinova [8] i praktično primenjenoj u [9]. Sam model je dat jednačinom (1):

$$E = E_L + (E_U - E_L)\{1 - \exp[-k(T - T_0)^m]\} \quad (1)$$

gde je: E - energija udara, E_L - energija udara donjeg praga, E_U - energija udara gornjeg praga, k i m - koeficijenti oblika jednačine, T_0 - koeficijent položaja, T - temperatura ispitivanja

Na osnovu izračunatih koeficijenata datih u tabeli 2, izračunata je prelazna temperatura preko jednačine (1) za trenutak kada je pri udaru apsorbovano 50% energije udara, tj. prelazna temperatura je određena za onu energiju koja predstavlja algebarsku sredinu energija udara gornjeg i donjeg praga ($E_{0,5}$). Tako određena prelazna temperatura iznosi $+51,50^{\circ}\text{C}$ pri energiji udara $E_{0,5}$ od 27,13 J za nodularni liv i $-40,75^{\circ}\text{C}$ pri energiji udara $E_{0,5}$ od 40,68 J za ADI materijal.

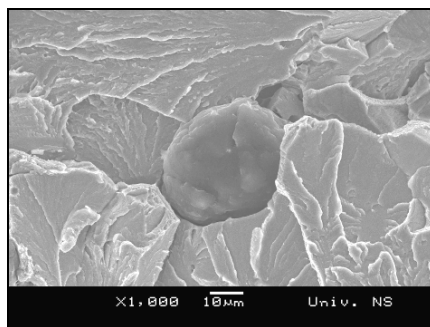
Tabela 2 Koeficijenti jednačine zavisnosti energije udara od temperature

Materijal	Donji prag, E_L [J]	Gornji prag, E_U [J]	$E_{0,5}$ [J]	T_0 [$^{\circ}\text{C}$]	k	m	Prelazna temperatura [$^{\circ}\text{C}$]
NL	4,96	49,29	27,13	-99,51	$-1,44674 \times 10^{-8}$	3,52474	+51,50
ADI	9,09	72,26	40,68	-138,35	$-1,46122 \times 10^{-4}$	1,84782	-40,75

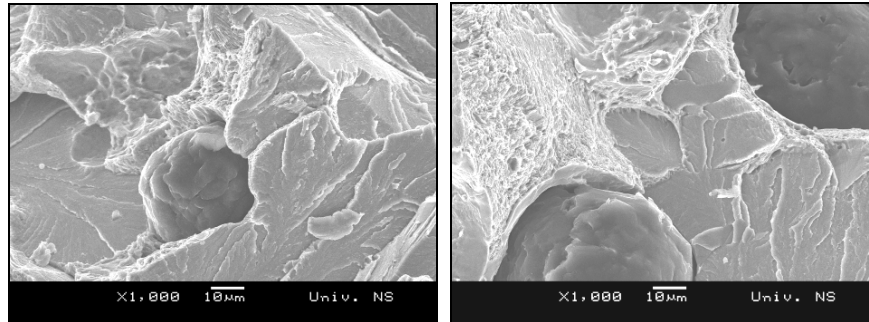
Pomeranje prelazne temperature ADI materijala u odnosu na nodularni liv ka nižim vrednostima temperature i višim vrednostima energije udara vezano je uz prisustvo zaostalog austenita u mikrostrukturi ADI materijala. Poznato je da su materijali sa zapreminski centriranom kubnom (ZCK) strukturom osetljivi na sniženje temperature, pri čemu se javlja nagli pad energije udara, dok materijali sa površinski centriranom kubnom (PCK) strukturom nemaju taj nagli pad **Error! Reference source not found.** Samim tim, prisustvo zaostalog austenita sa PCK strukturom u količini od 16,56 % u ADI materijalu može da posluži za objašnjenje povećane otpornosti prema padu energije udara sa padom temperature kod ADI materijala.

3.4 Morfologija loma

Karakteristične morfologije loma prelomljenih Šarpijevih epruveta od nodularnog liva na donjem pragu, prelaznoj temperaturi i gornjem pragu prikazane su na slici 5a-c. Na donjem pragu, pri temperaturi od -100°C , lom je tipični transkristalni krti lom sa ravnima cepanja i rečnim šarama, slika 5a. Povećanjem temperature do $+60^{\circ}\text{C}$ (blisko prelaznoj temperaturi) na prelomljenoj površini se pored krtog loma javlja i mestimična pojava duktilnog loma sa karakterističnim jamicama oko grafitnih nodula, slika 5b. Na gornjem pragu ($+150^{\circ}\text{C}$) lom je i dalje u većoj meri krt, ali uz povećanje udela duktilnog loma, slika 5c.



a) Donji prag (-100°C)

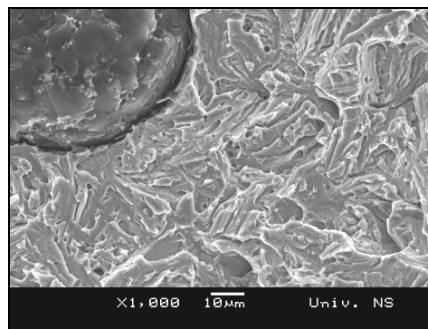


b) Prelazna oblast (+60°C)

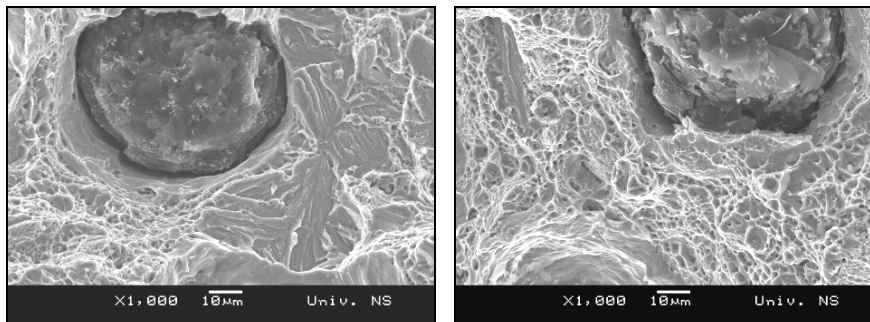
c) Gornji prag (+150°C)

Slika 5. Morfologija loma nodularnog liva

Morfologija loma ADI materijala u zavisnosti od temperature prikazana je na slici 6a-c. Lom na donjem pragu (-196°C) je potpuno krt, slika 6a. U prelaznoj oblasti, pri temperaturi od -40°C morfologija loma je mešovita, sastavljena u podjednakoj meri od zona krtog i duktilnog loma, slika 6b. Nakon dostizanja temperature gornjeg praga (+100°C) lom je potpuno duktilan sa karakterističnim jamica, slika 6c.



a) Donji prag (-196°C)



b) Prelazna oblast (-40°C)

c) Gornji prag (+100°C)

Slika 6. Morfologija loma ADI materijala

Pretežno perlitna mikrostruktura nodularnog liva je usloвила pojavu krtog loma u celom temperaturnom intervalu ispitivanja. Sa povećanjem temperature ispitivanja na prelomljenoj površini se u sve većoj meri javlja i duktilni lom, međutim ne dostiže se njegov 100% udeo. S druge strane, kod ADI materijala imamo pojavu krtog loma, mešovito i potpuno duktilnog pri različitim karakterističnim temperaturama ispitivanja.

Prelazna temperatura se pored određivanja na osnovu uslova o 50% apsorbovane energije udara može odrediti i preko uslova o 50% udela krtog i duktilnog loma na površini. Kod ADI materijala ova dva uslova se približno poklapaju, što je i pokazano na slici 6b. Međutim kod nodularnog liva to nije slučaj, jer u celom intervalu ispitivanja imamo u većoj meri krti lom bez ili uz manju pojavu duktilnog loma.

4. ZAKLJUČAK

Austerempovanjem nodularnog liva dolazi do njegovog poboljšanja uz porast svih vrednosti mehaničkih osobina; zatezne čvrstoće, napona tečenja, izduženja, energije udara i tvrdoće.

Prelazna temperatura, kao srednja algebarska vrednost gornjeg i donjeg praga, za nodularni liv u livenom stanju iznosi +51,5°C uz energiju udara od 27,13 J, dok za ADI materijal prelazna temperatura je -40,8°C uz energiju udara od 40,68 J.

Pored pomeranja tačke prelazne temperature ka nižim temperaturama kod ADI materijala dolazi i do povećanja vrednosti energije udara u celom temperaturnom intervalu ispitivanja. Kod ADI materijala imamo poklapanje prelazne temperature i sa uslovom o podjednakom udelu krtog i duktilnog loma u prelomljenoj površini, dok kod nodularnog liva to nije slučaj jer u celom temperaturnom intervalu ispitivanja imamo u većoj meri krti lom.

LITERATURA

- [1] *Labrecque, C., Gagne, M.*: Review ductile iron: fifty years of continuous development, Canadian Metallurgical Quarterly, Vol. 37, Iss. 5, 1998, 343-378
- [2] *Elliot, R.*: The Role of Research in Promoting Austempered Ductile Iron, Heat Treatments of Metals, (1997), vol.3, 55-59
- [3] *Sidjanin, L., Smallman, R.E.*: Metallography of bainitic transformation in austempered ductile iron, Materials Science and Technology, (1992), Vol.8,
- [4] *Rajnović, D., Erić, O., Šidjanin, L., Baloš, S.*: ADI materijal legiran sa 0,45% bakra, 30. savetovanje proizvodnog mašinstva SCG, Vrnjačka Banja, 2005.
- [5] *Johansson, M.*: Replacing Steel Components with ADI, Casting 1997 - International ADI and Simulation Conference, Helsinki, Finland, 1997, 1-13
- [6] *Ratto, P.J.J., Ansaldo, A.F., Fierro, V.E., Aguera, F.R., Alvarez Villar, H.N., Sikora, J.A.*: Low Temperature Impact Test in Austempered Ductile Iron and Other Spheroidal Graphite Cast Iron Structures, ISIJ International, Vol. 41, No. 4, 2001.
- [7] *Fierro, V.E., Sikora, J.A., Aguera, F.R., Alvarez Villar, H.N., Ansaldo, A.F., Ratto, P.J.J.*: Fractomechanical Properties of AS-Cast and Austempered SG Cast Iron Between -40°C and +20°C, Materials Research, Vol. 5, No. 2, 2002, 137-141
- [8] *Todinov, M.T.*: Fitting impact fracture toughness data in the transition region, Materials Science and Engineering, A265, 1999, 1-6
- [9] *Novović, M.*: Effect of microstructure and prestaining on ductile to brittle transition in carbon- manganese weld metals, PhD thesis, The University of Birmingham, UK, 2001



UVODNI REFERAT

FUNKCIONALNI SIMULATOR TROOSNIH MAŠINA
SA PARALELNO KINEMATIKOM

D. Milutinović ¹⁾, M. Glavonjić ²⁾, S. Živanović ³⁾

Rezime: Mašine sa paralelnom kinematikom (MPK) su danas tema istraživanja i razvoja mnogih univerziteta i instituta. Međutim, mnoge od njih nemaju ove mašine u svojim laboratorijama. U cilju sticanja praktičnih iskustava posebno u oblasti programiranja i primene MPK razvijen je uređaj sa paralelnom kinematikom integrisan sa troosnim serijskim CNC mašinama. Uređaj je razmatran kao funkcionalni simulator troosnih mašina sa paralelnom kinematikom niske cene. Uređaj je baziran na nekoliko razvijenih paralelnih mehanizama sa konstantnim dužinama spojki i translatorskim zglobovima. Upravljan je i pogonjen konvencionalnim troosnim CNC serijskim mašinama. U radu je opisano projektovanje uređaja, modeliranje i algoritmi i softver za upravljanje i programiranje na način kao kod serijskih mašina.

Ključne reči: mašine alatke, simulator, paralelne mašine

FUNKTIONAL SIMULATOR OF PARALLEL KINEMATICS
MACHINES

Abstract: Parallel kinematic machines (PKM) are R&D topic in many laboratories but many of them, unfortunately, have no PKM. To gain practical experience, especially in programming and the use of PKM, the parallel kinematic device integrated into 3-axis milling machine has been developed. The device is considered as the low cost but functional simulator of 3D parallel kinematic machine. The device is based on several developed mechanisms with constant strut lengths and linear joints and is driven and controlled by a conventional 3D CNC machine tool. The paper describes device design, modelling approach, algorithms and software for the control and programming in the same way as in serial machine tools.

Key words: machine tools, simulator, parallel machines

1. UVOD

Iako je reč o novoj oblasti, istraživanje i obrazovanje u oblasti mašina sa paralelnom kinematikom (MPK) brzo izlazi iz domena teorije i nameće potrebu nabavke MPK kao eksperimentalne osnove. Nažalost, danas velika većina

¹⁾ Dragan Milutinović, Mašinski fakultet, Beograd, dmilutinovic@mas.bg.ac.yu,

²⁾ Prof. dr Miloš Glavonjić, Mašinski fakultet, Beograd, mglavonjic@mas.bg.ac.yu

³⁾ Saša Živanović, Mašinski fakultet, Beograd, szivanovic@mas.bg.ac.yu

univerzitetskih laboratorija, instituta i fabrika nemaju MPK za potrebe istraživanja i obuke. Razlozi za ovakvu situaciju su visoka cena ovih sistema, skupo održavanje i neprilagođenost komercijalnih verzija za šire potrebe obuke i istraživanja. U cilju sticanja praktičnih iskustava u modeliranju, projektovanju, upravljanju i posebno u programiranju i primeni MPK na Katedri za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Beogradu su započeta istraživanja na razvoju funkcionalnog simulatora troosnih mašina sa paralelnom kinematikom, osnaženog i upravljanoj osama konvencionalnih - serijskih CNC glodalica i obradnih centara. Funkcionalni simulator (FS), kao hibridni sistem, integriše postojeću tehnološku opremu (CNC mašine alatke, CAD/CAM, hardver i softver) i mehanizme sa paralelnom kinematikom u moderan i sofisticiran proizvod namenjen za trening i edukaciju od visokoškolskih institucija do srednjih škola i fabrika [1,2,3]. Rezultati ovih istraživanja su bili osnova za pokretanje Inovacionog projekta IP 8115 – Funkcionalni simulator troosnih mašina sa paralelnom kinematikom.

Realne podloge za uspešnu realizaciju ovog projekta su rezultati postignuti na projektu Tehnološkog razvoja (MIS.3.02.0101B Troosne paralelne mašine, u periodu 2001-2004) [4] i EUREKA projektu E!3239, sa partnerom iz Grčke (PaKiCUT, u periodu 2003-2005) [5,6], kao i iskustvo i saradnja korisnika ovog projekta CPS-CAD Professional systems sa fakultetima, višim i srednjim školama i fabrikama u oblasti CAD/CAM. S obzirom da je jedna od važnih delatnosti korisnika i zastupanje firme PTC (Parametric Technology Corporation) proizvođača CAD/CAM/CAE sistema Pro/Engineer i Pro/Mechanica, za koje i Fakultet ima licencu to bi ovi simulatori značajno doprineli obuci budućih korisnika kako ovog sistema tako i paralelnih mašina.

Rad opisuje deo rezultata ovog projekta koji se odnosi na projektovanje simulatora, modeliranje, kalibraciju, algoritme i softver za upravljanje i programiranje. U cilju evaluacije prototipova funkcionalnih simulatora u realnim uslovima pokazani su i odabrani test radni predmeti izrađeni od poliuretana.

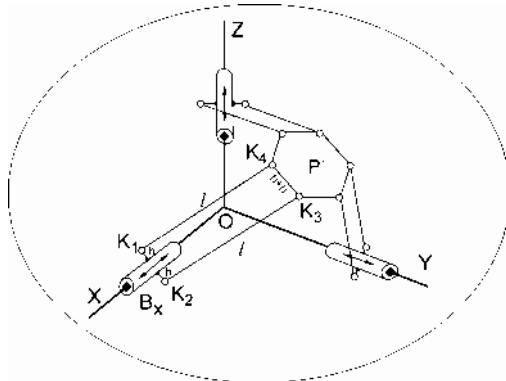
2. KONCEPCIJA FUNKCIONALNOG SIMULATORA

Po definiciji, mehanizmi sa paralelnom kinematikom imaju 6 stepena slobode. Tri stepena slobode i troosna obrada mogu da se ostvare ili sistemom za programiranje i upravljanje, ili kinematičkim ograničenjima u samom mehanizmu. Za ovaj proizvod je prihvaćeno da se tri stepena slobode dobiju uparivanjem po dve pogonske ose paralelnog mehanizma, slika 1. Pogonska mašina sa serijskom kinematikom ima uzajamno upravne ose, zbog čega i odabrani mehanizam ima tako raspoređene pogonske ose: na uzajamno upravnim vodičama.

Uopštena skica za opis osnovnih parametara troosnog funkcionalnog simulatora mašine sa paralelnom kinematikom data je na slici 1. Detaljno je pokazana samo osa X. Ostale dve imaju iste ili slične uslove. Paralelni mehanizam simulatora ima sledeće osobine:

- **B_x** je klizač na osi X na kome su upareni sferni zglobovi **K₁** i **K₂**, simetrični u odnosu na osu X i udaljeni od nje za po h.
- **K₃** i **K₄** su sferni, kardanski ili univerzalni zglobovi na pokretanoj platformi i na rastojanju h+h.
- **l** je konstantna dužina spojki.
- **P** je pokretana platforma.
- Figura **K₁K₂** **K₃K₄** treba da ostaje (ravni) paralelogram za sve vreme kretanja mehanizma.

- Pravac K_1K_2 je stalno nagnut pod 45 stepeni prema ravni (X,Y),
- Paralelni mehanizam ostvaruje kretanje translacijom klizača B_x , B_y , B_z . Oni preko tri para spojki pomeraju pokretanu platformu P , koja stalno ostaje paralelna sama sebi, odnosno ostvaruje translatorno pomeranje.

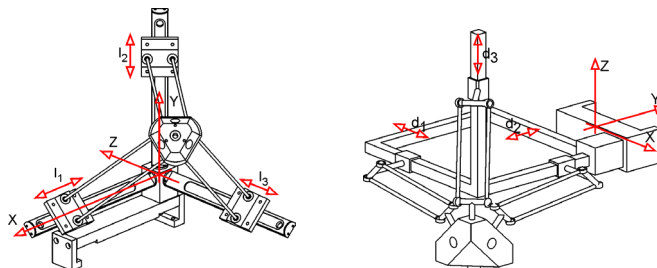


Slika 1. Polazni koncept funkcionalnog simulatora troosnih paralelnih mašina

3. KINEMATIČKI MODELI

Razmatrani funkcionalni simulatori su troosne mašine sa paralelnom kinematikom. U obe do sada razvijene konfiguracije (slika 2) paralelnog mehanizma za simulatore, pokretana platforma je sa klizačima povezana pomoću tri para spojki. Proračun se sprovodi sa srednjim dužinama spojki koje su tačno na sredini između dve spojke jednog para.

Kinematički model funkcionalnog simulatora P3 pokazan je na slikama 2a) i 3a) i predstavlja osnovnu konfiguraciju funkcionalnog simulatora, koja je realizovana i već testirana na obradnom centru HBG80, kao pogonskoj mašini. Platforma je obuhvaćena vodičama pogonskih osa u unutrašnjosti oktanta. Pretpostavlja se da su $O_B R_2 = O_P C_2$, $O_B R_3 = O_P C_3$. Sve spojke su iste dužine $c = 600\sqrt{2} \cong 848.528$ mm. Koordinate podnožja alata u ravni (X_P, Y_P) iznose $x_{TP} = y_{TP} = 25$ mm. Udaljenost od vrha alata do podnožja TTP iznosi 110 mm + prepust vrha alata T ispred čela platforme.

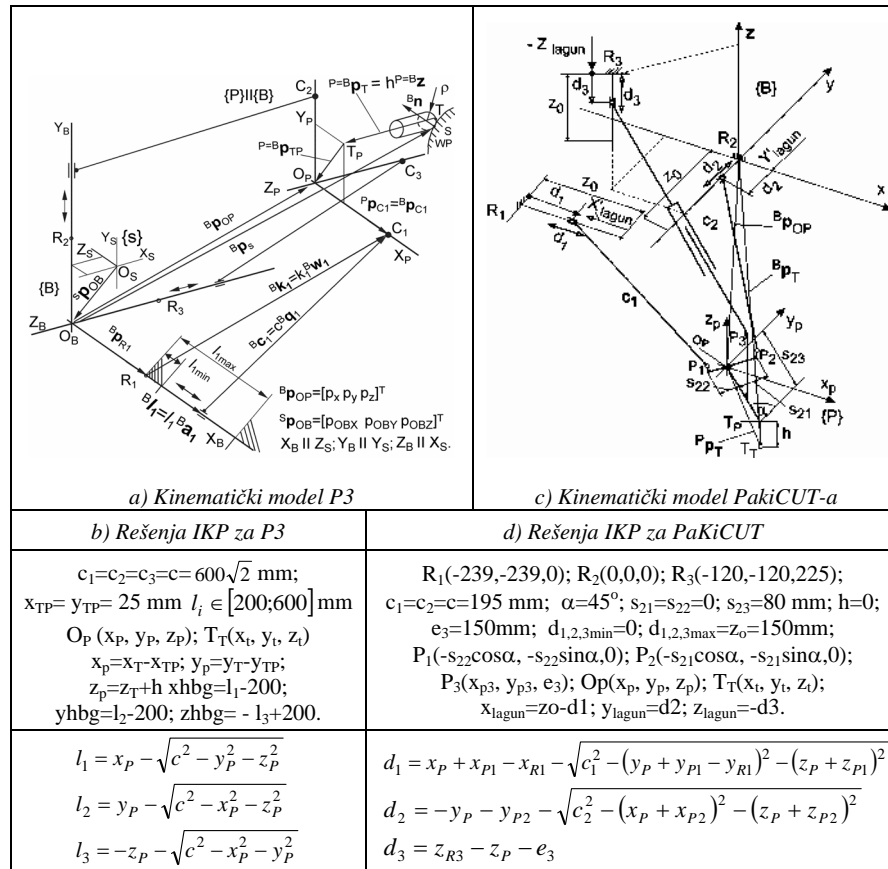


Slika 2. Dve osnovne konfiguracije funkcionalnog simulatora

Programiranjem osnovne mašine za pokretanje simulatora P3 realizuje se funkcionalni simulator mašine sa paralelnom kinematikom. Za ove potrebe neophodno

je rešenje inverznog geometrijskog problema (igp). Ono je sa parametrima mehanizma dato na slici 3b). Od po dva rešenja za svaku pogonsku osu bira se povoljnije rešenje sa aspekta konfiguracije simulatora. U ovakvoj konfiguraciji, u kojoj je platforma isturena, koriste se rešenja sa znakom minus ispred korena.

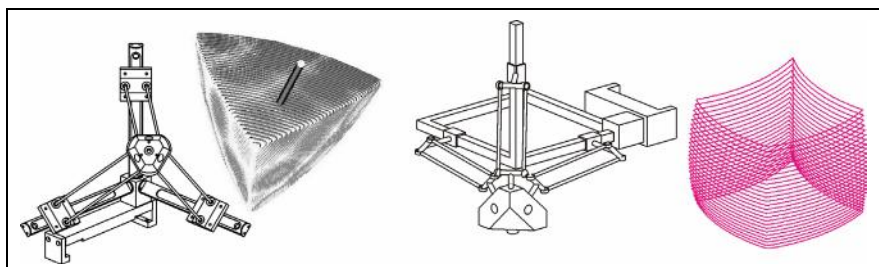
Kinematički model PaKiCUT pokazan je na slici 3c). Ovo je nova konfiguracija, kod koje platforma nije obuhvaćena vodicama pogonskih osa. U okviru ove konfiguracije postoji nekoliko varijanti, u zavisnosti od načina realizacije strukture pogonskih osa. Na slici 3c) je dat model kod koga se vertikalna pogonska osa pokreće preko polarnog mehanizma, a dve horizontalne ose se pokreću preko translatorskih veza. Moguće su i drugačije konfiguracije.



Slika 3. Kinematički modeli sa parametrima

Na slici 4. je pokazano poređenje ove dve osnovne konfiguracije funkcionalnih simulatora. U prvoj, čiji je predstavnik P3, platforma je obuhvaćena vodicama pogonskih osa. U drugoj, čiji je predstavnik PaKiCUT, platforma nije obuhvaćena vodicama pogonskih osa. Na osnovu razmatranih kriterijuma može se zaključiti da druga koncepcija ima bolje osobine, na koje dominantno utiče oblik i veličina radnog prostora, što je generalno problem svih mašina sa paralelnom kinematikom. Za drugu

konceptiju je radni prostor značajno veći i blizak je pravilnom obliku. Drugim rečima moguće je lakše upisati veću pravilnu prizmu u granice radnog prostora.



Tip Simulatora	P3	PaKiCUT
kriterijum		
Pokretne mase	male	male
Brzina	velika	velika
Krutost	dobra	zadovoljavajuća
Radni prostor	mali	veći
Oblik radnog prostora	nepravilan	blizak pravilnom
Troškovi izrade	veliki	mali
Kalibracija	teža	lakša
Montaža	lakša	teža

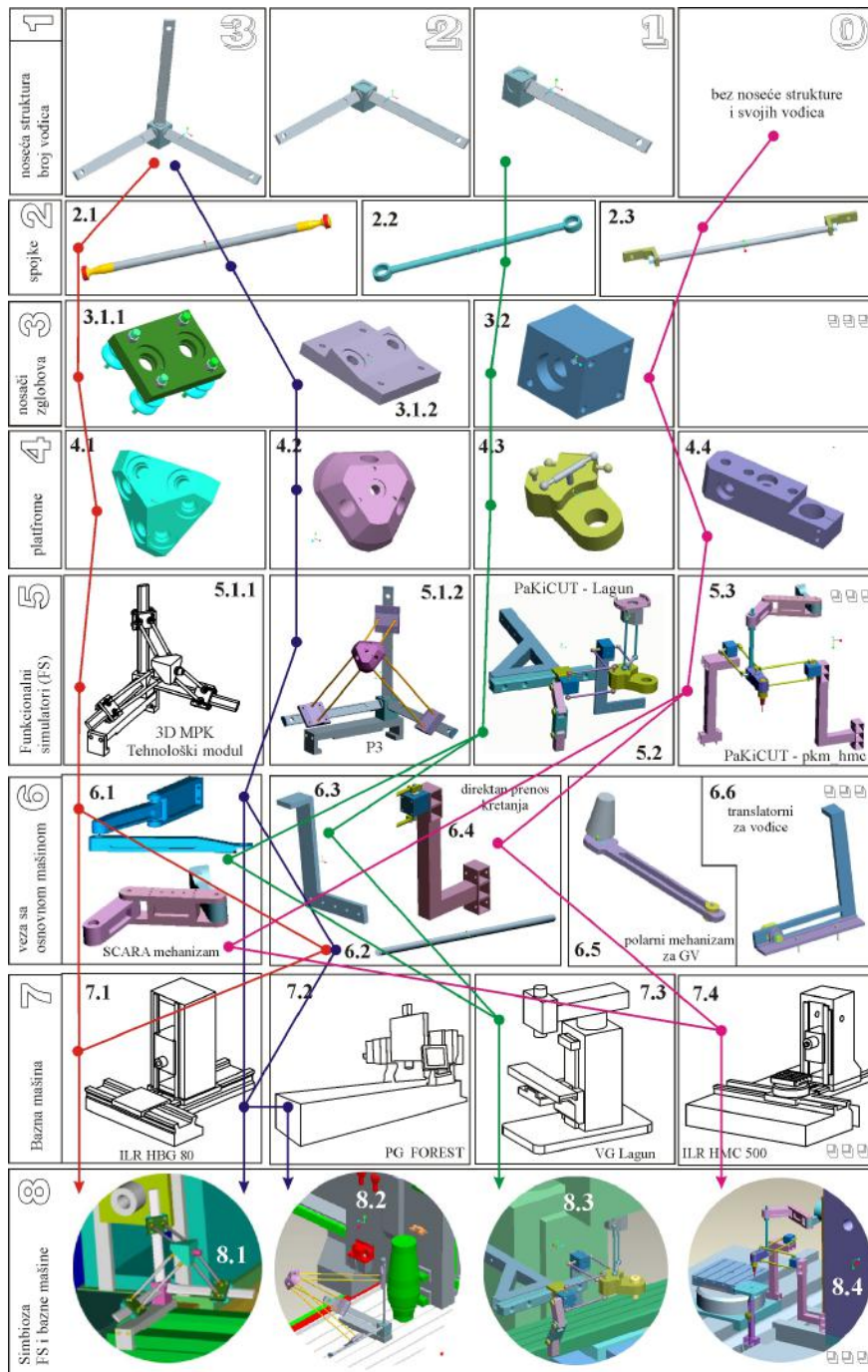
Slika 4. Poređenje osnovnih koncepcija FS

4. MODULARNI KONCEPT KONFIGURISANJA FS

S obzirom da potencijalni korisnici imaju vrlo različite troosne CNC mašine alatke, u cilju što ekonomičnije proizvodnje simulatora, odnosno, što pristupačnije cene, planirana je proizvodnja modularno konfigurisanih funkcionalnih simulatora. Kako su potencijalni korisnici već upoznati sa MPK, kao i to da su veoma verzirani u programiranju svojih mašina, funkcionalni simulator bi se mogao proizvoditi kao sistem sastavnih elemenata [7]. Ovo se u potpunosti uklapa u ideju da se oformi proizvodni program simulatora u različitim varijantama u zavisnosti od tipa bazne mašine.

Na slici 5. je pokazan primer opisivanja konfigurisanja simbioze funkcionalnih simulatora mašina sa paralelnom kinematikom i baznih mašina, primenom morfoloških matrica. Funkcijskim strukturisanjem problem opisivanja je sveden na 7 grupa, u okviru kojih je nastavljeno dalje strukturisanje. Ove grupe su: 1- noseća struktura i broj vodica; 2 - spojke; 3 - nosači zglobova (translatorno pokretni); 4 - pokretene platforme; 5 - funkcionalni simulator mašine sa paralelnom kinematikom; 6 - veza sa osnovnom mašinom; 7 - bazna mašina. Grupa 8 predstavlja rezultat izbora odgovarajućih realizacija prema strukturisanim funkcijama i predstavlja izvod iz mogućeg plana uzoraka ugrađenih simulatora na baznim mašinama.

Sve simulatore moguće je grubo podeliti u dve grupe: one koji imaju svoju noseću strukturu i vodice na njoj i one koji nemaju, već se direktno vezuju za klizače osnovne mašine. Noseća struktura (1) može da ima različiti broj vodica (1 do 3). Spojke (2) mogu biti realizovane sa sfernim ili univerzalnim zglobovima na svojim krajevima. Nosači zglobova (3) se mogu kretati po vodicama na strukturi funkcionalnog simulatora, ili preko interfejs ploča kretanje mogu dobijati direktno od bazne mašine (6.3, 6.4). Pokretane platforme (4) mogu imati jednu ili više baza za glavno vreteno.



Slika 5. Morfološka matrica konfigurisanja funkcionalnih simulatora troosnih MPK

Izvod iz plana uzoraka simbioze bazne mašine i funkcionalnih simulatora je dat u grupi (8). Grupa (6) predstavlja načine povezivanja simulatora sa baznom mašinom. To može biti direktno (6.2, 6.3, 6.4), ili preko SCARA mehanizma (6.1), ili preko polarnog mehanizma (6.5) ili preko translatorskih mehanizama (6.6). U grupi (7) su date do sada razmatrane bazne mašine (obradni centar ILR HBG 80, Portalna glodalica Forest, Vertikalna glodalica Lagun, obradni centar ILR HMC500). Ova morfološka matrica nije konačna, već se može i dalje proširiti. Osim realizacija modula u osnovnim funkcijama, moguće su i druge konfiguracije, koje zbog ograničenog prostora ovde nisu navedene.

5. PROGRAMIRANJE FUNKCIONALNOG SIMULATORA

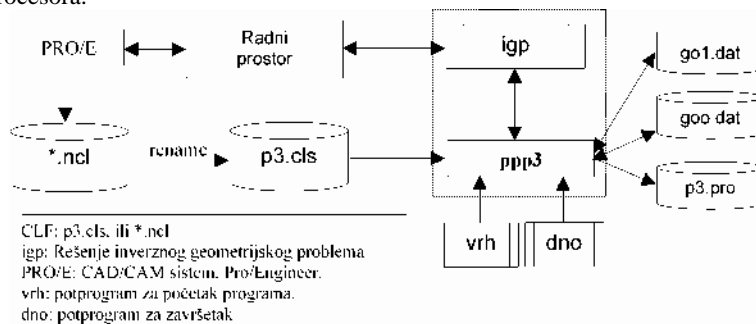
Programiranje mašina sa paralelnom kinematikom je daleko složenije nego kod tradicionalnih mašina sa serijskom kinematikom. Serijske mašine alatke, kod kojih se ose mašine sekvencijalno nadovezuju, postoji uparenost osa mašine i potrebnih kretanja alata u odnosu na obradak. Međutim, kod mašina sa paralelnom kinematikom postoji neuparenost osa mašine i potrebnih kretanja alata u odnosu na obradak u programiranju. Radi toga se i metod programiranja mora postaviti na nov način. Pogodnost je lakoća rešavanja inverznog kinematičkog problema za ovakve mehanizme. U upravljanju tradicionalnih NUMA jednostavno se ostvaruje pravolinijsko kretanje po nekoj od osa, dok je kod mašina sa paralelnom kinematikom za najobičnije pravolinijsko kretanje potrebno ostvariti preračunavanje kretanja po svim raspoloživim osama.

Sprezanjem osnovne mašine sa serijskom kinematikom i funkcionalnog simulatora ostvaruje se unutrašnja interpolacija pogonskih osa simulatora. Zbog toga je potrebno da putanja alata, koji se pomera u odnosu na obradak pomoću simulatora, bude dovoljno fino interpolisana, ili naknadno linearizovana, da bi tačnost obrade pomoću simulatora bila zadovoljavajuća. Za programiranje simulatora potrebno je izvršiti postprocesiranje proračunate putanje alata simulatora korišćenjem njegovog inverznog geometrijskog problema (igp), ali sa implementacijom formata programa za osnovnu mašinu. To se ovde vrši na tri načina:

- Ručnim programiranjem, kada se putanja alata zadaje tačka po tačka, na svaku tačku se primenjuje rešenje igp simulatora, a onda i sastavlja program za osnovnu mašinu. Moguće je da se tada vrši linearizacija putanje za slučaj da su delovi putanje dugi.
- Emuliranjem postprocesora za simulator, kada se pogodno razvijenom aplikacijom čita putanja alata izračunata u CAM sistemu (CL file), a onda na nju primenjuje postprocesorski račun na bazi igp za simulator i rezultati formatizuju u program za osnovnu mašinu. U ovom izračunavanju vrši se linearizacija putanje kada god se zaključi da je potrebna.
- Implementacijom sopstvenog postprocesora u CAM sistem kada je to moguće. Tada se rešenje igp simulatora implementira u postprocesor. Generatori postprocesora obično omogućavaju samo da se izabere neka od ponuđenih kinematičkih struktura mašine, među kojima nisu mašine sa paralelnom kinematikom. Otuda se ne koristi generator postprocesora nego se traže drugi načini da se koriguje izračunavanje u postprocesoru. Tako je, na primer, za simulator P3 i osnovnu mašinu HBG80 bio napravljen postprocesor u okruženju Pro/Engineer [3].

Ovde je ilustrovana emulacija postprocesora na slici 6. Proverena je i korišćena u okruženju CAD/CAM sistema Pro/Engineer (modul PRO/E). Putanja alata se preuzima iz zapisa *.ncl. Preimenuje se u p3.cls da se naznači da će biti korišćena u emulatoru

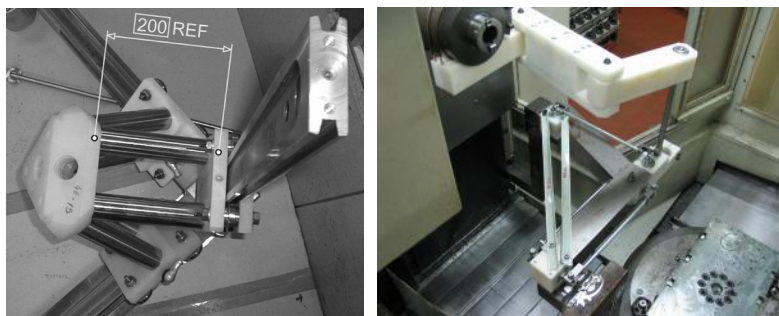
postprocesora. Jedan od razvijenih je ppp3. U njemu je implementirano rešenje igp. Gabarit radnog prostora simulatora (modul Radni prostor) koristi se i za proračunavanje putanje alata i za neprekidnu kontrolu pozicija simulatora da se ne desi da u radu pođe ka nepostojećoj poziciji svojih pogonskih osa. Moduli vrh i dno koriste se za sastavljanje početka i završetka programa za pogonsku mašinu. U zapisima g00 i g01 su evidentirana pozicioniranja i interpolacije, tim redom. Program za osnovnu mašinu je u zapisu p3.pro. Ovo je najčešći način programiranja simulatora p3 i PaKiCUT. Linearizacija putanje alata podešava se prilikom pokretanja odabranog emulatora postprocesora.



Slika 6. Struktura postprocesora ppp3

6. MODELI ZA KALIBRACIJU FUNKCIONALNOG SIMULATORA

Metod kalibracije simulatora zavisi od varijante primenjenog paralelnog mehanizma. Na slici 7a) je pokazana kalibracija P3, pomoću spojki referentnih dužina od po 200mm, čime su određeni referentni položaji translatorskih kolica za sve tri ose. Na slici 7b) je pokazana kalibracija mehanizma PaKiCUT, učvršćivanjem u poznati fiksni položaj kada su spojke međusobno upravne. U toj poziciji se vrši postavljanje na baznu mašinu.



a) kalibracija P3

b) kalibracija PakiCut-a

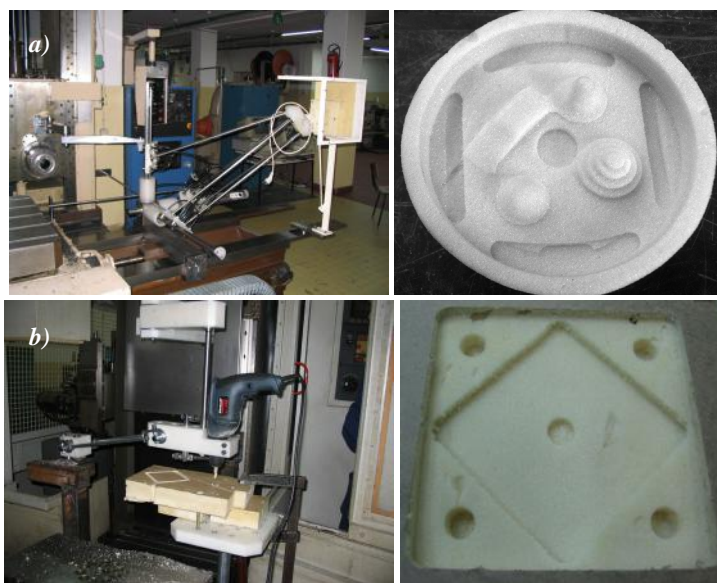
Slika 7. Primeri kalibracija simulatora

Simulator PaKiCUT nema sopstvenu noseću strukturu. Ose pogonske mašine (HMC500) koriste se i kao njegove pogonske ose. Otuda je za njega obavezno da se učvrsti kako je pokazano na slici 7b) da bi se baze na osnovnoj mašini mogle podesiti prema tako fiksiranom mehanizmu ovog simulatora. Ovakvo podešavanje je neizbežno

zato što su baze simulatora bez sopstvene strukture obično pravljene kao priručne i zato nemaju zadovoljavajuću tačnost. Sledeća aktivnost obično je računaska kalibracija simulatora zajedno sa ispitivanjem i poboljšavanjem njegove geometrijske i radne tačnosti.

7. PROTOTIPOVI I OBRADA TEST RADNIH PREDMETA

Realizovana su dva prototipa, P3 za integraciju sa HBG80 i FOREST i PaKiCUT za integraciju sa HMC500, slika 8. Po realizaciji prototipova simulatora izvršena je obrada test radnih predmeta, prema raznim procedurama za ispitivanje radne tačnosti ovakvih mašina. Još uvek ne postoje standardi za ispitivanje geometrijske i radne tačnosti mašina sa paralelnom kinematikom, pa i njihovih simulatora. Zato su uzorci za probne delove za realizovane simulatore birani među probnim delovima za brzohodne mašine i za numerički upravljane glodalice i među probnim delovima koje su neke laboratorije predložile za mašine sa paralelnom kinematikom. Probni delovi sa slike 8. su samo dva od nekoliko korišćenih. Funkcionalni simulatori su već uvedeni u nastavu predmeta Mašine alatke, na Mašinskom fakultetu u Beogradu.



Slika 8. Dva razvijena prototipa i na njima obrađeni test radni predmeti

8. ZAKLJUČAK

Osnovni cilj projekta je razvoj funkcionalnog simulatora troosnih mašina sa paralelnom kinematikom za višeosnu obradu mekih materijala (drvo, plastika, pena i sl), kao modernog i sofisticiranog proizvoda namenjenog za edukaciju i trening u oblasti mašina alatki sa paralelnom kinematikom generalno, kao i njihove primene i programiranja.

S obzirom na značaj paralelnih mašina kao novog koncepta u proizvodnim tehnologijama za 21. vek, funkcionalni simulator omogućava ekonomičnu i efikasnu edukaciju u oblasti paralelnih mašina primenom postojećih konvencionalnih - serijskih CNC mašina alatki. Simulator, kao proizvod, bi zadovoljio potrebe naše zemlje, ali i regiona uz mogućnost da postane i svetski proizvod. Razlog za ovakvu tvrdnju je realan jer osrednja troosna mašina sa paralelnom kinematikom košta oko 150.000 do 200.000 evra dok bi cena Simulatora bila između 6000 i 10000 evra, zavisno od zahteva kupca. Efekat proizvodnje Simulatora za Korisnika CPS - CAD Professional Systems bi mogao biti značajan s obzirom na činjenicu da svi mašinski fakulteti u zemlji i bližem okruženju, imaju troosne CNC glodalice ili obradne centre, zatim i veći broj viših i srednjih škola imaju ove mašine. Takođe i domaće fabrike, koje bi ušle u nabavku paralelnih mašina, bi korišćenjem simulatora stekle osnovna znanja iz ove oblasti, a pogotovu u pogledu primene i programiranja. Ovakve konstatacije se zasnivaju na činjenici da Korisnik CPS - CAD Professional Systems sa skoro svim pomenutim potencijalnim korisnicima ima saradnju u oblasti CAD/CAM-a.

ZAHVALNOST

Ovaj projekat je podržan od strane Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine, Vlade Republike Srbije i od strane CPS CAD Professional systems.

LITERATURA

- [1] *Milutinović, D., Čović, N., Glavonjić, M.*, Functional simulator of 3D parallel kinematic milling machine, 27. JUPITER konferencija, 23. simpozijum NU - Roboti - FTS, Zbornik radova, str. 3.1-3.6, Mašinski fakultet, Beograd, 2001.
- [2] *Živanović, S.*, Tehnološki modul sa paralelnim mehanizmom, Magistarska teza, Mašinski fakultet Beograd, 24. 7. 2000.
- [3] *Čović, N., Živanović, S., Glavonjić, M.*, Osnovna koncepcija jednog prototipa troosne mašine sa paralelnom kinematikom, 28. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Zbornik radova, str. 6.7-6.13, Mašinski fakultet Kraljevo, Mataruška banja, 2000.
- [4] *Glavonjić M., Milutinović D., Živanović S.*, Troosne paralelne mašine, Elaborati (01,2,3)-03-2003, Mašinski fakultet Beograd, 2003.
- [5] *Milutinović, D., Glavonjić, M., Živanović, S.*, Razvoj uređaja sa paralelnom kinematikom za integraciju sa troosnim obradnim centrom za višeosne procese obrade rezanjem, EUREKA projekat E!3239, Izveštaj za 2005. godinu (III i IV faza projekta), Mašinski fakultet Beograd, 2005.
- [6] *Glavonjic, M., Milutinovic, D., Zivanovic, S., Bouzakis, K., Mitsi, S., Misopolinos, L.*, Development of a Parallel Kinematic device Integrated into a 3-axis Milling centre, Proceedings of 2nd Interanational Conference on Manufacturing Engineering ICMEN and EUREKA Brokerage Event, pp.351-361, Kassandra-Chalkidiki, Greece, october, 2005.
- [7] *K. H. Borowski*, Sistem sastavnih elemenata u tehnici, Grafičko preduzeće Sloboda, Vršac, 1995.



MODELLING THE ACCURACY OF AXIALSYMETRICC SHAFT MANUFACTURING

W. Halas ¹⁾, V. Taranenko ²⁾, A. Świć ³⁾

Abstract. *This case study concern questions like controlling accuracy of the machining axial-symmetric parts for every type of technological process, as the uniform system for the operation, linking a lot of different operations. Mathematical models of the turner's operation, milling and thermal operations and their influence on the accuracy and exploitation characteristics of the manufactured shaft as the ready product are being quoted*

Keywords: *residuary forces, mathematical model, shaft, deformations, turning, milling*

1. INTRODUCTION

The technological process of manufacturing parts like shaft is showing combination of turner's, milling, grinding and drilling operations as well as heat processing operations which are characteristic to all types of the production. Every of operations is examined enough precisely to develop right recommendations of automatic controlling. One of the ways setting the comprehensive controlling solution of rolling manipulating process appears to be examining part making technological process as only one type of operation, linking a lot of the different operations together [1]. An optimal solution of the task can be achieved after determining optimal steering variables for technological parameters value and of building the optimal order and structure of the operation in the technological process. To solve basic task we need to create technological model of every operation. We will examine the technological model as one of examples for the operation with rolling processing, as the oriented object.

2. EXAMINING TURNING OPERATION ACCURACY

Inaccuracy of the shaft shape in horizontal direction is dominating in the general inaccuracy of processing and has essential influence on operation characteristics, part

¹⁾ Witold Halas, M. Sc. Eng., asystent Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Chełmie ul. Pocztowa 24, 22-100 Chełm, Polska, whalas@pwsz.chelm.pl

²⁾ Viktor Taranenko, prof. D. Sc. Eng., kierownik Zakładu Elastycznych Systemów Wytwarzania ITSI Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, Polska wтарan@wp.pl , w.taranenko@pollub.pl

³⁾ Antoni Świć , D. Sc., Eng., Assos.prof. dyrektor ITSI, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, Polska a.swic@pollub.pl

dynamics, productivity and the machine vitality. In addition shaft deforming caused by raising stress, is lowering the quality of manufactured parts, what is emerging losses of the accuracy of relative surface location are rendering numerous coincidences at the assembly, even if after final processing, part answered to the assumed requirements. Examining the characteristics of system realizing technological process of rolling assume planning not only current preliminary sizes but also influence of preliminary sizes noticed in previous operations, which impact final result of rolling process. Analysis of calculations results and experimental examinations is resulting almost identical deformations values.

Knowing the type of residuary force distribution in cross-section of the semi-finished shaft is necessary to calculate residuary force coming from bending internal forces in the time of rolling the semi-finished product with pulsation of the extra surplus. From the thermal condition, when the criterion of Fourier is crossing 0.3 [2], force distribution is running according to a parabolic curve. The regular thermal regime is taking place in all cases of the heat processing, except for hardening although tempering, for which also the thermal regime is characteristic.

Taking the law of the parabolical force distribution into consideration in the cross-section and fact, that residuary force called with processing are not causing additional forces appearing, a formula describing expected shafts deformations in the time of rolling was received.

Expected deformations of the shaft after removing the extra surplus can be described in the figure:

$$y = \frac{M \cdot L^2}{8 \cdot E \cdot I_x} = \frac{\sigma_0 \cdot \pi \cdot r^4 \cdot a \cdot L^2}{8 \cdot R^2 \cdot E \cdot I_x}, \quad (1)$$

where:

$$I_x = \frac{\pi \cdot r^4}{4} = \frac{\pi \cdot d^4}{64} - \text{moment of inertia of the field section,}$$

E - flexural modulus, σ_0 - normal force.

The conclusive expression can be saved in the figure:

$$y = \frac{\sigma_0 \cdot L^2 \cdot a}{2 \cdot R^2 \cdot E} \quad (2)$$

Relations (2) is resulting that the size of deforming is depending mainly on the eccentric (a), lengths of the part (L) and of radius of the semi-finished product (R) and isn't depending on the radius of the part (r).

Analytical value of deformations was calculated from the pattern (2), the size was being peeled according to results of experience carried earlier. Analysis of relations introduced on Drawing 1, is resulting state that calculated value of deformations is answering closely to experimental. A 9% is gaining the misconception of calculations compared with experimental results.

3. EXAMINING THE ACCURACY OF THE INLET GROOVES MILLING

Placing the part at the milling of inlet grooves is taking place in heaps, and force of the mounting is set opposite to the base points. At construction of the technological

arrangement (milling of inlet grooves process) as the steered object characteristic parameters are: the coarseness of the surface R_a and the real summary inaccuracy of the shape of the shaft Δ_{snk} . Entrance parameters are:

1. structural variables: the diameter of the part d , the length l , the stiffness of the object J_{ut} ;

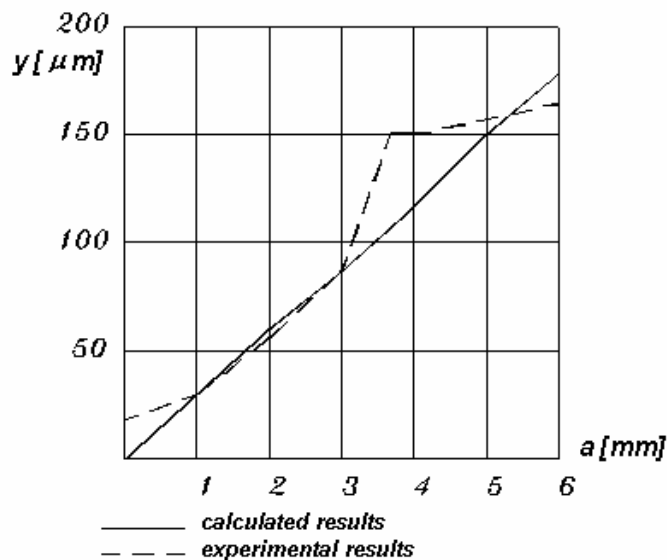


Fig. 1. Graph is introducing the relation of experimental and calculated results to value of deformations at different punctured point locations

2. structural variables: the diameter of the part d , the length l , the stiffness of the object J_{ut} ;
3. steering variables: depth of machining a_p , thread f ;
4. disrupting variables: starting bending the axis Δ_b , the residuary force in the semi-finished product σ_b .

The pattern for the given operation to the summary inaccuracy can be saved in the figure:

$$\Delta_{snk} = \Delta_b + \Delta_m + \Delta_{skr} + \Delta_{odk}, \quad (3)$$

where:

- Δ_b - inaccuracy of being based,
- Δ_m - mounting inaccuracy,
- Δ_{skr} - inaccuracy connected with action of forces during machining process,
- Δ_{odk} - inaccuracy caused by part deformation during removing the extra surplus.

Since part basing at the milling of inlet grooves is taking place on heaps and of mounting force located on the opposite to the based points, two first figures of the

inaccuracy don't have the influence on the accuracy of the shape. Therefore the mathematical model has been introduced in the figure:

$$\Delta_{sk} = \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_x} - \frac{3 \cdot K \cdot \Delta\theta \cdot \alpha_2 \cdot a_1}{2 \cdot \lambda_1 \cdot d \cdot 10^3}, \quad (4)$$

where:

F - force of machining,

l - distance between heaps,

a_1 - size of the dismissed surplus,

$\Delta\theta$ - temperature differences between surrounding environment and cooling temperature

$K = 0,35$ - rate taking the connection with the Bio B_i criterion and the criterion of the temperature θ at calculating residuary forces for the constructional steel,

α_2, λ_1 - appropriately rates of adopting the warmth and conducting the warmth,

for the constructional steel $\frac{\alpha_2}{\lambda_1} = 2,5$, [3].

For the part diameter $d = 28mm$, length $L = 300mm$, cutting force $F = 600N$, distance between heaps size of $l = 250mm$, inaccuracy of processing $\Delta_{skr} = 0,59mm$.

Deformation size connected with deformation for the same part at $\Delta\theta = 840^{\circ}C$ and $a_1 = 5mm$ is about $\Delta_{odk} = 0,27mm$. Resulting from calculated sizes, shape size inaccuracy of part connected with the deformation to overall inaccuracy is about 31%.

Experimental examinations were carried to determine the part of inaccuracy connected with deforming during the milling of the inlet groove in the general inaccuracy of processing. All research was carried on post of the vertical milling machine 652FZ model with 16, steel 45 samples, size $d = 28mm$ and $L = 300mm$. Samples were normalized and divided in 4 group's, according to needle movement needed to make outside turner's processing (movement size was: 0, 1, 2 and 3 mm). Processing was carried at cutter diameter of 8mm on R6M5 milling machine at one pass. After groove processing, groove bottom shape and groove bottom distance from surface measurements taken place (in seven cross-sections).

According to average experimental examinations, a relation between variation and shafts surface arrangement after milling the rabbets was carried and shown in Fig. 2.

Analysis of received conclusions is demonstrating, that passing the needle height before preceding by the rolling operation, inlet groove inaccuracy connected with the deformation brought by little stress is growing at the milling of grooves on the convex shaft surface and is decreasing at processing on the opposite page. The participation of the inaccuracy, tied with the deformation, is growing constantly and is achieving the 20% at the needle shift equal to 3mm.

4. MODELING THE SHAFTS HEAT PROCESSING

Metallurgies and heat processings demonstrated examinations proved that phase changes of metal were stabilizing in the maximum heating temperature but the internal stress size are resulting from the relation from the heating and chilling temperature and their time. Stress state according to temperature influence are being described by the thermodynamics equations, thermal resilience and thermo-plasticity, but step of the analytical description problem and sensitiveness of solving thermodynamic variables

rates are making more accessible statistical description, examining the heat processing process like the controlling object.

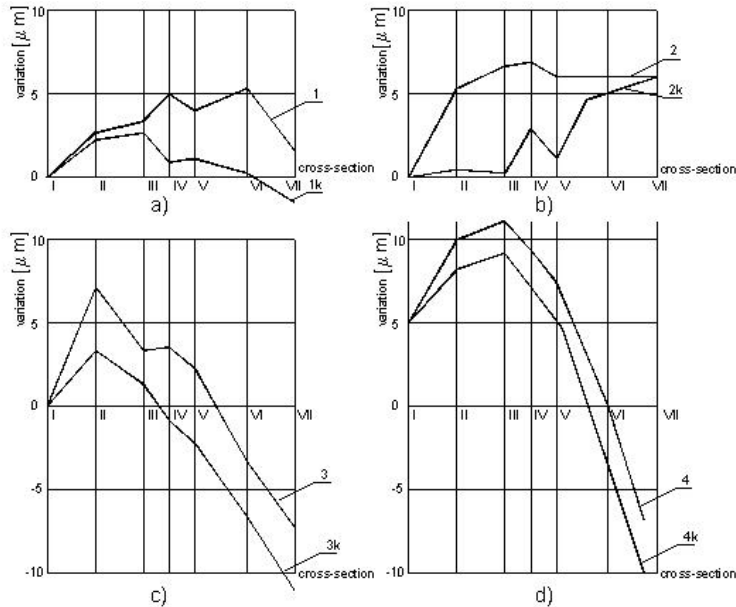


Fig. 2. Variation from shaft surfaces arrangement after mechanical processing (where: 1, 2, 3, 4, - summary inaccuracy; 1k, 2k, 3k, 4k - inaccuracy connected with the deformation) with moving needle: no movement - a), moving 1mm - b), moving 2mm - c), moving 3mm - d)

The mathematical model for the heat processing can be saved in the figure:

$$A_{snk} = A_0 \left(1 + \frac{E \cdot I_x \cdot \lambda_1}{E \cdot I_x \cdot \lambda_1 - 0,56 \cdot \Delta\theta \cdot L^2 \cdot d \cdot \alpha_2} \right), \quad (5)$$

Carried analysis of received models and analytical examinations showed, that part like shaft size deformations can be determined as early as the stage of preparing the technological process [4].

SUMMARY

While taking surplus irregularity, stress resilience of the semi-finished product derived from axis cutting force usually brings processing part twisting. Part with largest surplus becoming convex.

Since the surface of the semi-finished product will be focused on maximum tension vestigial hugging so scheduling them at parabolic cross-sections forces irregular surplus taking, which causes part with more surplus taken become concave. A possibility of exploiting vestigial deformations compensation of bending the axis of the part from caused elastic strains arise. After turner's processing with diversifying the extra size of deformations elastic-plasticity and vestigial she is nonequivalent to the general torque of

unstable internal, coming into existence at taking the uneven extra powers. The general unstable torque is calling elastic strains, making endurance ceiling smaller. At next processing, and in the given case in the time of the milling of inlet grooves, are appearing new redundant stress values.

REFERENCE

1. Бойко В. Б., Митрофанов В. Г., Тараненко В. А. Формирование структуры и последовательности операций технологического процесса обработки нежестких валов в ГПС // Автомобильный транспорт: тенденции развития, высокие технологии, менеджмент и маркетинг: Материалы II международной научн.-техн. Конф., 14-17 сентября 1998 г. – СевГУ, 1998. – с. 83-90
2. Абрамов В. В. Остаточные напряжения и деформации в металлах. – М.: Машгиз, 1963. – 355 с.
3. Справочник технолога –машиностроителя. В 2-х томах / Под ред. Косиловой А. Г., Мещерякова Р. К. – М.: Машиностроение, 1985, Т.1: - 656 с. Т2: - 496 с.
4. Тараненко Г., Тараненко В. Моделирование точности технологических процессов обработки резанием осесимметричных деталей. //VI Międzynarodowe Sympozjum Obróbka Skrawaniem i Narzędzia (OSIN'99) Kraków, 16-18 grudnia 1999. – S. 263 - 269



PRIMENA MAŠINE WIRTGEN SM 3500 NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA UGLJA

Lj. Savić ¹⁾, R. Janković ²⁾, S. Kovačević ³⁾

Rezime: Tehnološka rešenja na površinskim kopovima uglja koja se danas nameću u prvom redu zbog povećanja otkopnih količina uglja, zatim nedostataka drobiličnih postrojenja, nemogućnosti primene kontinualnih sistema sa transportnom trakom, zbog složenosti ležišta kao i potrebe selektivnog otkopavanja, su doveli do stvaranja novih tehnoloških rešenja dobijanja uglja uz primenu savremenih rudarskih mašina kao što je mašina Wirtgen SM 3500. Kontinuiranom tehnologijom rada sa ovom mašinom postižu se zadovoljavajući rezultati na dobijanju uglja i otkrivke, naročito u vidu poboljšanja kvaliteta uglja primenom metode selektivnog otkopavanja.

Problem osiromašenja uglja zahteva uvođenje novih tehnologija i izbora rudarske opreme, kao što su specijalne mašine u rudarstvu koje omogućavaju selektivno otkopavanje i uklanjanje jalovih proslojaka u ugljenom sloju.

Ključne reči: površinski kop, ugalj, proslojak, mašina.

1. UVOD

Uz osnovne mašine sa kontinuiranim radom (rotorni bageri i bageri vedričari), pojavile su se i specijalne mašine sa potpunim ili delimično kontinuiranim radom. Pošto je ovo nova tehnologija, pojam kontinualnih mašina za rezanje obuhvata mašine sa reznim bubnjem i reznim sečivima obešenim na konstrukciju bubnja.

Ova grupa mašina ima centralno montiran rezni bubanj ispod same konstrukcije mašine. Kopaju ispred sebe krećući se napred, tako da pri radu iza sebe ostavljaju ravne površine. Lokacija reznog bubnja omogućava da se težina mašine koristi za uvećanje rezne sile (80-160 MPa), kao i najveću operativnu primenu pa se može zaključiti da se mašine ove grupe sa velikim uspehom mogu primeniti na kopovima lignita.

2. PRIMENA SPECIJALNIH MAŠINA U RUDARSTVU

Kao polazna osnova za primenu ovih mašina u rudarstvu, su pozitivna iskustva stečena pri proizvodnji građevinskih mašina za struganje asfalta i betona gde se primenjuju već duže vreme.

U dosadašnjoj praksi mašina je postigla značajne rezultate i već se dokazala u eksploataciji višeslojnih ležišta lignita sa slojevima male moćnosti.

¹ Prof. dr Ljubinko Savić, FTN Kosovska Mitrovica, ljsavic@bitinfo.co.yu

² Mr Radiša Janković, JP PK Kosovo "Obilić", Kosovska Mitrovica

³ Mr Srđa Kovačević, JP PK Kosovo "Obilić", Kosovska Mitrovica

31. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA SCG

Razlozi koji utiču na opredeljenje za izbor mobilne otkopne mašine Wirtgen SM 3500 se ogledaju u sledećem:

- Svojim konstruktivnim rešenjima, mašina može da otkopava slojeve u rezovima različite debljine od 0,05-0,55 m, što objektivno omogućava visok stepen selekcije jalovih proslojaka moćnosti manje od 0,5 m.
- Mogućnost otkopavanja uglja i dobijanja granulata GGK < 300 mm, što isključuje fazu primarnog pa i sekundarnog drobljenja.
- Mogućnost uklapanja u sistem sa etažnim trakastim transporterima ili diskontinualnim transportnim sistemima (damperima).

Da bi se mašina prilagodila teškim radnim uslovima u površinskoj eksploataciji, ukompovana je sa standardnim delovima rudarske opreme, pri čemu je dobijena rudarska mašina koja objedinjuje operacije otkopavanja, drobljenja i utovara u jedinstveni tehnološki proces.



Slika 1. Izgled mašine Wirtgen SM 3500

Tabela 1. Tehničke karakteristike mašine Wirtgen SM 3500

Masa, [t]	99,77
Dimenzije, [m x m]	4,9 x 21,6
Prečnik bubnja, [m]	1,37
Max. dubina reza, [m]	0,556
Brzina napredovanja, [m/min]	0-25,91
Teoretski kapacitet, [t/h]	800-1360
Tip motora	CUMM. KTA 2300
Snaga, [KW]	895

Svojim konstruktivnim rešenjima mašina omogućava precizno otkopavanje slojeva male moćnosti, čime se postiže visok stepen selektivnosti. U poređenju otkopavanja sa rotornim bagerom, jalovi proslojci kod ove mašine se odvajaju, čime se povećava kalorična vrednost i kvalitet uglja.

Granulometrijski sastav otkopavanog uglja ovom mašinom je uniforman sa maksimalnom veličinom komada GGK 300 mm, uz mogućnost smanjenja, regulisanjem reznih noževa, brzine rotiranja reznog bubnja i brzine napredovanja mašine pri kopanju. Ovakva granulacija isključuje upotrebu drobilnog postrojenja, prilikom transporta trakastim transporterima kao i na samoj deponiji, čime se direktno utiče na smanjenje troškova proizvodnje.

Rezna sila kontinualne mašine Wirtgen SM 3500 omogućava rad iste, u svim vrstama uglja sa jednoaksijalnom čvrstoćom od 80-120 MPa, te nema potrebe za prmenom bušačko-minerskih radova ili riperovanja.

Pokazatelji koji će u dovoljnoj meri usloviti primenu odgovarajuće mašine, mogu se dobiti određivanjem specifičnog otpora rezanja K_I i specifičnog otpora kopanja K_f na terenskim uzorcima. Ove vrednosti nam služe kao polazna veličina za projektovanje svih elemenata u procesu rezanja, kao i za određivanje ukupne snage motora.

Preporuke koje daje firma Wirtgen GmbH, za eksploataciju ugljenih slojeva pomoću mašine Wirtgen SM 3500, moraju imati sledeće vrednosti:

- Specifični otpor kopanja

$$K_f = 25 \div 120 [N / cm^2],$$

- Specifična rezna sila

$$K_I = 250 \div 1.600 [N / cm],$$

- Brzine prostiranja uzdužnih akustičnih talasa

$$V_I = 1,244 \div 2,237 [m / s],$$

- Pritisna čvrstoća stene

$$\sigma_c = 700 \div 900 [N / cm^2] = 70 \div 90 [MPa],$$

- Zatezna čvrstoća stene

$$\sigma_t = 57 \div 440 [N / cm^2].$$

Mogućnost potpunog samostalnog kretanja na sopstveni pogon, daje mašini veliku fleksibilnost unutar operative zone, pri čemu se eliminišu ulaganja u izgradnju infrastrukture potrebne za transport. Mašina iza sebe ostavlja veoma ravnu površinu što je velika pogodnost za kretanje transportnih sredstava (dampera), čime direktno utiče na smanjenje potrošnje kako guma tako i goriva. Osim ovih ušteda indirektno se utiče i na radni vek dampera, kao i eliminisanje potrebe planiranja radnih planuma etaža sa buldozerima.

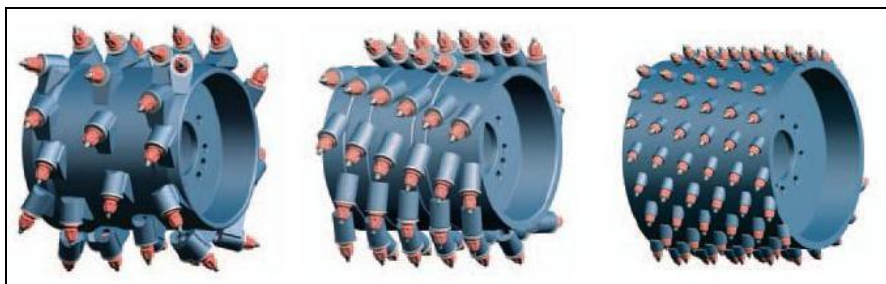
Kompatibilnost predstavlja, mogućnost rada mašine sa već postojećom rudarskom opremom u sistemu, što znači da se mašina lako uklapa u svaki sistem eksploatacije.

2.1 TEHNOLOGIJA OTKOPAVANJA

Wirtgen SM 3500 je energetska potpuno nezavisna mašina, koja objedinjuje operacije otkopavanja, drobljenja i utovara u jedinstven tehnološki proces. Pri kopanju mašina se kreće brzinom od 0,5-26 m/min, otkopavajući sloj ispred sebe.

Tehnologija rada je u potpunosti prilagođena glavnim konstrukcionim osobinama (maloj dubini reza, maloj širini reza i velikoj brzini napredovanja pri kopanju). Sloj koji mašina otkopava deli se na horizontalne slojeve, čija je visina

jednaka dubini reza, a svaki od tih slojeva se deli na više horizontalnih traka širine reznog bubnja.



Slika 3 .Izgled reznog bubnja

Obrada bloka je u rezovima debljine od 0-0,5 m. Debljinu zahvata jednog reza diktiraju konkretni uslovi kao što su slojne prilike (moćnost uglja odnosno proslojka), otpori kopanja, GGK itd. Širina reza je ograničena širinom reznog bubnja koja kod ove mašine iznosi 3,5 m.



Slika 2. Vrste i oblici reznih elemenata

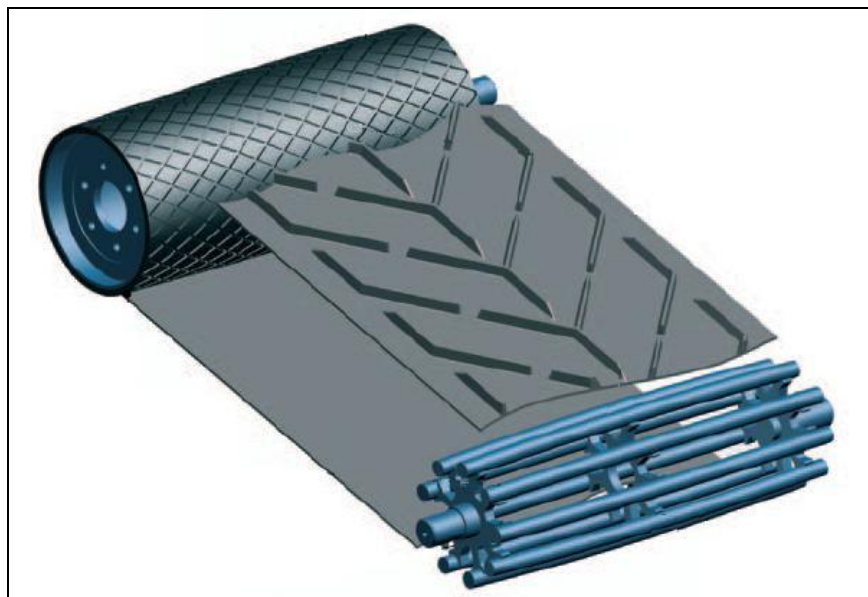
Dobijanje uglja u okviru prvog bloka započinje obradom I reza-zahvata. Po obradi I reza prelazi se na obradu II reza, koji ustvari predstavlja produbljivanje. Po redosledu obrade rezova, izvršiće se obrada prvog bloka. Po istom principu vrši se obrada drugog i trećeg bloka. Početak i kraj svakog reza odnosno bloka izrađuje se u rampi.

2.2 UTOVAR I TRANSPORT OTKOPNOG MATERIJALA

Prilikom rada mašine Wirtgen SM 3500, na dobijanju uglja odnosno jalovih proslojaka transportno sredstvo (damper), prati mašinu sa jedne od bočnih strana i utovara se, čime diktira položaj mašine i otkopnog fronta, što znači da se transport unutar radilišta obavlja po planumu etaža prethodno obrađenih rezova.



Slika 4. Wirtgen SM 3500 u radu



Slika 5. Izgled reljefne trake za utovar materijala

2.3 PRORAČUN KAPACITETA

Elementi koji utiču na proračun kapaciteta mašine su:

- Brzina mašine u radu; $V= 5 \text{ m/min}$
- Širina reza; $b= 3,5 \text{ m}$
- Dubina reza; $h= 0,4 \text{ m}$.

Kapacitet mašine:

- časovni kapacitet

$$Q_h = 60 \cdot V \cdot b \cdot h = 60 \cdot 5 \cdot 3,5 \cdot 0,4 = 420 [m^3 / h] \text{ č.m.}$$

- smenski kapacitet

$$Q_{sm} = Q_h \cdot n_{hef} = 420 \cdot 6 = 2.520 [m^3 / sm] \text{ č.m.}$$

- dnevni kapacitet

$$Q_d = Q_{sm} \cdot 3 = 2.520 \cdot 3 = 7.560 [m^3 / dan] \text{ č.m.}$$

- godišnji kapacitet (za godišnji fond od 320 radnih dana)

$$Q_{god} = Q_d \cdot 320 = 7.560 \cdot 320 = 2.419.200 [m^3 / god] \text{ č.m. ili}$$

$$Q_{god} = Q_{dn} \cdot 320 \cdot \gamma = 7.560 \cdot 320 \cdot 1,1 = 2.661.120 [t / god]$$

gde je:

$$\gamma = 1,1 [t/m^3] - \text{zapreminska masa uglja.}$$

3. ZAKLJUČAK

Primena masine Wirtgen SM 3500 sa kontualnom tehnologijom rada ogleda se pri ispunjenju kapaciteta, uz uslov ostvarivanja određene granulacije i izdvajanja jalovih proslojaka iz glavnog ugljenog sloja, što utiče na kaloričnu vrednost uglja.

Iako, do sada u rudarskoj praksi manje poznata mašina, pokazala je dobre rezultate na površinskim kopovima lignita. Garantovani kapacitet mašine od strane proizvođača je potvrđen. Zahvaljujući maloj debljini reza moguće je selektivno otkopavanje jalovih proslojaka debljine od 0,05-0,55 m; što se ne bi moglo ostvariti sa drugim tehnologijama rada. Mašina se pokazala izuzetno dobra i u pogledu planiranja radilišta, jer iza sebe ostavlja veoma ravnu površinu, što pored estetskog izgleda direktno utiče i na smanjenje potrošnje goriva i guma kod dampera.

Opređenje za primenu ovakvih i sličnih mašina, znači uvođenje novih tehnologija i modernizacija na površinskim kopovima.

4. LITERATURA

1. R. Simić, Studija istraživanja primene kontinuiranog glodača (kombajna) na površinskom kopu laporca cementare Usje
2. R. Putnik, Mogućnost primene specijalnih kombajna u površinskoj eksploataciji lignita
3. H. Goergen, L. Arnold, H. Tuschhoff, Surface Miner 3000SM/3800SM – A New Machine for open cast
4. P. Makar, N. Makar, Analiza mogućnosti primene Surface Miner mašina na površinskim kopovima uglja sa kontinualnim proizvodnim sistemima



SIGURNOST INDUSTRIJSKIH ROBOTA

M. Rogić ¹⁾, S. Ilinčić ²⁾

Rezime: *Ovaj rad ukazuje na potrebu primjene međunarodnih standarda vezanih za sigurnost robota unutar industrijskih automatizovanih i neautomatizovanih sistema. Objasnjeni su potencijalni izvori rizika od robota kao i odgovarajuće metode za realizaciju sigurnosti i pouzdanosti sistema.*

Cljučne reči. *sigurnost robota, međunarodni standardi, funkcionalna sigurnost, sigurnosni sistemi.*

SAFETY OF INDUSTRIAL ROBOTS

Abstract: *The main objective of this article is to explore a necessity of using international standards for robot safety in design of both, automated and non-automated industrial systems. Possible sources of risk from robots as well as corresponding methods for achieving safety and reliability of systems are examined.*

Key words. *robots safety, international standards, functional safety, safety related-systems*

1. UVOD

Sa porastom složenosti proizvodnih sistema i sve većom primjenom robota u industriji rastu i zahtjevi za povećanom sigurnošću. Razvoj automatizacije koja obezbjeđuje sigurnost sistema je doskora bio zakočen zbog svoje zavisnosti od etabiliranih standarda sigurnosnih rešenja. Sigurnosna tehnika se stoga dugo vremena bazirala na krutom, paralelnom ožičenju i relejnim šemama, čija je sigurnost po opštem mišljenju dokazana na mnogim tehnologijama i iskustvu. Značajna promjena i podsticaj razvoju nastaje krajem devedesetih godina sa usvajanjem EN standarda. Novi standardi su promjenili način na koji se sigurnosni sistemi implementiraju, dozvoljavajući primjenu novih sigurnosno programibilnih elektronskih sistema i mrežnih tehnologija. Prema ocjenama eksperata sigurnosni sistemi su oblast koja se u automatizaciji trenutno najintenzivnije razvija.

2. TEHNOLOGIJE ZA REALIZACIJU SIGURNOSTI ROBOTA

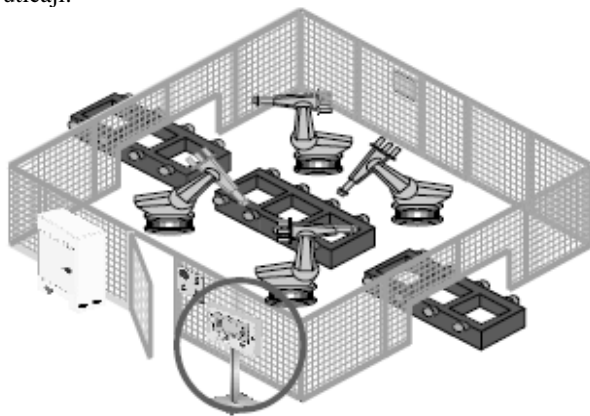
Sigurnost industrijskog robota zavisi od tipa robota i odgovarajućeg područja primjene. Roboti svoje zadatke mogu obavljati pojedinačno, u grupnom radu, u integrisanom proizvodnom sistemu (IMS) ili u kooperativnom radu sa čovjekom. Pri

¹⁾ M. Rogić, Mašinski fakultet, Banjaluka, Republika Srpska, BiH

²⁾ S. Ilinčić, Mašinski fakultet, Banjaluka, Republika Srpska, BiH

tome se javljaju različite opasnosti koje se odražavaju na samog robota, radnu okolinu, ostale proizvodne sisteme i ljude. Neispravnost i ljudska greška mogu dovesti do neočekivanog kretanja industrijskog robota zbog:

- nepredviđenog ponašanja robota usljed greške upravljačkog sistema,
- kvara servo sistema,
- oštećenja pogonskih sistema,
- grešaka u prenosu podataka,
- grešaka na alatu i priboru,
- grešaka u programiranju i ostalim operacionim greškama,
- dotrajalosti,
- i ostali uticaji.



Slika 1. Grupni rad robota u zaštićenom okruženju

Ne ulazeći u detaljno u mehatroničku strukturu robota, koja je opšte poznata, i njene implikacije na sigurnost robota, može se konstatovati da danas postoje tri različite tehnologije za sigurnosna upravljanja koja obezbjeđuju sigurnosne zahtjeve za robote i robotizovane proizvodne sisteme:

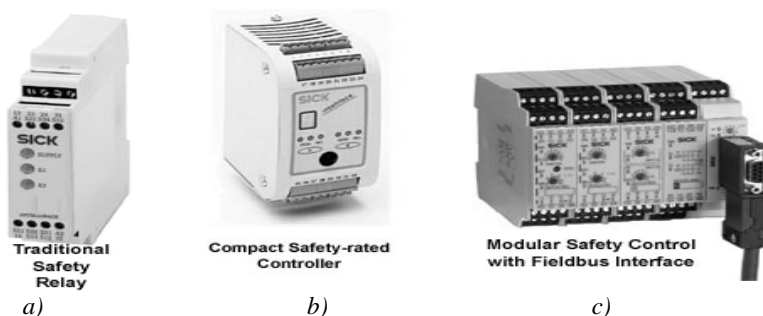
Sigurnosni releji (slika 2a), koji imaju sljedeće karakteristike:

- ožičena tehnologija sa binarnim elementima,
- ograničene dijagnostičke mogućnosti,
- podesni za upravljačke sisteme sa malim sigurnosnim zahtjevima,
- najjeftinije rješenje,
- ciklus neophodne zamjene komponenti jedna do dvije godine,
- teškoće u slučaju porasta broja nadziranih sigurnosnih komponenti,
- sa tehnikom ožičavanja teško realizovati kompleksnu logiku,
- koncept nadzora sistema je teško implementirati

Sigurnosni upravljački uređaji (slika 2b) su najčešće sigurnosni programibilni kontroleri (*Safety Programmable Logic Controllers (SPLC or FPLC)*) čije su karakteristike sljedeće:

- sigurnosna logika se ostvaruje programskim softverom,
- sve ulazno-izlazne jedinice su posebnim ožičenjem povezane sa sigurnosnim upravljačkim uređajem,

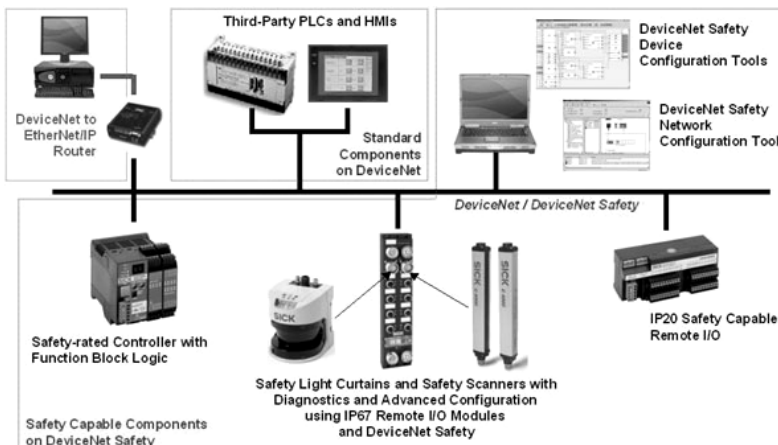
- cijena je jako zavisna od broja sigurnosnih ulaza i izlaza, kao i drugih mogućnosti (npr. logičkih opcija) uređaja,
- ovaj sigurnosni uređaj može takođe nadzirati i upravljati decentralizovane sigurnosne sisteme korištenjem sigurnosne fieldbus mreže (slika 2c).



Slika 2. Tehnologije sigurnosnog upravljanja a) relejna, b), kompaktni kontroleri, c) modularni kontroler sa mrežnim interfejsom

Sigurnosne fieldbus mreže - koriste sigurnosne kontrolere sa sigurnosnom mrežnom komunikacijom i sigurnosnim protokolima (kvazi lejer 8) (slika 3). Imaju sljedeće karakteristike:

- redukovano ožičenje,
- povećanje dijagnostičkih informacija,
- veći početni troškovi,
- niži troškovi po životnom ciklusu opreme,
- dugovječnija oprema,
- bolja dijagnostika sistema,
- manji zastoji u proizvodnji.



Slika 3. Primjer sigurnosnog upravljanja korištenjem sigurne mreže

Kada se uporedi tehnologija sigurnosnih mreža sa samostalnim upravljačkim uređajem i relejnom tehnikom, uočavaju se sljedeće karakteristike i prednosti:

- decentralizovane sigurnosne jedinice se povezuju u sistem preko dislociranih I/O uređaja bolje nego ožičenjem,
- redukovanjem ožičavanja i kabliranja štedi se na troškovima i vremenu montaže postrojenja,
- moguća je implementacija više strategija upravljanja sigurnošću sistema,
- dijagnostičke informacije se mogu dobiti za svaku sigurnosnu jedinicu,
- brza i efikasna izolacija problema redukuje neophodno vrijeme za njegovo otklanjanje (*Mean Time To Repair (MTTR)*),
- dijagnostičke funkcije se mogu memorisati u ERP sistemu za kasniju evaluaciju performansi sigurnosnog sistema,
- omogućava implementaciju daljinskog nadzora sistema,
- korisnik ima mogućnost da selektivno isključi pojedine segmente sistema (mašine) u slučaju kvara ili greške, bez da nepotrebno isključi cijeli sistem ili mašinu.

Danas postoji veći broj takvih sistema kao što su DeviceNet Safety, AS-Interface Safety-at-Work, SafetyBUS p, Profisafe. Sigurnosna verzija Ethernet mreže (Profinet) je takođe u razvoju. Istovremeno se radi na razvoju decentralizovanih (remote) sigurnosnih I/O modula koji će omogućiti standardnom PLC-u, a ne specijalnom sigurnosnom kontroleru, da direktno i sigurno upravlja decentralizovanim sigurnosnim izlazima.

3. TEHNIČKA REGULATIVA SIGURNOSTI INDUSTRIJSKIH ROBOTA

Sve zemlje Evropske ekonomske Unije (EU) su usvojile Evropske Standarde (EN standardi) za obezbjeđenje sigurnosti mašina. Sigurnosni standardi, sa pripremama, su hijerarhijski organizovani, tako da su standardi tipa C specijalizovani standardi sigurnosti za određenu oblast, dok viši nivoi standarda tipa A i B daju grupne, odnosno opšte odredbe. Osnovne strategije i principi sigurnosti dati u standardima trebaju biti uključeni u projektovanje svih mašina i sistema. Međunarodna komisija za elektrotehniku (IEC) kreira međunarodne standarde u oblastima elektronike i elektrotehnike, a Međunarodna organizacija za standardizaciju (ISO) kreira međunarodne standarde u svim drugim oblastima.

U tabeli 1 su prikazani osnovni standardi koji se odnose na sigurnost robota i robotizovanih proizvodnih sistema .

Za moguće opasnosti u sistemu mora se izraditi ocjena rizika saglasno EN 1050 (odnosno EN ISO 14121), da bi se utvrdilo da li je postignuta zadovoljavajuća sigurnost. Zahtjevi EN IEC 62061 i EN 13849-1 za implementaciju sigurnosno relevantnih upravljačkih funkcija su saglasni visini rizika koga treba svladati. Stepeni opasnosti su gradirani kod EN IEC 62061 (kao i kod EN 61508) sa SIL (*Safety Integrity Level*) i kod EN ISO 13849-1 sa PL – *Petrformance Level*.

Kod složenih, integrisanih proizvodnih sistema besmisleno je greške naknadno ispitivati. Dosljedna primjena ovih standarda osim jedinstvenih pretpostavki, cijeli razvoj i projektovanje sigurnosnih upravljanja od početka usmjerava na sprečavanje grešaka. Zajedničko za oba standarda su probablističke pretpostavke za određivanje opasnih situacija.

Tabela 1. Pregled EN i ISO standarda vezanih za sigurnost robota

Tip stan.	Broj EN standarda	Broj ISO/IEC/ANSI standarda	Naslov
A	EN 292-1 EN 292-2 EN 1050	ISO 12100-1 ISO 12100-2 ISO 14121	Sigurnost mašina - Osnovni pojmovi, opšti principi za konstruisanje. Sigurnost mašina - Ocjena rizika mašine.
B	EN 954-1		Sigurnost mašina i sigurnosno relevantnih dijelova upravljanja , 1. Opšti dio
	EN 954-2		Sigurnosno relevantni dijelovi upravljanja
	EN 61508	IEC 61508	Funkcionalna sigurnost električnih/elektronskih/programibilnih elektronskih sigurnosnih sistema
	EN IEC 62061	ISO 13849-1	Sigurnost programibilnih elektronskih sistema Dio 1: Opšti principi za konstruisanje
		ISO 13849-2	Dio 2: Provjera valjanosti
	EN ISO 11161	ISO 1161 ANSI B11.20	Sigurnost mašina-Integrirani proizvodni sistemi-Osnovni zahtjevi
C	EN ISO 10218	ANSI R15.06	Industrijski roboti-sigurnosni zahtjevi

Kvalitativno posmatranje prema EN 954-1 za moderna upravljanja zbog njihove tehnologije nije dovoljno. EN 954-1 ne uzima, između ostalog, u obzir vremensko ponašanje (npr. interval testiranja, odnosno ciklično testiranje, vijek trajanja). Ovo vodi do probablističkih pretpostavki u IEC 61508, EN IEC 62061 i EN ISO 13849-1 (vjerovatnoća ispada po jedinici vremena).

Tabela 2 Područja primjene standarda EN ISO 13849 i EN IEC 62061

Tehnologija za izvođenje sigurnosno relevantnih upravljačkih funkcija	EN ISO 13849-1 (rev)	EN IEC 62061
A neelektrični, npr. hidraulični, pneumatski	X	Nije obuhvaćeno
B elektromehanički, npr. releji i/ili jednostavna elektronika	Ograničeno na predviđene arhitekture (v. prim. 1) i maksimalno PL=e	Sve arhitekture i maksimalno do SIL3
C kompleksna elektronika (npr. programibilna elektronika)	Ograničeno na predviđene arhitekture (vidi primjedbu 1) i maksimalno PL=d	Sve arhitekture i maksimalno do SIL3
D A kombinovano sa B	Ograničeno na predviđene arhitekture (vidi primjedbu 1) i maksimalno PL=e	X vidi primjedbu 3
E C kombinovano sa B	Ograničeno na predviđene arhitekture (vidi primjedbu 1) i maksimalno PL=d	Sve arhitekture i maksimalno do SIL3
F C kombinovano sa A ili C kombinovano sa A i B	X vidi primjedbu 2	X vidi primjedbu 3

Primjedba 1: Predviđene arhitekture su opisane u dodatku B EN ISO13849-1 i daju pojednostavljene pretpostavke za kvantifikaciju
 Primjedba 2: Za kompleksnu elektroniku: primjena predviđenih arhitekture u saglasnosti sa EN ISO 13849-1 do PL=d ili svake arhitekture u saglasnosti sa EN IEC 62061
 Primjedba 3: Za neelektrične tehnologije: primjenite dijelove, koji odgovaraju EN i ISO 13849-1 8rev) kao podsisteme.

Područja primjene EN ISO 13849-1 i EN IEC 62061 su slična saglasno širem opsegu. Radi pomoći korisnicima ISO i IEC su navela područje primjene oba standarda u zajedničkoj tabeli u uvodu oba standarda (tab 2).

Zavisno od tehnologije (mehanika, hidraulika, elektronika, programibilna elektronika), stepena rizika i arhitekture nalaze se primjene EN ISO 13849-1 i EN IEC 62061.

4. IMPLEMENTACIJA SIGURNOSTI

Realizacija sigurnosti je glavni posao inženjera danas. Sa razvojem automatizacije i novih softverskih rešenja, on je značajno pojednostavljen, ali je ipak jako bitno izvršiti pravilan izbor zaštitnih mjera i sigurnosnih uređaja. Sigurnosni uređaji pored zaštite radnika, radne okoline i opreme povećavaju produktivnost i efektivnost pogona, što je danas osnovni kriterijum konkurentnosti na tržištu. Nakon analize rizika projektant mora izabrati odgovarajuću zaštitne mjere i zaštitnu opremu koja može da vrši: detekciju elemenata i verifikaciju radne pozicije, sprečavanje pristupa u opasne zone, zaustavljanje mašina i upravljanje sigurnosnim sistemom prema odabranoj strategiji.

Sposobnost umrežavanja ovih komponenti u sigurnosne mreže, ne samo da je imperativ sadašnjosti, već je i nadolazeća decentralizacija sigurnosno upravljačkih sistema na nivou I/O mrežnih sigurnosnih modula opšti trend razvoja, koji projektanti moraju neminovno usvojiti, kako bi mogli projektovati efikasan i pouzdan sigurnosni sistem u jednom IMS. Takođe treba imati u vidu da je bežično umrežavanje ukida ograničenja fiksnih kablova i omogućava fleksibilnost u dizajnu i upotrebi.

3. ZAKLJUČAK

Nove tehnologije u automatizaciju izazivaju i nove koncepte i tehnologije u realizaciji sigurnosti integrisanih proizvodnih i robotizovanih sistema. Najnovija normativa na međunarodnom nivou (EN/IEC/ISO) uvodi probablističke, umjesto strogo determinističkih kriterija sigurnosti, što zahtijeva studiozne analize i ocjenu rizika u fazi projektovanja IMS, kako bi vjerovatnoća funkcionalnih grešaka bila zadovoljavajuće mala.

LITERATURA

- [1] *SIEMENS AG.*, Neuerungen bei Normen EN954/ISO 13849 und IEC 62061, A&D Safety Integrated, 02/2005, Chart 49 © Siemens AG
- [2] *IEC.*, Functional safety and IEC 61508-A basic guide, IEC 2002. Geneva, Switzerland.
- [3] *Ilinčić, S.*, Sigurnost industrijskih robota, Mašinski fakultet Banjaluka, 2006., Banjaluka
- [4] *Plüddemann, G.*, Sicherheitsgerichtete Funktionen im Maschinenbau: Neue Norm bietet Lichtblicke, infoDIRECT 756iee0805, s. 74-79, IEE 50. Jahrgang 7/8-2005, Geneva
- [5] *Rogić, M.*, Realizacija sigurnosti u transportnim sistemima sa decentralizovanim upravljanjem, DEMI 2005 - 7. međunarodni naučno-stručni skup o dostignućima elektro i mašinske industrije, Zbornik radova, s.629-634, 26. i 27. maj 2005., Banjaluka



OPTIMIZATING PARAMETERS OF MULTITASK CNC MACHINE TOOLS IN FLEXIBLE PRODUCTION SYSTEMS – Part 1

V. Kopp ¹⁾, V. Taranenko ²⁾, A. Świć ³⁾,
L. Mazurek ⁴⁾

Abstract. Article describes worked out mathematical model, allowing re-setting time optimization of the multitask CNC machine parts taking into account resources minimization. Optimization flow is universal for very different types of mechanical manufacturing assembly, in respect to constant work time to re-setting time (downtime) and re-setting time (restoring to work).

Keywords: machine re-setting time, optimization, mathematical model

With one of important tasks of updating multitask CNC machine tools is seeking best variant of the work and services of these systems based on defined criteria. It is possible for example, to direct available reserves to remove outage resulting from the breakdown (renovation of devices), or to the realization of re-sets. Downtimes can be usually levered, what is becoming the reason for making payment of this kind of works smaller. Solving the task of spreading resources seems to be the problem of moving right amount of resources to individual situations, which thereby leads to smaller downtime and (which is more important) costs minimization while maintaining objective production level.

Worked out [1, 2] mathematical models allow to determine the FMS productivity at any kind of structure, taking given losses into consideration:

$$\Pi = \frac{l}{T_p + T_o(C_o) + T_n(C_n)} \quad (1)$$

Work time T_p in re-setable system:

¹⁾ Vadim Kopp, kierownik Katedry Budowy Prządów NUT w Sewastopolu, Sewastopol - Ukraina

²⁾ Viktor Taranenko, prof. D. Sc. Eng., kierownik Zakładu Elastycznych Systemów Wytwarzania ITSI Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, Polska, w.taran@wp.pl, w.taranenko@pollub.pl

³⁾ Antoni Świć, D. Sc., Eng., Assos.prof. dyrektor ITSI, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, Polska, a.swic@pollub.pl

⁴⁾ mgr inż. Lech Mazurek, asystent Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa ul. Pocztowa 54, 22-100 Chełm, tel. (82)5654474, lmazurek@pwsz.chelm.pl

$$T_p = \frac{\prod_{i=l}^m \left(\frac{M\alpha_i^p}{P_i^p} \right)}{\sum_{p=l}^m \prod_{i=l, i \neq p}^m \left(\frac{M\alpha_i^p}{P_i^p} \right)}, \quad (2)$$

where $M\alpha_{li}$ – expected value of time making i^{th} part of whole production, i^{th} type production appearance probability $P_i = n_i / \sum_{i=l}^m n_i$ (n_i – i^{th} type part value, $i = l, m$).

In (2) and different expressions containing the sum of "incomplete" performances in the bottom (set by next shutdowns of "full" performances factors from the numerator) we are adding additional p index which is being left blank at the description of entrance parameters.

$$T_o(C_o) = \left[\frac{(M\alpha_2 + M\beta_2)}{M\alpha_2} - l \right] \cdot \frac{\prod_{i=l}^m \left(\frac{M\alpha_i^p}{P_i^p} \right)}{\sum_{p=l}^m \prod_{i=l, i \neq p}^m \left(\frac{M\alpha_i^p}{P_i^p} \right)}, \quad (3)$$

where $M\alpha_2$ and $M\beta_2$ – expected time between failures.

Time $T_n(C_n)$ knowing: $M\alpha_{ij}$ – expected time of re-setting from i^{th} to j^{th} part of production, probability of occurrence of specified details flow (details flow division) $P_{ij} = l / (m-1)$, $P_{\Sigma i} = 1 / m$ (m – amount of production types) – is equal to expected value for random time of re-set.

$$T_{II}(C_{II}) = \frac{\prod_{i=l}^m \left(\frac{l}{P_{\Sigma i}^f} \cdot M\alpha_i^f \right)}{\sum_{f=l}^m \prod_{i=l, i \neq f}^m \left(\frac{M\alpha_{ij}^{pf}}{P_{ij}^{pf}} \right)}, \quad (4)$$

where

$$M\alpha_i = \frac{\prod_{j=l, j \neq i}^m \left(\frac{M\alpha_{ij}^{pf}}{P_{ij}^{pf}} \right)}{\sum_{p=l}^m \prod_{j=l, j \neq i, j \neq p}^m \left(\frac{M\alpha_{ij}^{pf}}{P_{ij}^{pf}} \right)} - \text{expected value of re-set time from } i^{\text{th}} \text{ type to other type}$$

from m . A f index is also applied in the last expression aside of the p index, introducing, in the top (not invested) outside sum of "incomplete" performances. However the p index is essential here to show sum of "incomplete" put of performances (invested). These indices are omitted at the description of entrance parameters.

Let assume, that: $C_{ni} (i = \overline{1, m})$ – is size of resources allocated for losses limitation around re-setting at manufacturing the m different kinds of the production;

C_o - size of resources allocated, cutting losses resulting from the breakdown and downtime.

We know from [3.4] that, while investing and growth of the expenses, repayment is making smaller and beginning from the certain size is staying on the previous level. By this assumption, to the approximation of the relation of downtimes around re-setting to i^{th} type of production to invested resources we may use this exponential equation:

$$T_{ni}(C_{ni}) = a_{ni} + k_{ni} \cdot e^{-\lambda_{ni} C_{ni}}, \quad (i = \overline{1, m}), \quad (5)$$

where $\lambda_{ni}, k_{ni}, a_{ni}$ – constant factors described by least squares quadratic approximation [4], and C_{ni} – resources allocated to lesser the downtime while re-setting.

By analogy for the time of restoring the system to job

$$T_o(C_o) = \alpha_o + k_o \cdot e^{-\lambda_o C_o}, \quad (6)$$

where λ_o, k_o, α_o - constant factors determined at the approximation, and C_o - resources allocated to shortening the time needed to restore the system to job.

The exponential equation was chosen because it is a monotonic function, answering to the real object in this case. Second part of this study shows automated system optimization while designing and the exploitation. A need to solve the next problem often appears during the FMS exploitation. Some reserves of increasing the productivity by making lesser downtimes resulting from the breakdown or re-setting exist in the time of manufacturing the m of kinds of products. Investing extra resources is necessary to make losses pointed out smaller, but the general size of resources (divided in to two, purposes described above) is limited. We need to determine optimal resources division, which will assure the maximum productivity of the system. The task is being formulated as follows. Find the maximum size of the FMS productivity

$$\Pi = \frac{l}{T_{po}(C_o) + T_n(C_n)} \rightarrow \max, \quad (7)$$

where $T_{po} = T_p + T_o(C_o)$, if there is a limit on resources (which may be allocated to shortening the time of re-setting or restoring ASP to job).

$$C = \sum_{i=1}^m C_{ni} + C_o. \quad (8)$$

Taking into consideration (1,, 6) equation (7) has the figure

$$\Pi = l \cdot \left(\frac{\left(M\alpha_2 + \alpha_o + k_o \cdot e^{-\lambda_o C_o} \right) \cdot \prod_{i=1}^m \left(\frac{M\alpha_{ii}^p}{P_i^p} \right) \cdot \prod_{i=1}^m \left(\frac{\alpha_{ni}^f + k_{ni}^f \cdot e^{-\lambda_{ni}^f C_{ni}^f}}{P_{\Sigma}^f} \right)}{M\alpha_2 \cdot \sum_{p=1, i \neq p}^m \prod_{i=1}^m \left(\frac{M\alpha_{ii}^p}{P_i^p} \right) \cdot \sum_{f=1, i \neq f}^m \prod_{i=1}^m \left(\frac{\alpha_{ni}^f + k_{ni}^f \cdot e^{-\lambda_{ni}^f C_{ni}^f}}{P_{\Sigma}^f} \right)} \right) \rightarrow \max \quad (9)$$

To go from the conditional optimization to unconditional we can use next method. Around (8) is resulting, that:

$$C_o = C - \sum_{i=1}^m C_{ni} \quad (10)$$

placing (10) to (9) we are receiving

$$\Pi = l / \left(\frac{\left(M\alpha_2 + \alpha_o + k_o \cdot e^{-\lambda_o \left(C - \sum_{i=1}^m C_{ni} \right)} \right) \prod_{i=1}^m \left(\frac{M\alpha_{li}^p}{P_i^p} \right) + \prod_{i=1}^m \left(\frac{\alpha_{ni}^f + k_{ni}^f \cdot e^{-\lambda_{ni}^f C_{ni}^f}}{P_{\Sigma i}^f} \right)}{M\alpha_2 \sum_{p=1}^m \prod_{i=1, i \neq p}^m \left(\frac{M\alpha_{li}^p}{P_i^p} \right) + \sum_{f=1}^m \prod_{i=1, i \neq f}^m \left(\frac{\alpha_{ni}^f + k_{ni}^f \cdot e^{-\lambda_{ni}^f C_{ni}^f}}{P_{\Sigma i}^f} \right)} \right) \rightarrow \max \quad (11)$$

Taking into consideration (10) the Π function is expressed by (11) as a result of what setting the conditional optimization comes down to setting the unconditional optimization. Extreme of the Π function in (11) is determined by the gradient method which advantage relies on the possibility of determining gradient components of the vector (fragmentary derivatives for C_{ni} variables) in open analytical form because of what the accuracy of calculations is increasing.

The gradient of the $\Delta\Pi$ vector has the figure

$$\nabla\Pi = \left(\frac{\partial\Pi}{\partial C_{n1}}, \frac{\partial\Pi}{\partial C_{n2}}, \dots, \frac{\partial\Pi}{\partial C_{ni}}, \dots, \frac{\partial\Pi}{\partial C_{nm}} \right). \quad (12)$$

The next step is to work out model for defining fragmentary derivatives of the C_{ni} variable.

We will introduce (11) in the figure

$$\Pi = l / \left(\frac{A(C_{ni})}{M\alpha_2} \cdot B + \frac{M(C_{ni})}{N(C_{ni})} \right), \quad (13)$$

where

$$\begin{aligned} A(C_{ni}) &= M\alpha_2 + \alpha_o + k_o \cdot e^{-\lambda_o \left(C - \sum_{i=1}^m C_{ni} \right)} \\ B &= \frac{\prod_{i=1}^m \left(\frac{M\alpha_{li}^p}{P_i^p} \right)}{\sum_{p=1}^m \prod_{i=1, i \neq p}^m \left(\frac{M\alpha_{li}^p}{P_i^p} \right)} \\ M(C_{ni}) &= \prod_{i=1}^m \left(\frac{\alpha_{ni}^f + k_{ni}^f \cdot e^{-\lambda_{ni}^f C_{ni}^f}}{P_{\Sigma i}^f} \right) \\ N(C_{ni}) &= \sum_{f=1}^m \prod_{i=1, i \neq f}^m \left(\frac{\alpha_{ni}^f + k_{ni}^f \cdot e^{-\lambda_{ni}^f C_{ni}^f}}{P_{\Sigma i}^f} \right). \end{aligned}$$

Fragmentary derivative of the C_{ni} variable is

$$\frac{\partial \Pi}{\partial C_{nij}} = \frac{\frac{A(C_{ni})}{M\alpha_2} \cdot B + \frac{M(C_{ni})N(C_{ni}) - N(C_{ni})M(C_{ni})}{N^2(C_{ni})}}{\left(\left[\frac{A(C_{ni})}{M\alpha_2} \cdot B \right] + \left[\frac{M(C_{ni})}{N(C_{ni})} \right] \right)^2}, \quad (14)$$

where $A'(C_{nij}) = k_o \cdot \lambda_o \cdot e^{-\lambda_o \left(C - \sum_{i=1}^m C_{ni} \right)}$. In expressions for the $M'(C_{ni})$, $N'(C_{ni})$, introduced farther, fragmentary derivative were outlining towards the $C_{\Pi i}$ variable, for which $i = k$, as it are for C_{nk} .

$$M'(C_{ni})_{i=k} = -\lambda_{nk}^f \cdot k_{nk}^f \cdot e^{-\lambda_{nk}^f C_{nk}^f} \cdot \prod_{i=1, i \neq k}^m \left(\frac{\alpha_{ni}^f + k_{ni}^f \cdot e^{-\lambda_{ni}^f C_{ni}^f}}{P_{\Sigma i}^f} \right),$$

$$N'(C_{ni})_{i=k} = -\lambda_{nk}^f \cdot k_{nk}^f \cdot e^{-\lambda_{nk}^f C_{nk}^f} \cdot \sum_{f=1, f \neq k}^m \prod_{i=1, i \neq f, i \neq k}^m \left(\frac{\alpha_{ni}^f + k_{ni}^f \cdot e^{-\lambda_{ni}^f C_{ni}^f}}{P_{\Sigma i}^f} \right).$$

In tables 1 and 2 input data is being quoted, which are being exploited for solving setting the optimization at $m = 6$. Above tables is also representing calculations results - size of the resources on judged coincidences of downtime (repairing and the re-setting realization) assuring the maximum productivity. Experimental approximation resulting that in the initial point of the productivity performance of machine cutting is 3 480 details/h, according to downtime or re-set restoring time to invested resources.

Table 1. Initial data for solving the optimization setting

Relations of the time to restoring job or reset to invested resources	$M\alpha_{li}$	Sum of distinguished resources (acceptable expenditure), contractual individuals	P_i
$T_o(C_o) = 25 + 173,447 \cdot e^{-7,165 \cdot C_o}$	---	100	---
$T_{n1}(C_{n1}) = 20 + 154,599 \cdot e^{-2,347 \cdot C_{n1}}$	30,20		$P_1 = 0,132$
$T_{n2}(C_{n2}) = 20 + 174,647 \cdot e^{-2,431 \cdot C_{n2}}$	50,10		$P_2 = 0,198$
$T_{n3}(C_{n3}) = 20 + 170,836 \cdot e^{-2,438 \cdot C_{n3}}$	25,10		$P_3 = 0,165$
$T_{n4}(C_{n4}) = 21 + 244,647 \cdot e^{-2,722 \cdot C_{n4}}$	38,05		$P_4 = 0,176$
$T_{n5}(C_{n5}) = 23 + 331,151 \cdot e^{-3,043 \cdot C_{n5}}$	40,04		$P_5 = 0,154$
$T_{n6}(C_{n6}) = 23 + 309,766 \cdot e^{-2,939 \cdot C_{n6}}$	52,21		$P_6 = 0,176$

Table 2. Results of solving setting the optimization

Maximum performance details/h.	Size of invested resources assuring the maximum productivity of the system, the individual
3,7892	$C_o = 7,862048$
	$C_{n1} = 16,49400$
	$C_{n2} = 16,21201$
	$C_{n3} = 16,14200$
	$C_{n4} = 15,10800$
	$C_{n5} = 13,93100$
	$C_{n6} = 14,25000$

REFERENCE

1. Kopp W.Ja., Czub O.P., Obzerin Ju.E. Matematyczny model oceny wpływu przezbrajania i awarii na wydajność ESP produkcji małoseryjnej. // Optymalizacja proizvodstwjennych processow: Sb. naucz. tr. // Sewastopol, gos. techn. un-t, 1999- Wyp. 1 - S 39-45.
2. Kopp W.Ja., Czub O.P., Obzerin Ju.E. Szpilow I.Ju. Analiza superpozycji procesow losowych przy opisie funkcjonowania róznych struktur ESP. // Optymalizacja proizvodstwjennych processow: Sb. naucz. tr. // Sewastopol, gos. techn. un-t, 1999- Wyp. 1 - S 87-91.
3. Inzynierskie zabezpieczenie elastycznego wytwarzania wyrobów radioelektroniki // S.D.Kretów, W.M.Łitwinow, Ja. E.Lwowicz i inni - M. Radio i swiaz, 1989.-208 s
4. Błaug M. Ekonomiczna myśl w retrospekcji, - M: Deło LTD, 1994. -536 s.
5. Czub O.P., Kopp W.Ja., Obzerin Ju.E., Taranenko W. Optymalizacja parametrów zautomatyzowanych systemów przezbrajanych: Technologia i automatyzacja montażu 4/34, 2001.



OPTIMIZATING PARAMETERS OF MULTITASK CNC MACHINE TOOLS IN FLEXIBLE PRODUCTION SYSTEMS – Part 2

V. Kopp ¹⁾, V. Taranenko ²⁾, A. Świć ³⁾,
L. Mazurek ⁴⁾

Abstract. Article describes worked out mathematical model, allowing re-setting time optimization of the multitask CNC machine parts taking into account resources minimization. Optimization flow is universal for very different types of mechanical manufacturing assembly, in respect to constant work time to re-setting time (downtime) and re-setting time (restoring to work).

Keywords: machine re-setting time, optimization, mathematical model

The result of solving a problem is showing, that maximum possible growth of the productivity as a result of the optimal distribution of the resources, is 8.879%.

The second task - minimization of the sum of invested resources assuring the set level for the productivity in re-setting conditions of automated creating is the objective opposite to the previous task.

Some reserves resulting from making smaller system stops from the breakdown or re-setting exist at manufacturing the m of kinds of the production, increasing the productivity. It is possible to investing more resources to make these losses smaller. We need to assure the set level of the productivity of the system and to determine what minimum sum of resources it is possible to invest for achieving this purpose.

Minimizing the sum of invested means is necessary

$$C = \sum_{i=1}^m C_{ni} + C_o \rightarrow \min. \quad (15)$$

FMS productivity is the limiting factor.

¹⁾ Vadim Kopp, kierownik Katedry Budowy Prządów NUT w Sewastopolu, Sewastopol - Ukraina

²⁾ Viktor Taranenko, prof. D. Sc. Eng., kierownik Zakładu Elastycznych Systemów Wytwarzania ITSI Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, Polska, w.waran@wp.pl, w.taranenko@pollub.pl

³⁾ Antoni Świć, D. Sc., Eng., Assos.prof. dyrektor ITSI, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, Polska, a.swic@pollub.pl

⁴⁾ mgr inż. Lech Mazurek, asystent Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa ul. Pocztowa 54, 22-100 Chełm, tel. (82)5654474, lmazurek@pwsz.chelm.pl

$$\Pi = l / \left(\frac{(M\alpha_2 + \alpha_o + k_o) \cdot e^{-\lambda_o C_o}}{M\alpha_2} \cdot \frac{\prod_{i=1, j \neq i}^m \left(\frac{M\alpha_{ji}}{P_i} \right)}{\sum_{f=1, i \neq f}^m \prod_{j=1, i \neq j}^m \left(\frac{M\alpha_{ji}}{P_i} \right)} + \frac{\prod_{i=1}^m \left(\frac{\alpha_{ni}^f + k_{ni}^f \cdot e^{-\lambda_{ni}^f C_{ni}^f}}{P_{\Sigma i}^f} \right)}{\sum_{f=1, i \neq f}^m \prod_{j=1, i \neq j}^m \left(\frac{\alpha_{ni}^f + k_{ni}^f \cdot e^{-\lambda_{ni}^f C_{ni}^f}}{P_{\Sigma i}^f} \right)} \right) \quad (16)$$

We are realizing transition from the conditional optimization to unconditional by secreting C_0 around (16) and while substituting the received expression to (15). The optimization criteria is taking the figure:

$$C = \sum_{i=1}^m C_{ni} - \frac{l}{\lambda_o} \ln \left(\frac{l}{\alpha_o} \left(\frac{M\alpha_2 \sum_{i=1}^m \prod_{j=1, j \neq i}^m \left(\frac{M\alpha_{ji}}{P_i} \right)}{\prod_{j=1, j \neq i}^m \left(\frac{M\alpha_{ji}}{P_i} \right)} \right) \left(\frac{\prod_{i=1}^m \left(\frac{\alpha_{ni}^f + k_{ni}^f \cdot e^{-\lambda_{ni}^f C_{ni}^f}}{P_{\Sigma i}^f} \right)}{\sum_{f=1, i \neq f}^m \prod_{j=1, i \neq j}^m \left(\frac{\alpha_{ni}^f + k_{ni}^f \cdot e^{-\lambda_{ni}^f C_{ni}^f}}{P_{\Sigma i}^f} \right)} \right) + (M\alpha_2 + k_o) \right) \rightarrow \min \quad (17)$$

The extreme for the C function is determined by gradients method. Fragmentary derivative with according to C_{ni} ($i = \overline{1, m}$) for describing components of gradients of the vector has the coming figure:

$$\frac{\partial C}{\partial C_{ni}} = l - \frac{\left(-\frac{M\alpha_2}{B} \left(\frac{M'(C_{ni})N(C_{ni}) - N'(C_{ni})M(C_{ni})}{N^2(C_{ni})} \right) \right)}{\lambda_o \frac{M\alpha_2}{B} \left(\frac{l / \Pi - \frac{\prod_{i=1}^m \left(\frac{\alpha_{ni}^f + k_{ni}^f \cdot e^{-\lambda_{ni}^f C_{ni}^f}}{P_{\Sigma i}^f} \right)}{\sum_{f=1, i \neq f}^m \prod_{j=1, i \neq j}^m \left(\frac{\alpha_{ni}^f + k_{ni}^f \cdot e^{-\lambda_{ni}^f C_{ni}^f}}{P_{\Sigma i}^f} \right)} \right) - (M\alpha_2 + k_o)} \right)},$$

where

$$M(C_{ni}) = \prod_{i=1}^m \left(\frac{\alpha_{ni}^f + k_{ni}^f \cdot e^{-\lambda_{ni}^f C_{ni}^f}}{P_{\Sigma i}^f} \right) \quad (18)$$

$$N(C_{ni}) = \sum_{f=1, i \neq f}^m \prod_{j=1, i \neq j}^m \left(\frac{\alpha_{ni}^f + k_{ni}^f \cdot e^{-\lambda_{ni}^f C_{ni}^f}}{P_{\Sigma i}^f} \right) \quad B = \frac{\prod_{j=1}^m \left(\frac{M\alpha_{ji}}{P_i} \right)}{\sum_{i=1}^m \prod_{j=1, j \neq i}^m \left(\frac{M\alpha_{ji}}{P_i} \right)}$$

where

$$M'(C_{ni})_{i=k} = -\lambda_{nk}^f \cdot k_{nk}^f \cdot e^{-\lambda_{nk}^f C_{nk}^f} \prod_{i=l, i \neq k}^m \left(\frac{\alpha_{ni}^f + k_{ni}^f \cdot e^{-\lambda_{ni}^f C_{ni}^f}}{P_{\Sigma_i}^f} \right)$$

$$N'(C_{ni})_{i=k} = -\lambda_{nk}^f \cdot k_{nk}^f \cdot e^{-\lambda_{nk}^f C_{nk}^f} \sum_{f=1, f \neq k}^m \prod_{i=l, i \neq f, i \neq k}^m \left(\frac{\alpha_{ni}^f + k_{ni}^f \cdot e^{-\lambda_{ni}^f C_{ni}^f}}{P_{\Sigma_i}^f} \right).$$

In expressions (18) for the $M'(C_{ni}), N'(C_{ni})$, the fragmentary derivative was defined towards the C_{ni} variable, for which $i = k$, which is C_{nk} .

In tables 3 and 4 coming initial data which were used at solving a problem for the optimization for the $m = 6$, as well as results of calculations - sum of the resources and the resources of allotted components on making time losses smaller on re-setting and breakdowns. One cycle of processing was examined for six kinds of details ($m = 6$). The initial sum of allocated resources was 25,24 (individual contractual).

The result of solving a problem showed, it is possible to get the set level of the productivity at reducing the sum of resources to 12,01 contractual individuals, which means about 52.4% [5].

Table 3. Initial data for the optimization solution

Relation of restoring times to job and re-setting to invested resources	Set detali/h productivity.	Initial value of invested resources, contractual Individuals	$M\alpha_{li}$	P_i
$T_0(C_0) = 25 + 173,447 \cdot e^{-7,165 \cdot C_0}$	3,786	4,5	---	---
$T_{n1}(C_{n1}) = 20 + 154,599 \cdot e^{-2,347 \cdot C_{n1}}$		4,1	30,20	$P_1 = 0,132$
$T_{n2}(C_{n2}) = 20 + 174,647 \cdot e^{-2,431 \cdot C_{n2}}$		4,1	50,10	$P_2 = 0,198$
$T_{n3}(C_{n3}) = 20 + 170,836 \cdot e^{-2,438 \cdot C_{n3}}$		4,0	25,10	$P_3 = 0,165$
$T_{n4}(C_{n4}) = 21 + 244,647 \cdot e^{-2,722 \cdot C_{n4}}$		3,8	38,05	$P_4 = 0,176$
$T_{n5}(C_{n5}) = 23 + 331,151 \cdot e^{-3,043 \cdot C_{n5}}$		3,9	40,04	$P_5 = 0,154$
$T_{n6}(C_{n6}) = 23 + 309,766 \cdot e^{-2,939 \cdot C_{n6}}$		3,9	52,21	$P_6 = 0,176$

The methodology worked out of the FMS optimization is useful for the optimization of the different kind of re-setable systems to manufacturing the mechanical assembly, having the complex hierarchical structure. This worked out optimization methodology process will be enough for the free structure systems to keep right time of re-setting and also the time of restoring to work from breakdowns. Methodology (as a

resources usage) permits not just direct uses of resources by workers (divide resources to realization of renovation and adjusting works).

Table 4. Results of solving setting the optimization

Minimum worth sums of means Individual contractual	Size of invested resources assuring the set productivity of the system. Individual contractual
12,01	$C_o = 2,43917$
	$C_{n1} = 2,06924$
	$C_{n2} = 1,75743$
	$C_{n3} = 2,06739$
	$C_{n4} = 1,96244$
	$C_{n5} = 1,75743$
	$C_{n6} = 1,85753$

It is possible to investing resources, permitting the possibility to widen the space of technological abilities to modernization in the purpose of increasing the productivity, easing renovations, for the reliability, re-setting ability.

REFERENCE

1. Kopp W. Ja., Czub O. P., Obžerin Ju. E. Matematyczny model oceny wpływu przeobrażenia i awarii na wydajność ESP produkcji małoseryjnej. // Optymalizacja proizvodstwjennych processow: Sb. naucz. tr. // Sewastopol, gos. techn. un-t, 1999- Wyp. 1 - S 39-45.
2. Kopp W. Ja., Czub O. P., Obžerin Ju. E. Szpilow I.Ju. Analiza superpozycji procesow losowych przy opisie funkcjonowania róznych struktur ESP. // Optymalizacja proizvodstwjennych processow: Sb. naucz. tr. // Sewastopol, gos. techn. un-t, 1999- Wyp. 1 - S 87-91.
3. Inżynierskie zabezpieczenie elastycznego wytwarzania wyrobów radioelektroniki // S. D. Kretów, W. M. Litwinow, Ja. E.Lwowicz i inni - M. Radio i swiaź, 1989. 208 s:
4. Błaug M. Ekonomiczna myśl w retrospekcji, - M: Deło ŁTD, 1994. -536 s.
5. Czub O. P., Kopp W. Ja., Obžerin Ju. E., Taranenko W. Optymalizacja parametrów zautomatyzowanych systemów przeobrażanych: Technologia i automatyzacja montażu 4/34, 2001.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

MERENJE ISKORIŠĆENJA PROIZVODNIH KAPACITETA METODOM MAKSIMALNE MESEČNE PROIZVODNJE

R. Đukić ¹⁾

Rezime: U radu je prikazan opšti osvrt na proizvodne kapacitete i metode merenja njihovog korišćenja. Akcenat je stavljen na metodu Maksimalne mesečne proizvodnje i moguća ograničenja u primeni ove metode na nivou poslovno-proizvodnih sistema.

Ključne reči: proizvodni kapaciteti, mesečna proizvodnja, korišćenje kapaciteta, metoda.

MEASURING THE DEGREE OF THE USE OF PRODUCTION CAPACITIES USING THE METHOD OF THE MAXIMAL MONTHLY PRODUCTION

Abstract: This paper generally shows production capacities and methods of their measuring and using. The emphasis is on the method of Maximal monthly production and possible lacks in application of this method in working and production systems.

Key words: production capacities, monthly production, using the capacities, methods

1. ZNAČAJ UTVRĐIVANJA STEPENA KORIŠĆENJA KAPACITETA

Bez obzira na različitosti u tumačenju šta predstavlja i kako se meri njegovo korišćenje, proizvodni kapacitet predstavlja maksimalnu mogućnost proizvodnje određenog asortimana i kvaliteta proizvoda, na raspoloživoj proizvodnoj opremi sa određenim brojem i kvalifikacijom zaposlenih, u određenom vremenskom intervalu izražen naturalno ili vrednosno. Drugim rečima proizvodni kapacitet determiniše: kapacitet proizvodne opreme (tehničko-tehnološki nivo); zaposlena radna snaga (karovski nivo); organizacija rada, radne površina i prostor (organizacioni nivo); obim i struktura proizvodnje (proizvodni program); način finansiranja proizvodnje i uticaj tržišta (ekonomsko-finansijski nivo).

Faktori vezani za proizvodni program pored strukture proizvodnog programa i obima proizvodnje treba da obuhvate: učestalost promene asortimana, vremensko trajanje ciklusa proizvodnje, broj artikala i broj poluproizvoda (pozicija, sklopova),

¹⁾ Radisav D. Đukić, Viša tehnička škola, Čačak, vtscacak@eunet.yu

zahteve vezane za kvalitet i namenu proizvoda, kao i uticaj aktivnosti vezanih za razvoj i uvođenje novih proizvoda ili unapređenje postojećih (životni ciklus proizvoda).

Tehničko-tehnološki nivo opredeljuju faktori koji se odnose na: broj i učešće tehnologija koje su zastupljene u procesu proizvodnje; stepen razrađenosti tehnoloških postupaka; kvalitet, škart i doradu delova; strukturu osnovnih sredstava u celini a posebno kapacitet proizvodne i prateće opreme; stepen otpisanosti opreme i način njenog održavanja; način određivanja norme.

Na organizacioni nivo utiču faktori kao što su: raspoređenost opreme, tip proizvodnje i radnog mesta, unutrašnji transport, organizacija proizvodne funkcije, način planiranja, terminiranja, praćenja i upravljanja proizvodnim procesima, radne površine i prostor.

Područje faktora vezanih za radnu snagu (kadrovski nivo) obuhvata: strukturu i raspored radne snage po organizaciono-tehnološkim celinama, analizu obima i uzroka odsustvovanja sa posla, normiranje rada, sistem raspodele i nagrađivanja.

Ekonomsko-finansijski faktori obuhvataju istraživanje: uticaja tržišta i cena kako sa stanovišta obezbeđenja sirovina tako i sa stanovišta mogućnosti plasmana, situaciju u pogledu likvidnosti i obezbeđenju obrtnih sredstava i posebno ocenu stepena zaduženosti i reproduktivne sposobnosti.

Kao rezultat svih navedenih faktora, koji utiču na kapacitet, ostvaruje se proizvodnja odgovarajućeg obima, asortimana i kvaliteta a koja se izražava u raznim jedinicama mere. Utrošena količina proizvodnih resursa (mašine, radna snaga) određuje se po vremenu i količini – mašinskim časovima, norma časovima, izdacima za lična primanja i t.d. Zbog toga i ne postoji jedinstvena metoda merenja koja bi zadovoljila sve slučajeve, već je potrebno koristiti razne metode koje treba prilagoditi za svaku specifičnu situaciju. Navedenu konstataciju potkrepljuje činjenica da proizvodni kapacitet analiziramo i merimo na različitim nivoima počev od radnog mesta-mašine, grupe mašina, proizvodne linije, radne jedinice-pogona, preduzeće, grupacije, grane pa i čitave industrije.

2. PREGLED POSTOJEĆIH METODA ZA UTVRĐIVANJE STEPENA KORIŠĆENJA PROIZVODNIH KAPACITETA

Utvrdjivanje proizvodnih kapaciteta služi kao osnov za merenje stepena njihovog korišćenja. Najopštije definisan, stepen korišćenja kapaciteta, predstavlja odnos ostvarene proizvodnje prema raspoloživom kapacitetu izražen na jedan od poznatih načina. To iskazivanje može biti u količinskim (fizičkim i uslovnim), vremenskim, vrednosnim i energentskim jedinicama.

U zavisnosti od nivoa (makro i mikro), vrste tehnološkog procesa proizvodnje (kontinualna i diskontinualna) i željene preciznosti u praksi postoji više metoda za utvrđivanje i merenje iskorišćenja proizvodnih kapaciteta od kojih su najpoznatije:

- metoda maksimalne mesečne proizvodnje,
- metoda analize rasporeda radnika po smenama,
- metoda zasnovana na poređenju utrošene električne energije prema instalisanjoj snazi elektromotora,
- kombinovana metoda maksimalne mesečne proizvodnje i koeficijentata rasporeda radnika po smenama,
- metoda praćenja količine strugotine,

- metoda trenutnih zapažanja (MTZ- metoda),
- metoda bazirana na poređenju planiranih i ostvarenih mašinskih časova (MČ),
- metoda bazirana na poređenju planiranih i ostvarenih norma časova (NČ),
- metoda ponderisanih masa u vremenskoj seriji,
- metoda kompariranja koeficijenta efikasnosti osnovnih sredstava,
- metoda kompariranja kapitalnih koeficijenata,
- kompleksna metoda,
- metoda oscilacije,
- metoda integralnog matematičkog modela,
- metoda komparativne analize, i td..

Jedna od osnovnih i do sada najpogodnijih metoda merenja korišćenja kapaciteta na makro nivou merenja počev od preduzeća, grupacije, grane pa i cele industrije je metoda maksimalne mesečne proizvodnje u toku godine.

3. METODA MAKSIMALNE MESEČNE PROIZVODNJE

U poređenju sa ostalim metodama koje se koriste na makro nivou ova metoda ima niz prednosti koje se ogledaju u sledećem:

- primena je pogodna za skoro sve delatnosti i grane industrije,
- bazira se na fizičkom obimu proizvodnje što isključuje (minimizira) subjektivnost pri analizi,
- ukazuje na rezerve u kapacitetima i njihovo intezivno korišćenje,
- metoda je jednostavna a izračunavanje stepena korišćenja kapaciteta brzo i lako.

Metoda maksimalne mesečne proizvodnje polazi od pretpostavke da je maksimalnu proizvodnju u toku jednog meseca u godini moguće ostvariti u svim mesecima u kojim se radi u toj godini. Poredeći ostvarenu sa mogućom proizvodnjom dobijama stepen iskorišćenja kapaciteta odnosno:

$$\eta = \frac{P_o}{P_m} \cdot 100 \text{ -----(1)}$$

$$P_o = \sum P_i, \quad i = 1, n \text{ ----- (2)}$$

$$P_m = n \cdot P_{imax} \text{ ----- (3)}$$

$$P_{imax} = \max \{P_i, i = 1, n\} \text{----- (4)}$$

gde je:

- η – stepen iskorišćenja proizvodnih kapaciteta (%),
- P_o – ukupno ostvarena godišnja proizvodnja [NČ/GOD],
- P_m – moguća godišnja proizvodnja [NČ/GOD],
- P_i – ostvaren obim proizvodnje u i-tom mesecu [NČ/MES],
- P_{imax} – maksimalni mesečni obim proizvodnje u godini [NČ/MES],
- n – ukupan broj meseci rada u toku godine,
- $n = 12$ – metaloprerađivačka, elektro, grafička, tekstilna industrija i metalurgija,
- $n = 9,10$ – proizvodnja građevinskih materijala (kamen, pesak, šljunak, kreč, gips, crep),
- $n = 8$ – proizvodnja fermentisanog duvana,
- $n = 6$ – proizvodnja i prerada voća i povrća,
- $n = 4$ – proizvodnja šećera

Ako se stepen korišćenja kapaciteta kreće preko 85% smatramo da su proizvodni kapaciteti po ovoj metodi praktično iskorišćeni, od 75%-85% zadovoljavajuće iskorišćeni, ispod 75% slabo iskorišćeni.

U tabeli broj 1 prikazan je fizički obim proizvodnje po mesecima u periodu od pet godina (t_1 - t_5) iskazan preko realizovanih norma časova. Istaknuta su **dostignuća** koja predstavljaju najveću ostvarenu mesečnu proizvodnju u posmatranim godinama. Pored podataka o ostvarenoj proizvodnji po mesecima tabela sadrži i podatke o procenjenom stepenu korišćenja kapaciteta na bazi maksimalne mesečne proizvodnje u pojedinim godinama koji se kreće u rasponu od 47% (t_3) do 79% (t_2) odnosno 60% prosečno za ceo petogodišnji period. Maksimalni stepen iskorišćenja ostvaren je u drugoj godini (79%) pri čemu je u istoj godini ostvaren najmanji obim proizvodnje od 3.719.889 [NČ/GOD]. Po ovoj metodi maksimalno moguće godišnji obim proizvodnje varira od 4.723.080 (t_2) pa do 8.992.224 (t_3) [NČ/GOD] mada treba naglasiti da se ova metoda ne koristi u te svrhe.

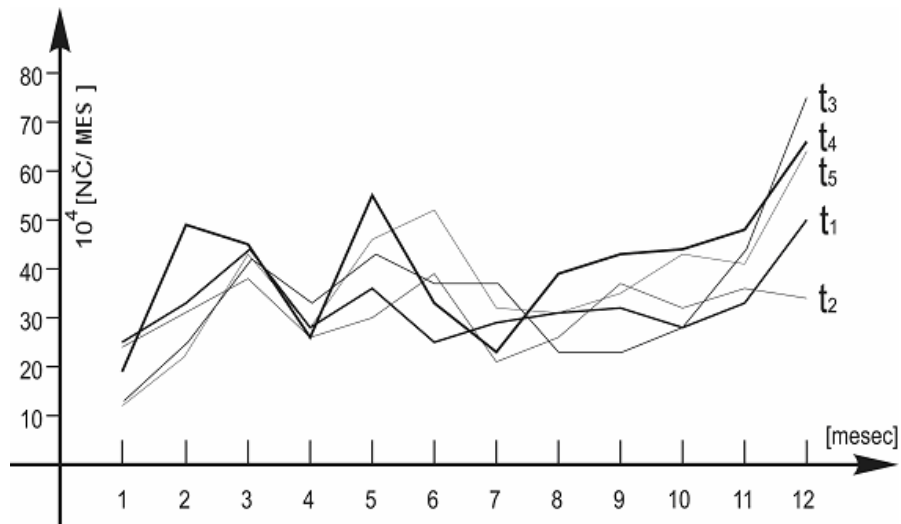
Podaci iz tabele ukazuju na izuzetno velike oscilacije u mesečnoj proizvodnji u svim godinama posmatranog perioda. Odnos maksimalne prema minimalnoj mesečnoj proizvodnji po godinama kreće se od 1,84 do 5,26. Sa druge strane, najveća mesečna proizvodnja, ostvarena u decembru treće godine (t_3) veća je za 1,9 puta od maksimalno ostvarene proizvodnje iz juna druge godine (t_2).

Više je razloga za visoke oscilacije u ostvarenoj dinamici proizvodnje od kojih su najvažniji:

- kod manjeg broja artikala, koji imaju značajnog udela u ukupnom ostvarenom obimu proizvodnje, dužina proizvodnog ciklusa veća je od mesec dana (do tri meseca) pa dolazi do preliivanja zaliha nedovršene proizvodnje, koje su ponekad velike i različite iz meseca u mesec,
- radi se o fabrici specijalnih proizvoda gde se proizvodnja organizuje za poznatog kupca, pri čemu je očigledan nedostatak ugovora na početku svake godine,
- uglavnom se pred kraj godine u zadnja tri meseca ostvaruju nadprosečni rezultati u odnosu na ostale mesece a posebno na januar odnosno jul i avgust kada je vreme godišnjih odmora radnika. (slika 1).

TABELA BROJ 1: Realizovan obim proizvodnje po godinama i mesecima (NČ) u periodu od pet godina ($t_k, k = 1, 5$), sa dinamikom korišćenja kapaciteta po metodi maksimalne mesečne proizvodnje (%)

MESEC	PETOGODIŠNJI VREMENSKI PERIOD $t_k, k = 1, 5$															PROSEK											
	t_1	η %	t_2	η %	t_3	η %	t_4	η %	t_5	η %	t_6	η %	t_7	η %	t_8		η %	t_9	η %	t_{10}	η %	t_{11}	η %	t_{12}	η %		
1																											
JANUAR	237.944	47,2	276.265	67,9	131.860	17,6	187.094	28,5	121.061	19,0	190.845	34,8	221.498	67,3	423.188	81,3	287.455	35,7	324.176	50,9	303.056	49,4	314.732	59,7	314.732	49,4	303.056
FEBRUAR	328.521	65,2	242.528	61,6	250.968	33,5	494.752	75,5	221.498	34,8	307.653	42,3	428.908	67,3	423.188	67,3	423.188	67,3	428.908	67,3	423.188	67,3	428.908	67,3	423.188	67,3	423.188
MART	440.995	87,5	381.919	97,0	417.371	55,7	446.747	68,2	428.908	67,3	423.188	67,3	428.908	67,3	423.188	67,3	423.188	67,3	428.908	67,3	423.188	67,3	428.908	67,3	423.188	67,3	423.188
APRIL	275.888	54,7	265.542	67,5	328.178	43,8	259.764	39,6	278.724	43,8	281.619	43,8	278.724	43,8	281.619	43,8	281.619	43,8	278.724	43,8	281.619	43,8	278.724	43,8	281.619	43,8	281.619
MAJ	360.217	71,5	302.319	76,8	427.477	57,0	555.224	84,7	455.776	71,5	420.203	71,5	455.776	71,5	420.203	71,5	420.203	71,5	455.776	71,5	420.203	71,5	455.776	71,5	420.203	71,5	420.203
JUN	254.336	50,5	393.590	100,0	368.717	49,2	327.809	50,0	518.112	81,3	372.513	81,3	518.112	81,3	372.513	81,3	372.513	81,3	518.112	81,3	372.513	81,3	518.112	81,3	372.513	81,3	372.513
JUL	292.344	58,0	213.514	54,2	373.494	49,8	233.747	35,7	324.176	50,9	287.455	50,9	324.176	50,9	287.455	50,9	287.455	50,9	324.176	50,9	287.455	50,9	324.176	50,9	287.455	50,9	287.455
AVGUST	313.031	62,1	262.443	66,7	233.858	31,2	391.217	59,7	314.732	49,4	303.056	49,4	314.732	49,4	303.056	49,4	303.056	49,4	314.732	49,4	303.056	49,4	314.732	49,4	303.056	49,4	303.056
SEPTEMBAR	318.339	63,2	370.117	94,0	227.898	30,4	433.954	66,2	347.194	54,5	339.500	54,5	347.194	54,5	339.500	54,5	339.500	54,5	347.194	54,5	339.500	54,5	347.194	54,5	339.500	54,5	339.500
OKTOBAR	284.185	56,4	315.761	80,2	265.706	35,5	443.826	67,7	430.098	67,5	347.915	67,5	430.098	67,5	347.915	67,5	347.915	67,5	430.098	67,5	347.915	67,5	430.098	67,5	347.915	67,5	347.915
NOVEMBAR	334.708	66,4	360.129	91,5	444.933	59,4	480.181	73,3	413.992	65,0	406.789	65,0	413.992	65,0	406.789	65,0	406.789	65,0	413.992	65,0	406.789	65,0	413.992	65,0	406.789	65,0	406.789
DECEMBAR	504.099	100,0	335.762	85,3	749.352	100,0	655.468	100,0	637.070	100,0	576.350	576,350	637.070	100,0	576.350	576,350	576.350	576,350	637.070	100,0	576.350	576,350	637.070	100,0	576.350	576,350	576.350
UKUPAN REALIZOVAN GODIŠNJI OBIM	3.944.607	65	3.719.889	79	4.219.812	47	4.909.783	62	4.491.341	59	4.257.086	59	4.491.341	59	4.257.086	59	4.257.086	59	4.909.783	62	4.491.341	59	4.491.341	59	4.257.086	59	4.257.086
PROSEČAN OSTVAREN MESEČNI OBIM	328.717	65	309.991	79	351.651	47	409.149	62	374.278	59	354.757	59	374.278	59	354.757	59	354.757	59	409.149	62	374.278	59	374.278	59	354.757	59	354.757
MAKSIMALNI GODIŠNJI OBIM	6.049.188	100	4.723.080	100	8.992.224	100	7.865.616	100	7.644.840	100	7.054.990	100	7.644.840	100	7.054.990	100	7.054.990	100	7.865.616	100	7.644.840	100	7.644.840	100	7.054.990	100	7.054.990
ODNOS MAX. I MIN. MESEČNOG OBIMA	2,12		1,84		5,68		3,50		5,26		3,02		5,26		3,02		3,02		3,50		5,26		5,26		3,02	3,02	
GODIŠNJE IZVRŠENJE UGOVOREN. OBAVEZA	86 [%]		91 [%]		95 [%]		95 [%]		96 [%]		93 [%]		96 [%]		93 [%]		93 [%]		95 [%]		96 [%]		96 [%]		93 [%]	93 [%]	

Slika 1: Dijagramski prikaz dinamike mesečne proizvodnje u periodu t₁-t₅

4. ZAKLJUČAK

Rad ima za cilj da ukaže na značaj i metode koje se mogu koristiti za utvrđivanje i merenje stepena korišćenja proizvodnih kapaciteta. Detaljno je opisana i na primeru jednog složenog poslovno-proizvodnog sistema prikazana metoda maksimalne mesečne proizvodnje.

Dobijene rezultate o stepenu korišćenja kapaciteta i maksimalnom godišnjem obimu proizvodnje treba prihvatiti sa rezervom imajući u vidu sva navedena ograničenja i dileme. Dalje istraživačke napore treba usmeriti ka:

- modifikaciji opisane metode prevashodno sa aspekta načina izbora maksimalne proizvodnje kako bi se dobili realniji i uporedivi pokazatelji po godinama,
- merenju iskorišćenja kapaciteta na osnovu proizvodnje utvrđene na bazi optimuma (optimizacijom) uvažavajući pri tome ograničenja mašinskih kapaciteta, radne snage i tržišta.

5. LITERATURA

1. Klarin M., Gudić M, Đukić R. i dr., Priručnik za utvrđivanje stepena korišćenja kapaciteta u metaloprerađivačkoj industriji Namenske proizvodnje, Institut za ekonomiku industrije, Beograd, 1984.
2. Vrcelj Đ., Božović B., Ogorelec I., Metodi merenja iskorišćenja proizvodnih kapaciteta u industriji, Privrdni pregled, Beograd, 1981.
3. Đukić R., Utvrđivanje i merenje uzročnika gubitaka proizvodnih kapaciteta, 30. jubilaro savetovanje PMSCG, V. Banja, 2005.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

PRILOG IZUČAVANJU MOGUĆNOSTI PRIMENE SEČENJA VODENIM MLAZOM

S. Đurić ¹⁾, D. Ječmenica ²⁾, M. Radovanović ³⁾

Rezime: Danas, pri razvoju i primeni novih tehnoloških postupaka i opreme sve veća pažnja se poklanja sagledavanju tehnoekonomske, ali i ergonomske i ekološke aspekata primene. U jednu od nekonvencionalnih metoda obrade materijala spada i sečenje vodenim mlazom. U radu je dat kratak opis ovog tehnološkog postupka sečenja materijala, njegove prednosti i nedostaci, kao tehnoekonomska analiza opravdanosti njegove primene.

Ključne reči: sečenje, vodeni mlaz, materijal, ekologija, produktivnost, kvalitet

CONTRIBUTION TO STUDY OF POSSIBILITY OF USE CUTTING BY WATER JET

Summary: Nowadays, with development and appliance of new technological procedures and equipment more attention is given to realize technoeconomic, but also ergonomic and ecologic aspects of usage. One of unconventional method in processing material is cutting by water jet. In this paper is given a short description of this technological procedure for cutting material, it's advantages and defects as well as economic analysis for justification of it's appliance.

Key words: cutting, water jet, material, ecology, productivity, quality

1. UVOD

Pod nekonvencionalnim postupcima obrade materijala podrazumevaju se postupci, koji se odvijaju pri velikoj koncentraciji energije, koja nastaje u henijskim, fizičkim, termičkim ili erozivnim procesima. Potreba za razvojem nekonvencionalnih postupaka obrade nastala je usled visokih zahteva, koji se postavljaju pred materijalima koji se koriste za izradu konstrukcija i proizvoda visokih tehnologija. Ovi materijali u većini slučajeva imaju veoma visoke čvrstoće, te se veoma teško mogu obrađivati konvencionalnim postupcima. Pošto se ovi materijali najčešće primenjuju u avio, kosmičkoj, vojnoj, nuklearnoj i procesnoj industriji i energetici, to je razvoj ovih grana industrije pratio i razvoj nekonvencionalnih postupaka obrade novorazvijenih materijala

¹⁾ Sava Đurić, dipl. inž., Institut IMK „14.oktobar“ Kruševac, buba18@ptt.yu

²⁾ Prof. dr Ratimir Ječmenica, dipl. inž., Tehnički fakultet, Čačak, jecmenica@ptt.yu

³⁾ Milovan Radovanović, dipl. inž., IRC PPT, Trstenik, institutimkks@tfc.kg.ac.yu

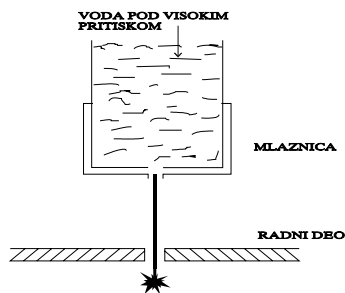
za primenu u njima. Najširu primenu od nekonvencionalnih postupaka obrade imaju obrade materijala ultrazvukom, elektroerozijom, elektronskom snopom, plamenom, plazmom, laserom i energijom eksplozije. većina od ovih postupaka obrade spada u termičke postupke, odnosno postupke, koji na obrađenim površinama ostavljaju termički deformisane slojeve ili zone materijala koje su nepoželjne, jer menjaju u negativnom smislu tehnološke i mehaničke osobine materijala. U slučajevima gde je neophodno izbeći termički deformisane slojeve materijala u blizini obrađivanih površina primenjuju se takozvani postupci obrade materijala na hladno, takozvani "hladni postupci". Jedan od takvih postupaka obrade je sečenje vodenim mlazom. U ovom radu je dat kratak opis postupka obrade vodenim mlazom i mogućnosti njegove primene.

2. METODE SEČENJA VODENIM MLAZOM

Sečenje vodenim mlazom deli se na dve osnovne metode: sečenje vodenim mlazom i sečenje vodenim mlazom uz dodatak abraziva

2.1 SEČENJE VODENIM MLAZOM (Water Jet Cutting - WJC)

Sečenje čistim vodenim mlazom je metod kod koga se koristi vodeni mlaz visokog pritiska za sečenje materijala. Ovaj metod sečenja materijala zasniva se na sledećem principu. Voda pod visokim pritiskom (preko 4000 bara) protiče kroz regulator protoka i ističe kroz mlaznicu od safira ili dijamanta velikom brzinom. Vodeni mlaz dostiže brzinu i do 1000 m/s. Energija kretanja mlaza vode (kinetička energija) u mlaznici pretvara se u dodirnoj tački mlaza i materijala u pritisnu u energiju pritiska koja je dovoljna da razbije, seče, materijal. Princip sečenja vodenim mlazom dat je na slici 1.

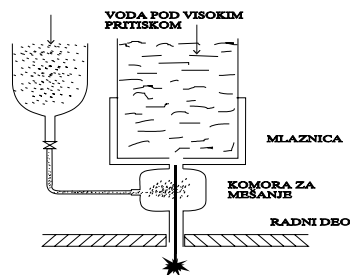


Slika 1. Princip sečenja vodenim mlazom (WJC - Water Jet Cutting)

Materijali koji se mogu uspešno seći čistim vodenim mlazom su materijali relativno male tvrdoće počev od mekih materijala poput gume, suđera i plastike pa do delimično tvrdih materijala kao što je fiberglas. U novije vreme razvoj metoda sečenja vodenim mlazom ultravisokog pritiska do 7000 bara omogućava i sečenje metalnih materijala. U svim ovim slučajevima javlja se problem održavanja konstantnog kvaliteta sečenih površina za šta je potrebna skupocena oprema čime se dovodi u pitanje ekonomičnost primene ovih postupaka.

2.2 SEČENJE VODENIM MLAZOM SA ABRAZIVOM (Abrasive Water Jet Cutting - AWJ)

Sečenje vodenim mlazom uz dodatak abraziva je novija metoda razvijena 1984. godine i predstavlja tehnološki napredak u sečenju vodenim mlazom. U vodeni mlaz visokog pritiska ubrizgavaju se čestice abraziva, peska, tako da se mogu kvalitetno seći skoro svi materijali. Princip sečenja vodenim mlazom sa dodatkom abraziva dat je na slici 2.

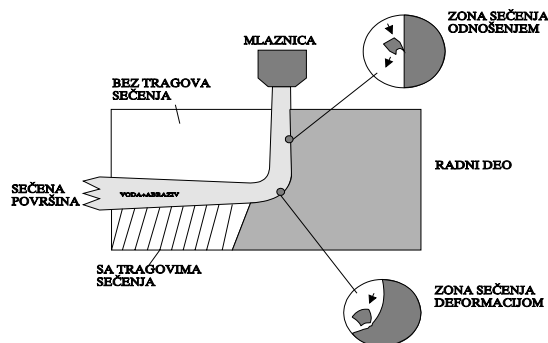


Slika 2. Princip sečenja vodenim mlazom i abrazivom (AWJ - Abrasive Water Jet Cutting)

Rezna glava za ovaj postupak sečenja ima kao dodatak regulatoru protoka od safira komoru za mešanje abrazivnog materijala sa vodenim mlazom i mlaznicu od tvrdih materijala, najčešće kompozita na bazi karbidne keramike sa radnim vekom od oko 100 sati rada, zavisno od vrste abraziva. Ovom metodom mogu se seći: srednje i visoko legirani čelici, alatni i nerđajući čelici, čelici otporni na habanje, pancir čelici, livena gvožđa, aluminijum i bakar i njihove legure, titan, volfram, magnezijum, ugljena vlakna, keramika, mermer, granit, kamen, beton, guma, koža, tekstil, plastika, papir, staklo, pancir staklo, itd.

3. PROCES SEČENJA

Proces sečenja vodenim mlazom uz dodatak abraziva je složen proces koji se sastoji procesa sečenja, erozije, ponavljanja promene napona i plastičnih deformacija na sečenim površinama. Proces sečenja je prikazan na slici 3.



Slika 3. Proces sečenja mlazom vode i abrazivom

Mlaz vode visokog pritiska i abraziva udara u površinu materijala, razara materijal, odnosi čestice i seče ga. Na sečenoj površini jasno se razlikuju dve zone: *zona sečenja odnošenjem čestica materijala* i *zona sečenja deformacijom*. Prva zona nastaje kao rezultat udara čestica abraziva i mlaza vode velikom kinetičkom energijom u površinu materijala sa malim uglom skošenja. U dubini sečene površine mlaz gubi kinetičku energiju, te se odbija pod uglom od 90° u odnosu na pravac kretanja pri čemu gubi sposobnost sečenja i na toj debljini formira ispust, "sims", u koji udaraju čestice pod skoro pravim uglom. Prilikom udara čestica u ovu površinu na njoj se javljaju naponi koji rastu do određene granice kada nastaju prsline u materijalu i pojavljuje se nova površina i na taj način nastaje zona sečenja deformisanjem.

3.1 PARAMETRI SEČENJA

Osnovni parametri sečenja vodenim mlazom sa abrazivom dati su u tabeli 1.

Tabela 1. Parametri sečenja vodenim mlazom sa abrazivom - AWJ metoda

NAZIV PARAMETRA	FAKTOR
Hidraulički parametri	<ul style="list-style-type: none"> • Prečnik regulatora protoka • Vodeni pritisak • Gustina tečnosti (ako nije voda)
Abrazivni parametri	<ul style="list-style-type: none"> • Vrsta abraziva • Granulacija i oblik zrna • Gustina mlaza • Metode dodavanja
Parametri mlaznice za mešanje	<ul style="list-style-type: none"> • Geometrija safira (dužina-l i prečnik-d) • Materijal mlaznice
Parametri sečenja	<ul style="list-style-type: none"> • Brzina sečenja • Broj prolaza • Rastojanje između čela mlaznice i materijala • Ugao sečenja
Parametri materijala	<ul style="list-style-type: none"> • Čvrstoća

Vodeni pritisak. Povećanjem vodenog pritiska povećava se i brzina vodenog mlaza, odnosno kinetička energija abrazivnog sredstva, čime se povećava mogućnost debljina koje mogu seći i povišava kvalitet sečenih površina.

Vodeni mlaz. Povećanjem prečnika mlaznice povećavaju se gubici u mlazu, smanjuje se kvalitet mešanja abraziva u središtu mlaza i snižava se kvalitet sečenih površina.

Abrazivni mlaz. Povećanjem odnosa mase abraziva u vodenom mlazu do izvesne vrednosti povećava se učinak sečenja. Preko određene granične vrednosti opadaju pozitivni efekti, a smanjuje se i vek regulatora i mlaznice.

Granulacija abraziva. Povećanjem granulacije abraziva, povećava se sposobnost sečenja na račun snižavanja kvaliteta sečenih površina.

Abrazivni materijal. Efekat promene abrazivnog materijala najočigledniji je kod sečenja veoma tvrdih materijala za šta se najčešće koriste olivin, granat ili komud pesak, zavisno od tvrdoće sečenih materijala. Komud je veoma agresivan i koristi se za sečenje veoma tvrdih materijala, jer se za par minuta istroši mlaznica. Olivin se najčešće koristi zbog niske cene, ali zahteva niske brzine sečenja.

Brzina sečenja. Brzina sečenja utiče obostrano na obe zone (slika 3.) i istovremeno na kvalitet sečenih površina. Smanjenjem brzine sečenja povećava se dubina sečenja i

povišava kvalitet sečenih površina. U tabeli 2. date su orijentacione vrednosti brzina sečenja za različite kvalitete materijala i različite debljine.

Stand of. Odstojanje vrha mlaznice od radne površine treba da je jedan do dva puta veće u odnosu na prečnik abrazivnog regulatora protoka , ali zavisi i od drugih parametara.

Tabela 2. Orijetacione vrednosti brzine sečenja AWS postupkom za različite materije

MATERIJAL	DEBLJINA d (mm)	BRZINA SEČENJA v (mm/min)
Srednje legirani čelici	1,6	500
	13,0	100
	50,0	38
	180,0	10
Nerdajući čelici	5,0	400
	13,0	150
	25,0	75
Aluminijum	1,6	1300
	6,0	500
	25,0	130
	100,0	25
Titan	3,0	500
	6,0	400
	12,0	100
Staklo	13,0	1300
	19,0	600
	25,0	130
Mermer	50,0	400
Beton	250,0	25

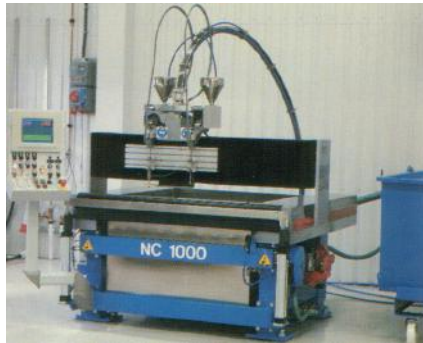
Kvalitet sečenih površina kod sečenja vodenim mlazom uz dodatak abraziva je veoma visok. Hrapavost sečenih površina je oko 1 mikrona. Zbog prirode procesa rez je sužen idući od gornje ka donjoj površini sečenog materijala. Ovo skošenje može se smanjiti smanjti smanjenjem brzine sečenja, čime se zona sečenja odnošenjem čestica povećava u odnosu na zonu sečenja deformisanjem. Kvalitet sečenih površina zavisi od brzine sečenja, granulacije abraziva, čvrstoće materijala, načina i preciznosti vođenja mlaznice i postojanosti brzine sečenja itd.

4. OPREMA I UREĐAJI ZA SEČENJE VODENIM MLAZOM I ABRAZIVOM

Metode sečenja vodenim mlazom sa i bez abraziva najčešće se upotrebljavaju za sečenje, a ređe za pranje, grebanje i struganje. Kao nosači mlaznice mogu se koristiti zglobovi i portalni roboti i koordinatne mašine. Metoda je pogodna za automatizaciju postupka sečenja materijala osjetljivih na temperaturne uticaje u vidu ploča i tabli na mašinama portalnog tipa. Jedan od takvih uređaja prikazan je na slici 4. Ovi uređaji se najčešće izrađuju i koriste u vidu portalnih CNC upravljanih mašina.

Osnovni elementi jedne ovakve portalne mašine su: Pumpa visokog pritiska, rezervoar za vodu, spremnik za abraziv, portalni robot, radni sto sa skupljačem produkata sečenja, zaštitne ploče, CNC upravljačka jedinica i neophodna instalacija za

struju, vodu i abraziv. Najznačajniji proizvođači ovih mašina su ESAB HANCOCK i MESSER GRIESHEIM iz Nemačke i WATER JET iz Švedske.



Slika 4. Izgled portalne mašine za sečenje vodenim mlazom

5. UPOREĐIVANJE AWJ SA DRUGIM POSTUPCIMA SEČENJA

Uspoređenje postupka sečenja vodenim mlazom sa drugim postupcima daje interesantne zaključke. Sečenje materijala plazma postupkom ima prednost u pogledu brzine pri sečenju debljih materijala, koji se ne mogu seći laserom ili koji se vodenim mlazom seku sporije. Plazma postupak je ograničen na sečenje elektroprovodnih materijala. Kada je reč o sečenju materijala tanjih od 10 mm laser je nezamenljiv zbog finoće sečenih površina i velike brzine sečenja. Ako je u pitanju sečenje materijala osetljivih na toplotne uticaje ili materijala debljih od 300 mm te se ne mogu seći plazmom ili plamenom, tada nema drugog rešenja sem sečenja vodenim mlazom sa abrazivom. Pri primeni ovog postupka nema pojave prašine, niti gasova, a kako se sečenje odvija pod vodom dolazi do delimičnog smanjenja buke.

6. ZAKLJUČAK

Sečenje vodenim mlazom bez ili sa abrazivom je relativno nov nekonvencionalan postupak obrade materijala i predstavlja nezamenljiv postupak u slučajevima kada je iz tehnoloških razloga neophodni izbeći termički uticaj na obrađivani materijal, odnosno pri sečenju materijala osetljivih na termičko dejstvo. Zbog relativno visokih troškova obrade potrebno je uvek sačiniti analizu opravdanosti primene ovog atraktivnog, ali skupog postupka sečenja materijala.

7. LITERATURA

1. Mr Christian Ojmerc, Sečenje vodom, Čalmers tehnički univerzitet, Institut za proizvodnu tehnologiju, Izveštaj broj 840501, Čalmers, 1996.
2. Ohlsson, J.Powell, A.Ivansson, C.Magnusson, Usporedna analiza sečenja vodenim mlazom sa abrazivom i laserskog sečenja, Lulea University of Technology, Division of Materials Processing, Lulea, 1992.
3. Izveštaji, tehničke infoemacije i brošure proizvođača opreme za sečenje vodenim mlazom Messer Griesheima i Esab Hancocka iz Nemačke i Water Jeta iz Švedske

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

UVODNI REFERAT

EU / SERBIA MANUFUTURE STRATEGIC RESEARCH AGENDA or manufuture in Serbia?

V. Majstorović¹⁾, T. Šibalića²⁾

Abstract: EU defined European technological future by document “Manufuture Platform – Strategic Research Agenda”, which newest version has been launched in May 2006. First document from this domain “The Manufuture initiative” was officially launched by the European Commission in December 2003, with the stated aim of catalysing dialogue on scientific, technological, organisational and industrial issues related to manufacturing. It was triggered by a widespread concern about the intense and growing pressure from overseas competitors, in order to transform European manufacturing from a resource-intensive to a knowledge-intensive innovative sector with all the strengths necessary to achieve and maintain leadership in the global marketplace.

What is production engineering in Serbia today? Where is its place and what is its role in Serbian industry evolution and joining to EU? These are only some of the questions that this paper attempts to give answer on.

Key words : Manufuture, Strategic Research Agenda, European Technology Platform, National level, Serbian cluster.

1. INTRODUCTION

Manufuture vision towards a *Strategic Research Agenda* (SRA) is the roadmap for European industrial transformation, with prioritised technology and research areas, requirements and implementation plans for initiatives/activities. In paper also considers possibility to initiate Manufuture Cluster in Serbia, based on experience of such initiatives at European level, EU Members States levels – national and regional levels, taking in account specific conditions, requirements, limitations and needs of manufacturing industry in Serbia [1-4].

2. MANUFUTURE STRATEGIC RESEARCH AGENDA

The competitive and sustainable reaction to such challenges is seen in terms of **five pillars** and their associated **enabling technologies** [1-4]: (i) new, added-value

¹⁾ Prof. dr Vidosav D. MAJSTOROVIĆ, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, Serbia, majnem@EUnet.yu

²⁾ M. Sc. Tatjana ŠIBALIJA, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, Serbia, majnem@EUnet.yu

products and services, (ii) new business models, (iii) new advanced industrial engineering, (iv) new emerging manufacturing science and technologies, and (v) transformation of existing R&D and education infrastructure to support world-class manufacturing.

2.1 New added-value products and services

To improve European products/services competitiveness, European products must evolve into high-added value product/services. According to this, emphasises are on: (i) **continuous innovation in manufacturing processes as well as in products**; (ii) increase **Engineering** and **Design** strengths, as the main European advantages, by enhancing science and R&D position; (iii) **enabling technologies**, such as innovative materials (smart materials, intelligent and adaptive structures), nanotechnologies, ICT and mechatronics, and incorporate them into product designs; (iv) **customised** and with **short delivery times** products – to fulfil and even exceed customer's expectations, regardless of their geographical location; the business focus will increasingly shift from designing and selling physical products only, to selling a system of products and services (described as 'product/services' or 'extended products') that are jointly capable of fulfilling specific users' demands; and (v) **life-cycle orientation**, to gain more opportunities for innovation and market development, more and longer-term customer relationships and better feedback from consumers.

2.2 New business models

With the continuing globalisation of manufacture and the political integration of an enlarged EU, there is a need for European manufacturing Industry to enhance its business models, to: (i) identify and exploit new opportunities for maximising value in the product life cycle; (ii) embrace global change in industry and business structures and their value systems; (iii) establish partnerships for economically sustainable manufacturing in an enlarged Europe that works with the rest of the world; (iv) understand how to realise and supply manufacturing and other technology/knowledgebased services; (v) embrace innovation and entrepreneurship as the routes to successful and secure business growth; and (vi) recognise the product opportunities that emerging markets and new global science offer for the growth of manufacturing businesses.

2.3 Advanced industrial engineering

The mainstream of future development defining manufacturing as adaptive, digital networked, knowledge-based will be characterised by [1-4]:

- **Life-cycle orientation.** Factories and their components will be linked in manufacturing networks extending from engineering to end-of-life, as the basis for enhanced customer relations and value addition by product-oriented services. This implies a clear understanding of the requirements and usage of products (customisation), their manufacture and associated services.
- **Product-integrated knowledge and intelligence.** Knowledge is the resource of the future. Its efficient use in the engineering and manufacturing aspects of factories, as well as in the implementation of control and management systems, offers the way towards intelligent knowledge-based manufacturing, and allows

to keep track of the product relevant information during the whole product life cycle, from manufacturing, in service utilisation, maintenance/upgrading, dismantling, recycling, etc.. Knowledge will be used to improve the performance of machines in parameter fields where the processes are becoming unreliable or very high-speed control is required. Digital manufacturing will be a key element in product and process knowledge acquisition, helping to translate from implicit to explicit knowledge.

- **Product-integrated services.** The majority of technical products, and of manufacturing systems themselves, need the support of services during their life cycles. Services can be made globally available by linking manufacturing systems to the networks of manufacturers and incorporating intelligent diagnostics into machines and processes. In this way, Europe can add value by supporting users around the world in solving technical, organisational and financial problems.
- **European Standards for manufacturing.** Prominent among other essential supporting elements is the framing of high-level European manufacturing standards. Standards do not serve simply for the technical definition of specifics.
- **Digital manufacturing.** uses a wide range of planning tools, software and ICT to integrate new technologies into the design and operation of manufacturing processes and their corresponding production systems. Modelling and presentation tools make it possible to create a scalable virtual representation of an entire factory that includes all buildings, resources, machines, systems and equipment.
- **Adaptive manufacturing.** responds automatically to changes in the operating environment. It integrates innovative processes as well as the capability to continuously change the structure of the socio-technical system and integrate knowledge in the technical systems to control the processes at high performance levels through intelligent combinations (such as intelligent mechatronics), and handles the transfer of manufacturing know-how into totally new manufacturing-related methods and systems.
- **Knowledge-based manufacturing.** draws on in-depth understanding of the behaviour of machines, processes and systems. New basic models of processes and simulation techniques must be developed, extended by automated planning and programming and possibly incorporating provision for cognition and learning features, as well as integrating diverse simulation aspects such as mechanics, control and process physics into unified models. Learning and reasoning will enable the system to cope with effects that exceeds simulation capacities. Planning will make efficient use of simulation and process models. Learning is a central feature in knowledge-based manufacturing - learning by education, from experiments, from analysis of best practices, from methodologies or with simulation machines (Learning machines, learning systems).
- Leadership in this field will depend on the development of a European real-time platform resembling a '**Windows for Manufacturing**', with well defined IT standards and the flexibility to allow sectors to apply their own specific solutions. A new methodology for the organisation of human labour, taking into account the European culture and work standards, will also be required.

2.4 New emerging manufacturing science and technologies

Investigation of the potential of underlying technologies such basic processes, mechatronics, cognition systems and materials is the **first step** on the road to industrial applications. In the **medium term**, effort will concentrate in the development of prototypes and artefacts to deliver new functionalities such as enhanced tribological or dynamic behaviour of lightweight components, leading to new machine and system capabilities. In the medium and longer timeframe new technologies such as nanotechnologies, cognition systems and integrated mechatronic systems will push the innovation and the technical development. The result will be the development of highly innovative components such as drives, sensors and actuators. In the **long term** a broad engineering initiative and a supporting dissemination process in the various sectors of manufacturing can advance the industrial position towards leadership in applications based on basic process models and cognition control in a European platform for manufacturing [1-4].

2.5 Transformation of existing R&D and education infrastructure

Major RTD actors in this dynamic knowledge value-adding network are [1-4]: (i) **universities**, where basic scientific and technical education and training takes place; (ii) **research centres**, in which graduate and postgraduate students can to gain confidence and build mature experience in dealing with new sciences and technologies; (iii) **applied research organisations**, providing professional know-how transfer by means of projects or knowledge transfer, in solving real problems of manufacturing and with researchers moving from institutes into enterprises; (iv) **knowledge-intensive SMEs** (e.g. spin-offs), which can transform the knowledge produced by applied research into products and services for manufacturing industry; and (v) **manufacturing enterprises**, equipped to incorporate the knowledge acquired along the value chain into products and processes with the qualities needed to support enhanced competitiveness.

3. IMPLEMENTATION OF SRA

The approaches used for the necessary transformation of European industry, and of the related RTD and educational infrastructures, and the results obtained can be transferred to sectoral domains, under headings that correspond to each of the five pillars, according to their specific needs. Two pillars dedicated to implementation of SRA are: (i) Collective action - encouraging pan-European convergence between regional centres of industrial competitiveness, by coordination of policies, high level R&D and standardisation at the European level; support of SMEs, education and adaptation of national regulations, and (ii) The SMEs - create an environment for local actions such as technology transfer, aid to SMEs and cluster formation at the regional level.

4. SME and MANUFUTURE SRA

The research output of innovating SMEs is a key value-adding component of the SRA. Innovative SMEs can function in a new knowledge-based world, with following concepts: (i) to test, validate and demonstrate solutions suitable for other

small enterprises, (ii) new Innovating SME platforms, and (iii) with possible virtual factory concepts.

In the new advanced industrial engineering, these would test and clarify the environment of innovating production, as well as whether the deployment of innovating production could cope with growing complexity of network operations transform in a robust and application-oriented environment.

SMEs are the critical component of the European manufacturing fabric. According to this, it is necessary to provide: (i) integrated set of actions at EU and Member State Level, (ii) favourable framework conditions to do all of this, and (iii) challenging schemes at educational level.

5. MANUFUTURE CLUSTER IN SERBIA

European industries and research providers achieve high levels of productivity in delivering, transferring and exploiting research outputs through co-ordinated and collaborative partnership schemes, according to following [1-4]:

1. The *Manufuture* initiative advocates the promotion of change towards manufacturing paradigms with high industrial application and value-generation potential, with particular respect to: (i) life-cycle orientation of the manufacturing industries; (ii) implementing knowledge in products, processes, enterprises; and, (iii) development of product/process-oriented services.
2. The setting of favourable framework conditions depends upon a blend of basic, sector-specific and regionally focused application-oriented research in: (i) new business models; (ii) advanced industrial engineering; and (iii) emerging manufacturing science and technologies.
3. Because RTD processes are long and complex, involving several layers of society, an integrated set of actions is required at national level. In addition to pan-European efforts, national and regional authorities must participate, either independently or in a complementary manner, by
 - fostering the creation of clusters (sector, technological or other) at national and/or regional level, creating local research and transfer nodes/centres of excellence, and integrating SMEs into networks. These can then join and support the creation of clusters at EU level;
 - developing competence in high-end manufacturing technologies;
 - and establishing local centres of excellence in manufacturing, incorporating a *Manufuture* network of educational and research communities, to permit the involvement of university researchers, knowledge transfer to industry and the formation of spin-off companies.
4. At Educational level, the *Manufuture* recommendations are to:
 - build strong links between industry and academia, by establishing joint postgraduate degrees, postgraduate industrial training and industrial real-life-driven courses, as well as manufacturing departments and/or universities driven by industry;
 - develop schemes to help to create knowledge-SMEs that should foster a new industrial model in terms of the links with research centres and this group on enterprises. These SMEs will act as tool for linking academic/research centres with large manufacturing industries;

- integrate all manufacturing qualifications of EU Member States into European engineering curricula;
 - introduce new teaching principles and industry-based case studies that will promote concrete expertise in manufacturing;
 - re-organise educational programmes around new engineering disciplines with a high potential impact on EU manufacturing competitiveness. Such disciplines need to address all levels of the extended products, systems and embedded services of the manufacturing sector;
 - activate an appropriate *Manufuture* International School, leading to Masters and PhD qualification in industrial research, based on research institutes and leading manufacturing companies.
5. Finally, *Manufuture* Platform defines a consensus vision of the research and innovation needs for high-added-value manufacturing. This vision should be used by stakeholders to integrate and coordinate research in a 'European Research and Innovation Area for Manufacturing – EMIRA, within the European Research Area (ERA).

6. CONCLUSION

Manufacturing is, and will continue to be, a significant component of economic activity in Europe. In a turbulent and highly competitive global environment, it must continuously evolve and embrace transformational change in order to maintain and increase its economic impact. European manufacturing must drive to increase its ability to add high value, meant as hi-tech competitive advantage, by generating and exploiting new knowledge in manufacturing within a globalisation context. Europe must focus its efforts to transform itself by co-ordinating research in manufacturing and innovation – and by exploiting, through collaboration efforts, through pre-competitive collaboration, the strength and diversity of its businesses and regions [1- 4].

It also considers possibility to initiate *Manufuture* Cluster in Serbia, based on experience of such initiatives at European level, EU Members States levels – national and regional levels, taking in account specific conditions, requirements, limitations and needs of manufacturing industry in Serbia.

How to start?

Faculty of Mechanical Engineering in Belgrade has undertaken series of practical steps at international and national level to establish MP EU in Serbia, especially in the context of Project application for FP 7.

LITERATURE

- [1] *Various Authors from different organisations.*, Materials of limited circulations, from 2002 to 2006.
- [2] *MHLG*, *Manufuture* Platform – Strategic Research Agenda, EU Commission, Brussels, 2006.
- [3] *Majstorović, V., Šibalija, T.*, *MANUFUTURE IN SERBIA?*, Introduction paper, 32nd JUPITER Conference, Proceedings, ISBN 86-7083-557-6, pp. 18-24, Zlatibor, 2006.
- [4] *Majstorović, V., Šibalija, T.*, *EU / SERBIA MANUFUTURE EXCELLENCE*, Introduction paper, Proceedings of VI YUSQ International Congress, pp. 6 – 14, Belgrade, 2006.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

RAD PO POZIVU

PRODUKTIVNOST RADA I KAPITALA U OBRADNIM SISTEMIMA

B. Ivković¹⁾

Rezime: Jedan od najvažnijih pokazatelja kvaliteta rada industrijskih i obradnih sistema je višestruki pokazatelj produktivnosti rada i kapitala. Formiran je na osnovu produktivnosti shvaćene kao mere ekonomske efikasnosti pretvaranja inputa u outpute u industrijskim i drugim sistemima.

Ključne reči: produktivnost, rad, kapital, obradni sistem

LABOUR AND CAPITAL PRODUCTIVITY IN MACHINING SYSTEMS

Abstract: One of the important measure of industrial and other systems productivity is multifactor productivity of labour and capital. Multifactor productivity of labour and capital is defined as the measure of economic efficiency translate inputs to outputs in industrial and other systems

Key words: productivity, labour, capital, machining system

1. UVOD

Industrijski sistemi u metaloprerađivačkoj industriji ostvaruju svoje proizvode i proizvodne usluge na obradnim sistemima u kojima se raznim vrstama obrade osnovni materijali i polufabrikati oblikuju u elemente proizvoda ili realizuju proizvodne usluge drugim industrijskim sistemima.

Troškovi korišćenja kapitala (sredstava rada, fizičkog kapitala), deo međufaznih troškova koji se odnose na alate i sredstva za hlađenje i podmazivanje i deo troškova rada (bruto plate zaposlenih) u industrijskim sistemima, nastaju u njihovim obradnim sistemima raspoređenim po proizvodnim radionicama (pogonima, sektorima).

Produktivnost industrijskog sistema merena višestrukim pokazateljem produktivnosti, zavisi u velikoj meri od produktivnosti rada i kapitala koja se ostvaruje u njegovim obradnim sistemima odnosno od troškova korišćenja proizvodnih mašina.

U skladu sa shvatanjem produktivnosti kao mere ekonomske efikasnosti pretvaranja inputa u outpute industrijskih i drugih sistema formiraju se, prema

¹⁾ Prof. dr Branko Ivković, Jugoslovensko društvo za tribologiju, Kragujevac, Srbija,
ivkovic@kg.ac.yu

savremenoj metodologiji predloženoj od OECD-a grupa parcijalnih pokazatelja produktivnosti i grupa višestrukih pokazatelja produktivnosti. Višestruki pokazatelj produktivnosti koji govori o ostvarenoj dodatnoj vrednosti po jedinici utrošenog rada i kapitala smatra se veoma važnim za ocenu kvaliteta poslovanja industrijskih i drugih sistema. Višestruki pokazatelj produktivnosti obradnih sistema kao output iz sistema može da koristi broj obradjenih komada u jedinici vremena. U tom slučaju višestruki pokazatelj produktivnosti rada i kapitala izražava se brojem obrađenih komada po jedinici vrednosti utrošenog rada i kapitala (novčana jedinica). Moguće je koristiti i njegovu recipročna vrednost izraženu vrednošću utrošenog rada i kapitala po jednom obrađenom komadu.

1. VIŠESTRUKI POKAZATELJ PRODUKTIVNOSTI RADA I KAPITALA

Višestruki pokazatelji produktivnosti poslovanja industrijskih sistema P_{UPV} i P_{DVV} formiraju se korišćenjem dva izraza:

$$P_{DVV} = \frac{\text{Dodatna vrednost}}{\text{Rad} + \text{Kapital}} u \left[\frac{\text{Din.}DV}{\text{Din.}(BP + K)} \right]$$

$$P_{UPV} = \frac{\text{Ukupan prihod}}{\text{Rad} + \text{Kapital}} u \left[\frac{\text{Din.}UP}{\text{Din.}(BP + K)} \right]$$

Višestruki pokazatelji produktivnosti industriskog sistema P_{DVV} govori o veličini dodatne vrednosti ostvarene po jedinici utrošenog rada i kapitala u proizvodnim procesima. Ukupan prihod ostvaren u industrijskom sistemu u obračunskom periodu sveden na jedinicu utrošenog rada i kapitala je drugi višestruki pokazatelj produktivnosti P_{UPV} . Rad i kapital izražavaju se u dinarima (novčanim jedinicama). Utrošeni rad (ljudski kapital) izražen je u isplaćenim bruto platama zaposlenih angažovanih na realizaciji proizvodnje a kapital (fizički kapital) u vrednost angažovanog kapitala u posmatranom vremenskom periodu. U nacionalnom računu Srbije ova ulazna veličina naziva se "Potrošnja osnovnih fordova (Consumption of Fixed Capital).

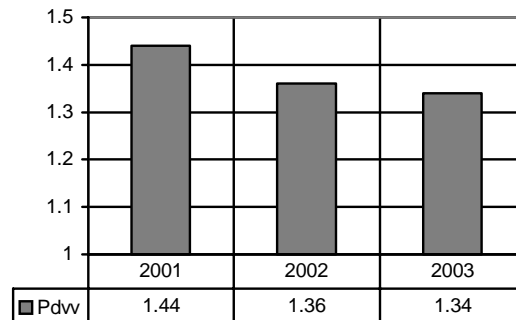
Višestruki pokazatelj produktivnosti industrijskih sistema P_{dvv} koji kao output iz sistema koristi dodanu vrednost smatra se pogodnim ne samo za utvrđivanje nivoa ostvarene produktivnosti u jednom industrijskom sistemu već i za porednje ostvarene produktivnosti više sistema različite prirode i strukture. Dodatna vrednos je osnova za formiranje bruto domaćeg proizvoda u pojedinim oblastima delatnosti i ekonomije zemlje u celini

Na slici 1 prikazan je višestruki pokazatelj ostvarene produktivnosti u privredi Srbije u periodu od 2001-2003. godine.

3. VIŠESTRUKI POKAZATELJ PRODUKTIVNOSTI RADA I KAPITALA U OBRADNIM SISTEMIMA

Izlazna veličina (output) iz obradnog sistema je broj elemenata proizvoda delimično ili potpuno obrađenih u obračunskom periodu, korišćenjem ulaznih veličina

(inputa) odnosno rada, kapitala (fizičkog kapitala, sredstava rada) i delova međufaznih troškova (alata i sredstava za hlađenje i podmazivanje).



Slika 1. Produktivnost rada i kapitala u Srbiji od 2001 - 2003.godine

Ako obradni sistem u svom programu rada vrši u toku obračunskog perioda obradu više elemenata proizvoda onda se njegova produktivnost izračunava za svaki element proizvoda posebno, po obrascu:

$$P_{OS} = \frac{N_{EPI}}{R + K} \left[\frac{Kom.}{Din.} \right], \text{ gde je}$$

N_{EPI} - broj komada obrađenih za jedan čas rada u obradnom sistemu.

K - vrednos utrošenog fizičkog kapitala (proizvodne mašine) za jedan čas rada u obradnom sistemu.

R - bruto vrednost utrošenog rada za jedan čas rada obradnog sistema

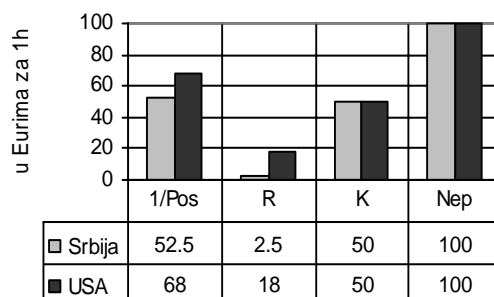
U analizama ostvarene produktivnosti obradnih sistema često se koriste podaci o recipročnoj vrednosti produktivnosti.

$$\frac{1}{P_{OS}} = \frac{R + K}{N_{EP}} \left[\frac{Din.}{Kom.} \right]$$

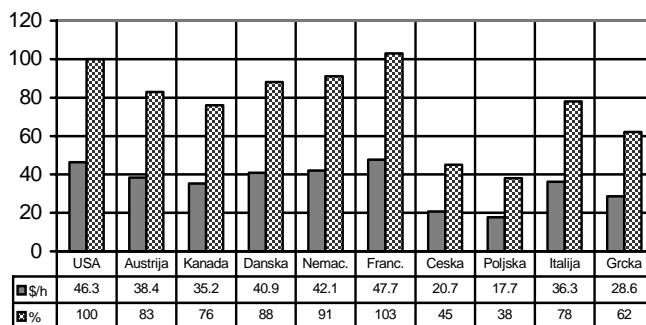
S obzirom da se produktivnost definiše kao mera ekonomske efikasnosti sistema to je prirodnije smatrati da je produktivnost obradnih sistema veća kada su troškovi obrade elemenata proizvoda manji. Za formiranje indeksa produktivnosti kojima se prate promene produktivnosti obradnih sistema koriste se obe vrste podataka o ostvarenoj produktivnosti. Kada se vrši praćenje promena produktivnosti u industrijskom sistemu koriste se često i podaci o recipročnoj vrednosti produktivnosti

Primer produktivnosti rada i kapitala prikazan na slici 2 odnosio se na obradni sitem velike vrednosti (oko 1.500.000 €) koji se sa jednakim stepenom iskorišćenja koristi u proizvodnji elemenata proizvoda u Srbiji i USA. Veća produktivnost rada i kapitala ostvarena je na njemu u Srbiji zbog velke razlike u bruto platama radnika. Na obadnim sitemima manje vrednosti (sa cenama mašina od 100.000 do 500.000 €) razlika u produktivnosti rada i kapitala koje se ostvaruju u Srbiji i USA je mnogo veća.

Produktivnos rada koja se ostvaruje u indusijskim sistemima, po pravilu je znatno veća od prosečne produktivnosti koja se ostvaruje u sektoru usluga u svim zemljama OECD-a. Prosečna produtivnost rada svih zaposlenih merena ostvarenom dodatnom vrednošću po jednom času rada u grupi zemalja OECD-a prikazana je na slici 3.



Slika 2. Primer produktivnosti rada i kapitala u obradnom sistemu u Srbiji I USA



Slika 3. Ostvarena prosečna produktivnost rada u grupi zemalja OECD-a (2004. godina)

U Srbiji je, međutim, drugačije. Ostvarena dodatna vrednost po jenom času rada u Srbiji je skoro dva puta veća od ostvarene dodatne vrednosti po jednom času rada u prerđivačkoj industriji odnosno u njenim industrijskim sistemima.

U 2003.godini, na primer dodatna vrednost po jenom času rada bila je:

- u Srbiji 4,59 \$US/h
- u industriji Srbije 2,82 \$US/h
- u USA 44,9 \$US/h
- u industriji USA 75,5 \$US/h

Visoka produktivost rada i kapitala u zemljama OECD-a posledice je visoke produktivnosti obradnih sistema svih vrsta u njihovim industrijskim sistemima

4. ZAKLJUČAK

Za merenje nivoa ostvarene produktivnosti obradnih sistema neophono je koristiti savremenu metodologiju koja se zasniva na merenju njihove ekonomske efikasnosti a ne na broju obrađenih komada u jedinici vremena

LITERATURA

1. OECD Manual, Measuring Productivity, OECD Publication, 2001, Paris, France
2. B. Ivković, Produktivnost u industriji, Međunarodna menadžerska akademija, 2006, Novi Sad.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

KONKURENTNOST I PRODUKTIVNOST DOMAĆIH INDUSTRIJSKIH SISTEMA

M. Kokić¹⁾

Rezime: Naše firme zaostaju 5 do 10 puta po ostvarenoj produktivnosti u odnosu na vodeće svetske firme. Sadašnji nivo produktivnosti kod nas je 2 do 5 puta niži u odnosu na naše rekordne rezultate u industriji koji su ostvareni 1989.godine. Pojedine industrijske grane su ranije značajno doprinosile rastu bruto društvenog proizvoda BDP a sada je taj uticaj znatno manji. Imajući u vidu rezerve kapaciteta i druge resurse, moguće je izvršiti reinženjering i uz druge neophodne aktivnosti podići konkurentnost radi šireg uključivanja na otvorenom svetskom tržištu. Ukoliko ne dođe do direktnog stranog investiranja i nalaženja renomiranih strateških partnera, neophodno je da država obezbedi povoljne uslove kreditiranja i nastavak subvencionisanja, jer to rade i najrazvijenije zemlje za svoje pojedine privredne delatnosti.

Ključne reči: konkurentnost, produktivnost, reinženjering.

COMPETITIVENESS AND PRODUCTIVITY OF DOMESTIC INDUSTRIAL SYSTEMS

Abstract: As for the achieved productivity, our companies are lagging 5 to 10 times behind the world leading companies. The present level of our productivity is 2 to 5 times less in relation to our record results attained in industry in 1989. In the past, some of our industrial branches have greatly contributed to the growth of Gross domestic product GDP, but such influence is how much reduced. Taking into account the reserves of capacities and other resources, it is possible to make reengineering and, along with other necessary activities, raise the competitiveness in order to make a broader access to the world open market. If direct foreign investments are not made and if renewed strategic partners are not found, our Government is obliged to provide favorable loan terms and proceed with subsidies, because the most developed countries are doing the same for some of their economic activities.

Key words: competitiveness, productivity, reengineering

1. UVOD

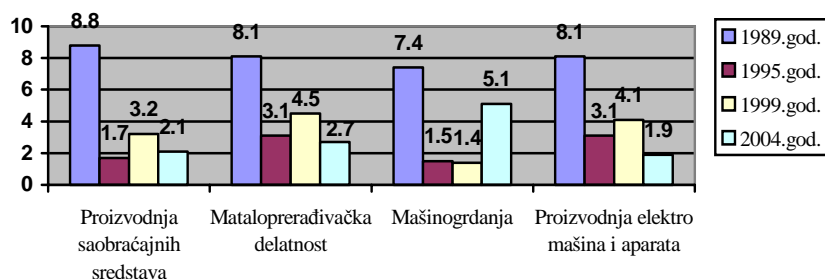
Pre raspada Ex YU, naša industrijska preduzeća su kapacitete koristila u dve smene a u specifičnim procesima čak i u sve tri smene. Većina domaćih firmi bila je izvozno orijentisana prema istočnom i zapadnom tržištu. Proizvodilo se po licencama, tada

¹⁾ Dr Miljko Kokić, Grupa Zastava vozila, Kragujevac, m.kokic@zastava.net

vodećih svetskih firmi a jedan broj preduzeća je osnovao Joint Venture i mešovite firme sa vodećim stranim proizvođačima. Bilo je i direktne kupovine i transvera tehnologije u naša preduzeća. Tako smo tada dobili za strateške partnere neke vodeće firme i priliku da po njihovim tehnologijama i licencama proizvodimo vrlo složene proizvode koji su bili plasirani na domaćem i razvijenom svetskom tržištu. Neke alijanse su bile u našu korist, jer smo od stranih partnera kupovali pojedine delove i komponente i sklapali finalne proizvode višeg stepena obrade, sa kojima smo partnerima plaćali njihove isporuke. Bez obzira na neka tadašnja značajna ograničenja u vezi korišćenja stranih licenci i tehnologija, odvijao se kod nas intenzivni tehničko-tehnološki razvoj, rast proizvodnje i zaposlenosti, uz povećanje konkurentnosti i produktivnosti. Povećana je razmena tehnologija, savremenih materijala, opreme, gotovih proizvoda i usluga, kao i informacija i znanja. Neke naše firme su na osnovu primljenih licenci, tehnologija i znanja, dodatnim sopstvenim usavršavanjima dostigle neke svetske lidere i postale lideri na pojedinim tržištima a neke firme su se zadržale na nivou primljenog znanja..

2. UČEŠĆE VODEĆIH INDUSTRIJSKIH GRANA U DOMAĆOJ INDUSTRIJI

Prema raspoloživim podacima, proizilazi da je rekordna industrijska proizvodnja ostvarena 1989.godine. Tada je industrija sa preko 40% doprinosila ostvarenom BDP. Nekoliko industrijskih grana je imalo ključni doprinos, kako se to zapaža sa slike 1, gde su vrednosti iskazane u procentima od ukupne industrije.

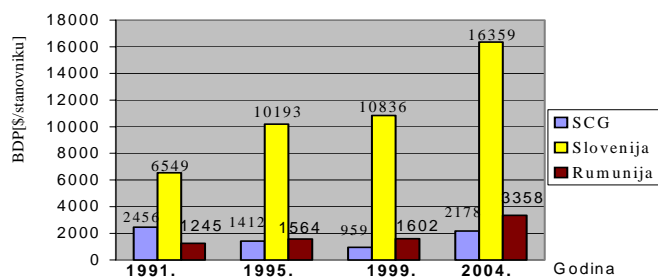


Slika 1. Učešće pojedinih industrijskih grana u industrijskoj proizvodnji

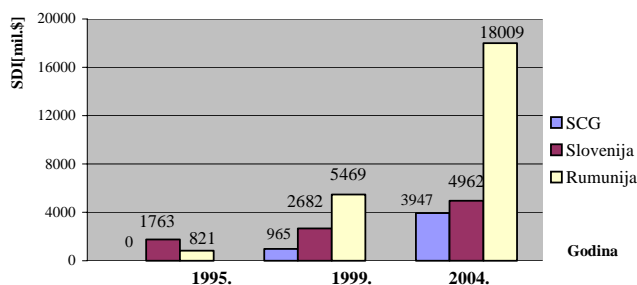
Sa slike se uočava da su četiri industrijske grane zbirno činile trećinu naše ukupne industrijske proizvodnje u rekordnoj 1989.godini, dok je njihovo učešće u 2004. godini palo na ispod 12%. Pad ukupne industrijske proizvodnje i pojedinih vodećih industrijskih grana, direktno se odrazio na pad BDP po glavi stanovnika, kako je to ilustrativno prikazano na slici 2 za SCG i, radi poređenja, za izabrane države iz ovog regiona.

Može se zaključiti da je BDP po glavi stanovnika u SCG u 1991.godini bio oko dva puta viši u odnosu na Rumuniju a oko 2,7 puta niži nego u Sloveniji. Zbog embarga koji je uveden prema SCG maja 1992.godine i bombardovanja 1999.godine, naša pozicija se izuzetno pogoršala pa smo u 2004.godini zaostajali za Slovenijom 7,5 puta a za Rumunijom 1,5 puta.

Naša zemlja je blokirana embargom i dodatno uništavana bombardovanjem a istovremeno su druge zemlje iz okruženja obilato pomagane preko stranih direktnih investicija – SDI, koje smo mi počeli da dobijamo tek od 1997.godine i to u skromnom iznosu. Poređenja radi, na slici 3 su prikazani iznosi SDI za SCG i već prikazane zemlje za izabrane periode.



Slika 2. Kretanje BDP po glavi stanovnika za izabrane zemlje



Slika 3. Iznos SDI za pojedine zemlje

Sa slike 3 se može lako zapaziti da smo 1995.godine bili u embargu i nismo dobijali SDI, uz napomenu da su iznosi 1999, 2000. i 2001. godine bili oko milijardu USD, što je oko 5 puta manje od iznosa koji je dobijala Rumunija a manje i od mnogo razvijenije i maloljudnije Slovenije.

I pored ovakvog negativnog i štetnog odnosa razvijenih zemalja prema SCG pre i posle društvenih promena 2001. godine, naši liberalni ekonomisti i pojedini “poslušni” političari su počeli sa otvaranjem tržišta na štetu već iscrpljenih domaćih industrijskih preduzeća. Menadžment većine industrijskih preduzeća je pokušavao da održi svoje firme uz izuzetnu patnju zaposlenih zbog plata (teško je reći zarada) koje su tokom 1993. godine pale na nivo od nekoliko DEM mesečno, uz eliminisanje većine fiksnih troškova kroz rad i boravak u halama i kancelarijama zimi bez grejanja, bez toplog obroka, bez ličnih zaštitnih sredstava, bez ulaganja u tekuće održavanje mašina, bez kupovine novih mašina, licenci i tehnologija, kao i bez sredstava za razvoj proizvoda i za obrtna sredstva, čak i kada je bio izvestan plasman na domaćem ili inostranom tržištu itd.

Nebriga države se ogleda i u težnji da se društvena preduzeća prodaju bez obaveze da poštuju ranije sklopljene ugovore i bez obzira na njihovu dalju sudbinu, i još čudnije, bez obzira na uticaj pojedinih privatizovanih preduzeća na ostale proizvođače u složenom lancu finalnih proizvoda, gde su većina isporučilaca monopolisti i jedini za tu vrstu proizvoda. Neka privatizovana preduzeća koja su izgradili i osnovali finalisti, sada jednostrano najavljuju prekid isporuka a jedini su proizvođači za konkretne proizvode koje je moguće ponovo osvojiti kod drugog domaćeg ili svetskog isporučioaca uz velike investicije i uz prekid proizvodnje kod finaliste od nekoliko meseci pa do godinu dana. Kada se tome doda i težnja da se cene tih unikatnih delova posle privatizacije enormno podignu i zadrži loš kvalitet, tada je zatvoren scenario za eliminisanje konkurencije iz domaće proizvodnje i širom otvore vrata za strane uspešne i već prebogat svetske proizvođače na globalnom nivou.

3. PRODUKTIVNOST DOMAĆIH PROIZVOĐAČA

Produktivnost – P se često sreće kao značajan pojam kako u svetu tako i kod nas. Mnogi imaju svoju viziju šta je to produktivnost i olako komentarišu nivo ostvarene produktivnosti u pojedinim oblastima. Ipak najčešće se to odnosi na proizvodnju automobila, gde su gotovo svi građani upućeni na analize i zaključke u toj popularnoj industrijskoj grani.

Autoindustrija to zaslužuje ne samo zbog brojnosti žitelja planete koji poseduju automobil, već i zbog činjenice da je u ovoj oblasti zaposleno oko 10% radnika u odnosu na broj zaposlenih u celoj industriji. U Srbiji je prema procenama bilo direktno angažovano oko 8% zaposlenih za potrebe autoindustrije. Koliko je to važno za BDP svake zemlje, pokazuje i činjenica da se za takvu industrijsku granu bore i one zemlje koje ranije nisu imale autoindustriju, kao što je bio slučaj sa Mađarskom za putnička vozila ili Slovačku za sve vrste vozila. Kod nas se nabeđeni analitičari zalažu za hitno gašenje srpske autoindustrije, jer navodno ne uspeva da ostvari produktivnost na svetskom nivou u količini jedan automobil svakog dana od strane samo jednog radnika, ili ukupno oko 250 automobila po zaposlenom godišnje.

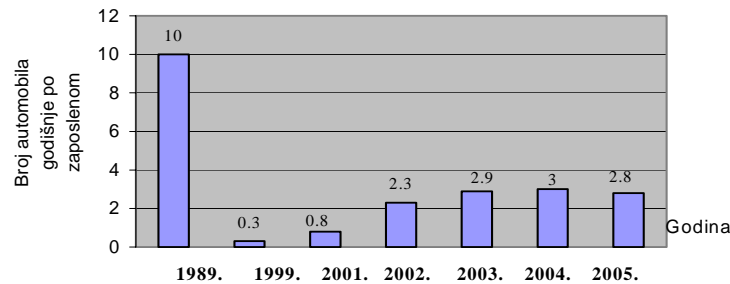
Koliko je to besmisleno, pokazuju egzaktni podaci da vodeći svetski proizvođači koji automobil pored montaže proizvode i po dubini ciklusa proizvodnje izradom školjki, motora, menjača i ostalih delova i sklopova, imaju znatno manju količinu proizvedenih vozila po zaposlenom na godišnjem nivou. Taj se broj, u zavisnosti od stepena vertikalne integracije unazad i unapred, kreće od 10 do 20 za veliki sadržaj sopstvene proizvodnje i integracije a za slučaj izrade samo školjke i montaže, taj se broj penje na 30 do 70. Kod fabrika koje samo sklapaju automobile, posebno ako su moduli već skloppljeni van fabrike, tada je moguće montirati i preko 100 automobila po zaposlenom godišnje, što je slučaj sa montažnim pogonima japanskih i pojedinih svetskih proizvođača.

Domaći proizvođači kamiona (FAP i Zastava kamioni) pored montaže, sklapaju i proizvode elemente ramova šasije, pogonske mostove, krute osovine, elemente oslanjanja, kočenja i upravljanja, izrađuju otpreske za kabine i sklapaju kompletnu kabinu a jedino uvoze gotove motore i neke tipove menjača i pojedine elemente opreme vozila.

Još je veći stepen osvojenosti domaćih automobila, jer se u Srbiji proizvode motori, mada su ekološki prevaziđeni, a proizvode se i menjači. Ovakve domaće proizvođače vozila treba upoređivati sa stranim proizvođačima koji imaju sličan stepen integracije i sopstvene proizvodnje vozila. Tako je čuveni italijanski IVECO proizvodio 1991.godine 5 kamiona po zaposlenom godišnje a Zastava kamioni po istoj licenci, ali na opremi nižeg nivoa automatizacije, 3 kamiona po zaposlenom godišnje. Drugi primer je, kako je to prikazano na slici 4, za fabriku Zastava automobili, koja je 1989.godine proizvodila 10 automobila po zaposlenom godišnje a preko 40 automobila kada se analizira samo proces montaže automobila.

Sa slike 4 se zapaža da je za vreme bombardovanja Zastave 1999.godine ostvareno samo 0,3 automobila po zaposlenom, što je preko 30 puta niže nego rekordne 1989.godine. Posle 2001. godine došlo je do značajnijeg rasta, jednim delom i zbog velikog otpuštanja radnika.

Danas se proizvodi pola kamiona po zaposlenom godišnje i oko 3 automobila po zaposlenom godišnje, što je 6 odnosno 3 puta manje nego rekordne 1989.godine, uz plate koje su niže oko 10 puta u odnosu na plate u vodećim svetskim fabrikama vozila. Zato broj vozila po zaposlenom ne može da bude mera produktivnosti, jer nije moguće svodjenje na zajedničku osnovu, pa se koriste vrednosni pokazatelji produktivnosti, koji se najčešće iskazuju preko dodatne vrednosti – DV po zaposlenom.



Slika 4. Broj automobila godišnje po zaposlenom u fabrici Zastava Automobili

Dodatna vrednost se izračunava kao razlika između ukupnog prihoda i troškova materijala, delova, energije i ostalih materijalnih troškova. Produktivnost se može izračunati kao odnos output – izlaz i input – ulaz u sistem, po obrascu:

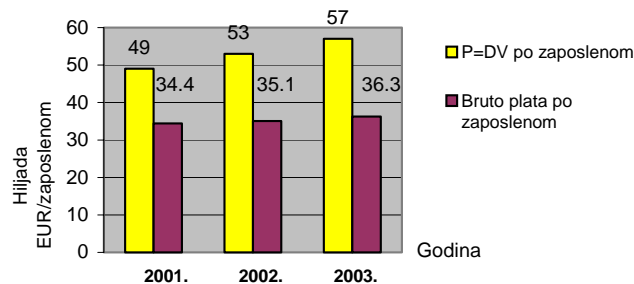
$$P = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{\text{DV}}{\text{brojzaposlenih}} [\text{EUR/zaposlenom}]$$

Rast produktivnosti može da se ostvari u sledeća četiri slučaja i to kroz:

- rast output-a uz pad ili stagnaciju input-a,
- zadržavanje nivoa output-a uz smanjenje input-a,
- brži rast output-a od rasta input-a,
- manji pad output-a od pada input-a.

Najpovoljniji slučaj je prvi, posebno ako raste output a pada input. Četvrti slučaj može da iskaže rast produktivnosti ali po cenu otpuštanja radnika.

Ilustracije radi, na slici 5, prikazana je ostvarena produktivnost – P u francuskoj autoindustriji u vrednosnom obliku ostvarene dodatne vrednosti DV po zaposlenom. Takođe su dati podaci o visini plata po zaposlenom za 3 analizirane godine.



Slika 5. Produktivnost i plate zaposlenih u francuskoj autoindustriji

Sa slike 5 se može izračunati da je učešće plata u dodatnoj vrednosti iznosilo 70% u 2001.godini a 64% u 2003.godini. Produktivnost na nivou francuske autoindustrije je rasla u analiziranom periodu, mada ostvarena produktivnost u nominalnom iznosu nije na nivou produktivnosti američke autoindustrije. Prikazane dodatne vrednosti za francusku autoindustriju su nešto niže i od produktivnosti za nemačku autoindustriju, koja je 2002.godine ostvarila 62.900 EUR dodatne vrednosti po zaposlenom.

Domaća fabrika automobila je uz delimičnu pomoć države ukalkulisala oko 12.000 EUR dodatne vrednosti po zaposlenom u 2005.godini, što je blizu 5 puta ispod

evropske produktivnosti. Naša produktivnost je oko 2 puta niža od ostvarenog proseka za 5 novih članica EU koje proizvode automobile (Češka, Slovačka, Poljska, Mađarska i Slovenija).

Naše zaostajanje čak i u odnosu na ovih 5 zemalja je posledica više pojedinačnih ili uzajamnih faktora a neki od njih su:

- nisko korišćenje kapaciteta i mali obim proizvodnje i prodaje,
- izrazito niske cene domaćih automobila a skupi delovi iz kooperacije,
- višak stručnih režijskih radnika i službenika koji su neophodni i za trenutno mali obim proizvodnje itd.

To znači da se produktivnost našeg proizvođača automobila može povećati povećanjem obima proizvodnje i prodaje, uz adekvatnu marketinšku kampanju za domaće i inostrano tržište.

To važi i za proizvođače u oblasti metaloprerade, proizvodnji mašina, uređaja i aparata koji su takođe izgubili razvojni korak analogno kao što se desilo kod proizvođača saobraćajnih sredstava, odnosno kod domaće autoindustrije. Velike su rezerve kapaciteta kod ovih industrijskih grana i treba ih osposobiti za tržišnu utakmicu. Zabluda je da sve ove resurse treba uništiti i šansu tražiti u poljoprivrednoj proizvodnji, iz razloga što i tu imamo znatno nižu produktivnost u odnosu na pojedine zemlje, jer nam je, primera radi, produktivnost merena preko broja stanovnika koje snabdeva jedan poljoprivredni proizvođač niža blizu 8 puta u odnosu na stanje u Nemačkoj i oko 6 puta u odnosu na Francusku. Mnoge čak i najrazvijenije zemlje, kao što su Francuska i SAD, subvencioniraju svoju poljoprivrednu proizvodnju, bez obzira što imaju visoku produktivnost. Takve mere mora da sprovodi i naša država u onim granama koje imaju neiskorišćene resurse a imaju značajan uticaj na rast BDP i posebno na rast zaposlenosti, što je jedan od najvažnijih prioriteta kod nas.

4. ZAKLJUČAK

Neosporna je činjenica da većina naših firmi nije konkurentna na otvorenom svetskom tržištu a gubi se pozicija i na domaćem tržištu, u značajnom stepenu zbog neoprezne liberalizacije i ne postojanja mera vancarinske zaštite i antidamping mera kod nas. Produktivnost u pojedinim industrijskim granama je danas čak i nekoliko puta niža od rekordnih sopstvenih ostvarenja iz 1989.godine, bez obzira što je produktivnost na nivou obradnih sistema kod nas često viša nego kod inostranih obradnih sistema.

U poređenju sa vodećim svetskim proizvođačima, u sadašnjem trenutku zaostajemo još više. Međutim, uz reinženjering i rast produktivnosti na nivou industrijskih sistema i ukupne privrede, uz podizanje kvaliteta po međunarodnim standardima i kroz nalaženje strateških renomiranih svetskih partnera, moguće je u relativno kratkom vremenu naći značajno mesto u svetskoj podeli rada.

5. LITERATURA

1. Službeni glasnik Republike Srbije, godina LXII, broj 22, 16.mart 2006, Beograd
2. M. Milisavljević, "Savremeni strategijski marketing", IEN PRESS, Beograd, 2002.
3. B. Ivković, "Osnove CPR sistema za merenje, analizu i praćenje produktivnosti", izdaje Mašinski fakultet Kragujevac, 1987.godine
4. M. Kokić, "Produktivnost industrijskih sistema", Monografija, Jugoslovensko društvo za tribologiju, Kragujevac, 1998.god.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

INTEGRACIJA INFORMACIONIH RESURSA U PROIZVODNIM PREDUZEĆIMA KORIŠĆENJEM XML

M. Stefanović ¹⁾, M. Erić ²⁾, S. Mitrović ³⁾

Rezime: Veliki broj proizvodnih, ali i drugih sistema sreće se sa problemom integracije svojih informacionih resursa. Razlozi su najčešće zastareli nasleđeni informacioni sistemi, koji ne mogu da odgovore zahtevima modernog poslovanja kao i heterogene razvojne strukture. Potreba integracije različitih informacionih resursa postaje imperativ uspešnog poslovanja. Ovaj rad prikazuje mogućenosti integracije različitih informacionih resursa korišćenjem XML-a. U radu je takođe prikazan originalno razvijeni softver za integraciju informacionih resursa nasleđenih sistema.

Ključne reči: informacioni resursi, dokumentacija, XML

INTEGRATION OF INFORMATION RESOURCES IN PRODUCTION COMPANIES USING XML

Abstract: Large number of production, as well as other business systems, face with problems of integration of information resources. The main problems are old, legacy systems, which could not response to demands of modern business environment. Other problem is heterogeneous development environment. So one of the very important tacks in business organization is integration of information resources. This paper presents integration possibilities of different information resources using XML. In this paper we presented originally developed software module for integration of legacy systems.

Key words: information resources, documentation, XML

1. UVOD

Veliki broj preduzeća, poslovnih i proizvodnih, pokušava da ostvari svoju kompetitivnu prednost primenom masivnih i sofisticiranih informacionih sistema. U jednom periodu razvoja preduzeća su uglavnom bila orijentisana na kupovinu ili projektovanje, sopstvenih, novih, informacionih sistema. Sadašnji trenutak, a naročito vreme koje dolazi imaće sve značajniji fokus na reinženjeringu, popravci i dogradnji postojećih informacionih sistema [1, 2]. Sve ono što danas predstavlja nov informacioni sistem, sutra će predstavljati nasleđeni informacioni sistem. Pošto je u pojediniim slučajevima vrednost nasleđenih podataka, informacija i dokumenata velika, potreba za

¹⁾ Doc. dr Miladin Stefanović, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, miladin@kg.ac.yu

²⁾ Mr Milan Erić, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, milan@kg.ac.yu

³⁾ Mr Slobodan Mitrović, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, boban@kg.ac.yu

integracijom nasleđenih resursa postaje sve izraženija. Sa druge strane preduzeće u svojoj poslovnoj komunikaciji razmenjuje dokumentaciju sa svojim okruženjem. Često je ta dokumentacija kreirana u veoma heterogenim okruženjima, tako da se i ovde javlja problem integracije raznorodnih i heterogenih informacionih resursa. Razvoj novih poslovnih paradigmi, tehnologija i načina poslovanja uslovljava sve veći broj preduzeća da usvajaju koncepte elektronskog poslovanja, integracije lanaca snabdevanja pa čak i virtualnih organizacija. Preduzeća su primorana da svoje nasledene informacione resurse unaprede i omoguće sopstveno poslovanje u Interent okruženju.

Teme ovog rada biće prezentovanje mogućnosti XML-a za integraciju nasleđenih i heterogenih informacionih resursa. U okviru rada biće prezentovan originalni softverski gejtvej koji ima zadatak da integriše raznovrsne informacione resurse preduzeća i da omogući konverziju proizvodne i druge dokumentacije u XML format.

2. INTEGRACIONA ULOGA XML-a

Kada je reč o nasleđenim sistemima XML ima bitnu integracionu ulogu. Evidentna je potreba da se integrišu različiti izvori informacija i baza podataka koje se nalaze u različitim formatima. Takođe je od fundamentalnog značaja i potreba da se podaci i informacije razmenjuju u neutralnom formatu. XML ima mogućnost da obezbedi unificiran pristup bazama podataka i da isporučuje podatke u neutralnoj formi. Takođe postoji veiki broj različitih baza podataka: relacione, objektno orijentisane DB, XML (native) DB.

Sve ovo su razlozi zbog kojih se integracija kroz XML sve više nameće kao rešenje koje pruža značajne prednosti po pitanju optimizacije modifikacija, validacije i sl. Sve ovo čini pitanje konverzije modela sve značajnijim. Postoji veliki broj algoritama konverzije iz XML - Relacioni (*STORED*) [3] iz relacionog u XML [4] (*XML Extender*, *XML-DBMS* [5], *SilkRoute*, *XPERANTO*), postoje takođe, i algoritmi za prevođenje strukture i semantike kao što su: CPI, NeT, CoT. Najjednostavniji ali vrlo efikasn je NeT [6] metod *FT (Flat Transaction)* koji prevodi 1) tabele u relacionoj šemi u elemente XML šeme i 2) kolone u relacionoj šemi u attribute XML šeme (slike 1 i 2). Možemo uočiti da postoji sličnost između XML dokumenta, objekata i tabela slika 1, kao i sličnost između dtd, klase i šeme tabele slika 2

XML <A> bbb <C>ccc</C> <D>ddd</D> 	Objekat object A { B = "bbb" C = "ccc" D = "ddd" }	Tabela Table A B C D --- --- --- bbb ccc ddd
XML dokument	Objekti	Tabele

Slika 1. XML, objekti, tabele

XML <!ELEMENT A (B, C, D)>	class A { String B; String C; String D;}	CREATE TABLE A { B VARCHAR(10) NOT NULL, C VARCHAR(10) NOT NULL, D VARCHAR(10) NOT NULL}
DTD	Klasa	šema

Slika 2. DTD-Klasa-Relaciono šema

U imlementaciji softverskog rešenja korišćen je NeT model konverzije.

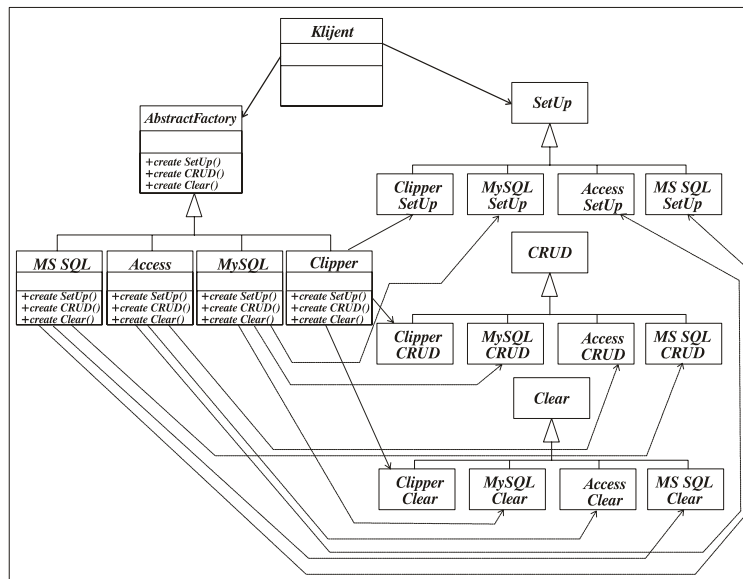
3. GEJTVEJ ZA INTEGRACIJU NASLEĐENIH SISTEMA

Gejtvej za integraciju ima zadatak da omogući pristup nasleđenim podacima bez obzira u kojoj se DB oni nalazili. Ovaj softver ima zadatak da omogući administraciju nasleđenih baza podataka i da omogući nesmetano korišćenje tih podataka u novim Internet aplikacijama. Ovaj gejtvej treba da obezbedi ostvarivanje dva osnovna zadatka i to: administriranje pomenitih baza podataka i integrisanje potrebnih baza podataka korišćenjem funkcijiskih interfejsa da bi se ostvarila podrška novim aplikacijama. Sam gejtvej je realizovan kao troslojna aplikacija, a primenjeni su Java, php razvojni alati, kao i MySQL, Xindance baze podataka.

Kada su u pitanju tipovi baza podataka sa kojima je moguće ostvariti vezu, u ovom obimu aplikacije pokriveni se dbf formati, mSQL, IBM DB2 (kao i u ostalom svi pristupi bazama preko ODBC), tekst i pdf formati.

Osnovni problem koji je ovde trebalo rešiti je kvalitetan pristup i manipulacija željenom bazom podataka, pošto se pristupni setovi naredbi za manipulaciju bazom i setovi naredbi za diskonekciju sa bazom razlikuju od slučaja do slučaja.

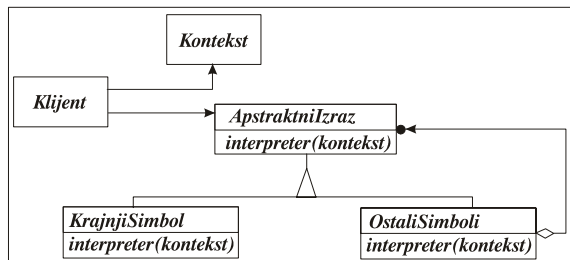
Problem je rešen korišćenjem modifikovane primene obrasca *Abstract Factory* iz kataloga dizajn obrasca za izgradnju (*design pattern for building*) koji u ovom slučaju služi za integraciju odgovarajuće baze podataka slika 3. Znači, definisan je *AbstractFactory* koji po potrebi poziva određeni *dbFactory* i koji uz dodatnu aplikaciju čini *Data Access* blok.



Slika 3 : UML dijagram modifikovane implementirane Abstract Factory pattern za WS

Osnovna ideja je da klijent poziva apstraktni *AbstractFactory* kome prosleđuje parametre u zavisnosti od toga šta krajnji klijent hoće da radi, bilo da je to postavljanje konekcije ka bazi, izvršavanje nekih akcija ili prekidanje konekcije, *AbstractFactory* prema konkretnom zahtevu poziva odgovarajući, konkretni *Factory*. Na primer, ukoliko klijent zahteva konekciju ka MySQL bazi on šalje zahtev za konekciju *Abstract Factory* poziva *MySQLFactory* koji poziva odgovarajući *MySQL SetUp*. Prilikom daljeg rada

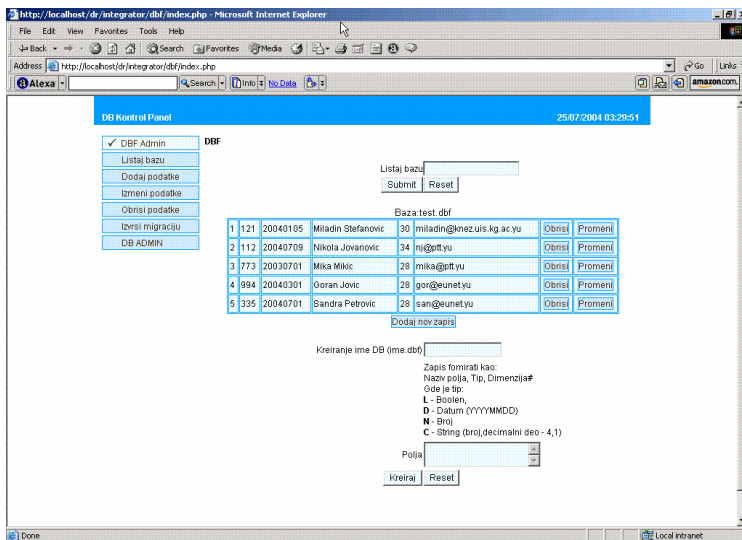
kada bi korisnik, recimo, zahtevao diskonektovanje, automatski bi se pozivao *MySQLClear*. Ispod sloja ka pristupu bazi nalazi se fasada koja služi za ponovnu proveru poslaih podataka, pre upisa u bazu. Ovo je izvedeno u cilju povećanja bezbednosti da bi se podaci koji, se recimo dobijaju preko Interneta, i u trenutku primanja provere, ponovo proverili pre upisa u bazu. Ovo se radi da bi se sprečila eventualna zloupotreba koja može da nastane usled slabosti starog sistema ili nekih drugih nezavisnih aplikacija ili sistema.



Slika 4: Parser kao deo integratora za txt fajlove

Ideja definisanja i primene obrazaca za reinženjering omogućuje bolju dokumentovanost sistema, kao i dizajn i reinženjering sistema koja je zasnovana na najboljim iskustvima prakse.

Od konkretnih *Factory* ovde su razvijeni oni koji podržavaju Clipper datoteke, MySQL, Access i MS SQL DB. Sam obrazac koji je korišćen predstavlja obrazac objektno orijentisanog dizajna koji je za potrebe ovog rešenja doživio modifikaciju implementacije za probleme reinženjeringa kroz integraciju nasleđenih baza podataka. Ovaj obrazac se može koristiti i za integraciju drugih podataka kao što su pdf, tekst fajlovi, pa čak i XML. Na slici 4 dat je prikaz parsera za txt fajlove. U svakom slučaju pristup bazi se ostvaruje preko jedinstvenog bloka za pristup bazi.



Slika 5: Sekcija za integraciju DBF-a

Sistem omogućava manipulaciju DBF nasleđenih datoteka (slika 5). Pri ovome je moguće, koristeći ovaj modul, da se izvrše sve operacije nad dbf datotekom. Omogućeno je kreiranje datoteke, dodavanje novih zapisa, promena sadržaja, brisanje sadržaja, takođe postoji mogućnost da se izvrši migracija podataka na neku drugu platformu. Deo DBF je testiran sa dbf fajlom sadrži preko 15 000 slogova opisa proizvoda i ima 37 kolona, što ukupno čini 5.5MB podataka.

U okviru modula za integraciju nalazi se sekcija koja omogućava da se ostvari prilaz DB preko ODBC konekcije. Ovde je, takođe, omogućen pun administratorski pristup, bazi ka kojoj je napravljena ODBC konekcija. U ovom slučaju drajver je nazvan MSAccessDriver. Takođe je razvijen modul koji omogućuje konekciju na SQL Server 2000. Ovo je urađeno više da bi se prikazala mogućnost integracije različitih sistema, a manje kao potreba da se SQL Server 2000 tretira kao nasleđeni sistem. SQL Server je robustan sistem koji ima veliki broj sopstvenih alata i prirodnije mu je Microsoft web okruženje i pripadajuća razvojna okruženja i serveri.

```
<?xml version="1.0" encoding="iso-8859-1" ?>
- <Nalog_za_Nabavku>
  <broj_naloga>1234</broj_naloga>
  <id_OC>1</id_OC>
  <sifra_perioda>1</sifra_perioda>
  <JMBG_izrade>2907971720010</JMBG_izrade>
  <datum_kontrole>29.06.2004.</datum_kontrole>
  <JMBG_kontrole>1904978720018</JMBG_kontrole>
  <status_naloga>1</status_naloga>
  <datum_prijema>09.07.2004.</datum_prijema>
  <datum_realizacije>29.07.2004.</datum_realizacije>
- <Pozicija broj="1">
  <id_perioda>1</id_perioda>
  <kb>3432</kb>
  <standard>JUS</standard>
  <jm>komad</jm>
  <din_kol_I>45</din_kol_I>
  <din_kol_II>56</din_kol_II>
  <din_kol_III>78</din_kol_III>
  <din_kol_IV>23</din_kol_IV>
  <vrsta_naloga>1</vrsta_naloga>
  </Pozicija>
- <Pozicija broj="2">
  <id_perioda>2</id_perioda>
  <klasifikacioni_broj>5467</klasifikacioni_broj>
  <standard>JUS</standard>
  <jm>kom</jm>
  <din_kol_I>45</din_kol_I>
  <din_kol_II>78</din_kol_II>
  <din_kol_III>223</din_kol_III>
  <din_kol_IV>11</din_kol_IV>
  <vrsta_naloga>1</vrsta_naloga>
  </Pozicija>
</Nalog_za_Nabavku>
```

Slika 6 : Konverzija tabele ili upita u XML dokument

Za svaki tip DB iz ovog modula postoji mogućnost prevođenja podataka iz tabela u XML dokument. Ukoliko se izbere opcija DB 2 XML i selektuje potrebna baza/tabela izvršiće se potrebna operacija uz korišćenje NeT metoda FT. U sledećem koraku, sem sistema za integraciju odnosno pristupa podacima, moguće je kreirati XML dokument na bazi tabele ili upita iz nasleđenog sistema. Na ovaj način izvršena je konverzija tabela *Nalog za Proizvodnju* i *Pozicija naloga* iz relacione šeme u XML šemu (slika 6). Po dobijanja XML fajla ne postoji problem dobijanja DTD odnosno importovanja ili eksportovanja sadržaja u XML DB. Na primeru xml-xindice-1.0, jednostavnom naredbom: `xindiceadmin import -c /db -f /path/to/data/root` izvršio bi importovanje gde bi se svi direktorijumi koji se nalaze ispod `/path/to/data` iskoristili za kreiranje kolekcije kao i svi XML dokumenti u hijerarhiji koji bi se importovali u DB.

Takođe bi se sadržaj mogao eksportovati `xindiceadmin export -c /db/root -f /path/to/data`. Inače Xindance koristi *Xpath*, kao jezik upita, *XML:DB Update* kao jezik updejtovnaja, *XML:DB API* za Java razvoj i kao moguću vezu ka drugim bazama *XML-RPC plugin*. Na ovaj način moguće je ostvariuti koncepta XML kao srednjeg sloja. Korišćenjem PHP, XSD, kao i korišćenjem XSL za konverziju realizovan je ova konverzija.

Bitan deo modula za integraciju je mysql baza u kojoj se nalaze relevantni podaci za svaku od baza koje su ili u statusu nasleđenog sistema koji se integriše u novu aplikaciju ili su korišćene kao deo novo kreirane aplikacije.

Ova funkcionalnost je neophodna da bi po pozivanju odgovarajuće DB ili tabele sistem mogao da detektuju gde se nalaze potrebni podaci. Pri daljem razvoju aplikacije korisnik može da pozove odgovarajuću funkciju čiji su argumenti naziv baze i SQL upit, a da aplikacija uz pomoć dela nazvanog "integrator" odredi koja je baza pozvana, koji su parametri potrebni za povezivanje i da pozove odgovarajuće fajlove. Moguće je migrirati delove tabele iz jedne u drugu bazu. Baza u kojoj se nalaze podaci o postojećim bazama podataka je takozvana baza srednjeg sloja koja je u ovom slučaju data kao mysql ili xindice. Za više detalja o integracionom gejtvju videti [7].

4. ZAKLJUČAK

Problemi integracije različitih, heterogenih i nasleđenih informacionih resursa dobija sve veći značaj. Proizvodni sistemi obično imaju raznorodnu dokumentaciju, sa jedne strane, dok sa druge strane realno ne predstavljaju lidere u implementaciji sofisticiranih informacionih sistema.

U okviru ovog rada prezentovane su neke mogućnosti XML za integraciju informacionih resursa. Prezentovan je gejtvj za integraciju nasleđenih sistema koji je razvijen u CIM centru Mašinskog fakuleta u Kragujevcu. Sistem je koncipiran i projektovanjem koristeći modifikaciju obrasca *Abstract Factory*.

Sam sistem omogućava integraciju različitih nasleđenih sistema. Sem ovoga sistem omogućava konverziju postojećih baza podataka, tabela i upita korišćenjem NeT modela konverzije. Ovaj gejtvj omogućava da se nasleđeni informacioni resursi na lak način prebace u neutralnu formu pogodnu za razmenu i da se iskoriste prednosti Internet okruženja.

Predstavljni gejtvj predstavlja zaokruženo i funkcionalno rešenje, mada se može i dalje nadograđivati, pre svega pristupnim modulima za druge nasleđene sistem i uvođenjem drugih modela konverzije.

LITERATURA

1. Umar, A., "Application (Re)Engineering Building Web Based Applications and Dealing with Legacies", Prentice Hall, 1997.
2. Arsovski, Z., "Informacioni sistemi", CIM centar, Kragujevac, 2002.
3. Bourret R., "Mapping W3C Schemas to Object Schemas to Relational Schemas", 2001, <http://www.rpbourret.com/xml/SchemaMap.htm>
4. Dongwon, L., Murali M., Frank C., Wesly W.C., "Schema Conversation Methods Between XML and Relational Models", Proceedings from th 18th International Conference on Data Engineering (ICDE 02), IEEE, 2002.
5. Dayen I., "Storing XML in Relational Databases", June 20, 2001, <http://www.xml.com/pub/a/2001/06/20/databases.html?page=1>
6. Dongwon, L., Murali M., Frank C., Wesly W.C., "NeT & CoT: Inffering XML Schemas from Related World", Proceedings from th 18th International Conference on Data Engineering (ICDE 02), IEEE, 2002.
7. Stefanović M., "Reinženjering informacionih sistema u Internet okruženju", doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2005.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

GLOBALNI TOKOVI U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI

D. Krstić¹⁾

Rezime: Neminovni i nemilosrdni globalni tokovi automobilske industrije preusmeravaju ljudske resurse u sferu decentralizovanih malih preduzeća. Ekonomsko finansijski pokazatelji permanentne stagnacije rentabilnosti i likvidnosti velikih industrijskih subjekata, koji karakterišu automobilsku industriju, ne mogu opstati po ekonomskom receptu iz prošlosti, po kome se razvoj preduzeća poistovećivao sa njegovim rastom i povećanjem broja radnika. Danas od preduzeća sa velikim brojem radnika, od 10-20 hiljada zaposlenih i više, nije realno očekivati održivost profitabilnosti, već jedino njihovu tešku borbu za opstankom.

Ključne reči: globalizacija, automobilska industrija, dekomponovanje, poslovna strategija, udaljeni partneri, komunikacijska tehnologija.

GLOBALIZATION EXPENSES IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

Abstract: Inevitable and merciless global expenses of automotive industry are rerouting human resources to the sphere of decentralized small enterprises. Economic and financial indicators of profitability and liquidity permanent stagnation of great industrial subjects, describing automotive industry, cannot survive according to economic prescription from the past, according to which the company development used to identify with its growth and increase of workers. Nowadays, it is not realistic to expect profitability sustainability from companies with large number of workers, i.e. from 10-20 thousand employees and more, but only their hard struggle for survival.

Keywords: globalization, automotive industry, decomposition, business strategy, remote partners, communication technology.

1. UVOD

Globalni tokovi u autoindustriji negiraju ekonomski prosperitet gigantskih kompanija. Takođe, znanja i iskustva kadra automobilske industrije se sa centralizovanih kompanija treba preneti na manja dekomponovana preduzeća, odnosno, koristeći obučenosť kadra u automobilskoj industriji, treba stvarati nova mala, kompetentna preduzeća. Drugim rečima, globalni interes svakog klastera je da razvija mala i srednja preduzeća, oko glavne aktivnosti, što je primenjeno u praksi najrazvijenijih ekonomija u svetu.

¹⁾ Dejan Krstić, dipl.maš.ing, Grupa Zastava vozila, krstic.dejan@zastava.net

Pored toga, potcenjivanje globalnih tokova mogu katastrofalno uticati na poslovanje velikih privrednih subjekata, pa i ugroziti samu egzistenciju velikih automobilskih industrija. Tako je, na primer, potcenjivanje globalnih tokova, skupo koštalo i najvećeg proizvođača automobila na svetu, američku kompaniju "GM" (General motors).

Naime, vrednost akcija kompanije su najniže od 1987., a uzrok ovome treba tražiti, delom u strahu akcionara od ekonomske budućnosti, delom zbog nemilosrdnih tokova globalizacije. "GM" je izgubio gotovo četiri milijarde dolara samo 2006. godine, a tržišna vrednost je pala na 12 milijardi dolara, nasuprot, na primer, vrednosti Internet-pretraživača Gugla od 112 milijardi dolara. Bankrotstvo kompanije Dženeral motors bio bi težak psihološki udar za SAD, ali i finansijski udar za prateću industriju. Mičigen i obližnje države koje zavise od automobilske industrije već beleže gubitke na hiljade radnih mesta i smanjenje plata.

Ovakvi tokovi su primorali predsednika i generalnog direktora kompanije Rika Vagonera da saradnicima pošalje garantno pismo u kome se navodi da ne postoji apsolutno nikakav plan, strategija ili namera "GM"-a za ulazak u bankrot. Pismo je donelo rast akcija od 4 %, ali je "Bank of America" podigla izgleda za odlazak kompanije u bankrotstvo u naredne dve godine na 40 %. Bez obzira na pad prodaje i skok cena goriva, najveća teškoća kompanije je nagli rast troškova penzija i zdravstvenog osiguranja radnika i penzionera u SAD. Ti troškovi dodaju 3.500 dolara na cenu svakog vozila "GM"-a. Sindikati strahuju da bi pod bankrotstvom kompanija mogla da otkáže radničke ugovore i time uveliko smanji troškove. "GM" osigurava 1,1 milion Amerikanaca, a zdravstveni troškovi kompanije će ove godine biti oko 5,6 milijardi dolara.

Kompanija zato ubrzava program smanjenja trškova za pet milijardi dolara do kraja iduće godine. Planira se gašenje 25.000 radnih mesta, uskoro će biti objavljeno zatvaranje fabrika, uz dodatno smanjenje radnih mesta u biroima i nastavak zamrzavanja plata. Sa sindikatima postoji sporazum o smanjenju troškova za zdravstveno osiguranje od milijardu dolara godišnje.

Iz predhodnog iskustva, kao i iskustava iz domaće autoindustrije, a u cilju očuvanja egzistencije automobilske industrije, se mora shvatiti da je rešenj, ne u smanjenju radnih mesta velikih privrednih subjekata, već u njihovom dekomponovanju i nužnom stvaranju malih preduzeća, koja se moraju tehnološko-tehnički specijalizovati, uz permanentno praćenje svih novih tehnologija, kako bi postala stvarno stručna i profesionalna u svom sektoru. Konkurentnost ovih preduzeća bi u velikoj meri stvorila njihova sposobnost za razvojem sopstvenih tehnološko-tehničkih inovacija i samostalni razvoj proizvoda. To u sadašnjoj situaciji daje realnu šansu opstanka autoindustrije u našoj zemlji, a i uopšte drugih svetskih autoindustrija, po konceptu matične kompanije za realizaciju gotovog proizvoda, koja oko sebe vezuje mala specijalizovana i krajnje profesionalna preduzeća po fizičkom modelu atoma. Naime, jezgro atoma sačinjava matična globalna kompanija sa elektronima koje predstavljaju mala specijalizovana preduzeća, gde ekonomski jedni bez drugih ne bi mogli ni postojati, ni opstati, čime se zadovoljava njihov zajednički interes i motivacija.

2. UTICAJ GLOBALNIH TOKOVA NA POSLOVNU STRATEGIJU

Današnji globalni tokovi automobilske industrije postavljaju veoma visoke zahteve donosiocima odluka, menadžerima, direktorima, koji se konstantno suočavaju sa velikim izazovom odabira jedne od više ponuđenih, mogućih alternativa, poslovnih

varijanti od kojih direktno zavisi profit od proizvodnje automobila, pa i buduća društvena korist, jer automobilska industrija, kao prioritetni pokretač razvoja nacionalnih privreda i integrator tehnika, tehnologija i svih drugih naučnih disciplina, u zemljama u kojima je zastupljena proizvodnja automobila, predstavlja njihov nacionalni interes. Značajna pitanja su da li investirati u neki konkretan projekat ili ne, i ukoliko se prihvati izazov, neophodno je i pri njegovoj realizaciji donositi stalno nove, slične odluke, do onog ključnog pitanja, produžiti dalje sa projektom, odnosno proizvodnjom ili ne.

Stoga, neizbežni i sve više prisutni globalni tokovi u automobilskoj industriji održavaju neprekidnu "tenziju" kod proizvođača, inicirajući potrebu opširne strateške analize sa permanentnim sagledavanjem svih relevantnih uticaja, i na osnovu, kako zaključaka, tako i predviđanja, definisanje vizije, postavljanje ciljeva, procenu ograničenja, i drugo, i na osnovu postavljenih parametara, određivanje svih potencijalnih mogućnosti, njihov strateški izbor uz sagledavanje međusobnih zavisnosti (da li su isključive ili ne), kao i rangiranje po prioritetu i drugo. Automobilska industrija je veoma kompleksna, i pored direktnih uticaja brojnih međunarodnih propisa (većinom iz oblasti bezbednosti i zaštite životne sredine), koji se konstantno pooštavaju i brzo menjaju uz težnju ka postizanju kvaliteta i poštovanju zahteva kupaca, takođe su značajni i mnogi indirektni faktori, koji su najčešće apstraktni i nepredvidljivi vremenski i po intenzitetu, a istovremeno mogu biti fatalni za egzistenciju proizvođača automobila.

Ovakvi Globalni uticaji na automobilsku industriju su prouzrokovali spajanje donedavnih konkurentskih suparnika na svetskom tržištu. Tako, na primer, francuski PSA Peugeot Citroën i japanska Toyota (poznata po najpouzdanijim automobilima na tržištu) zajedno su, u češkom Kolinu, izgradili supermoderne pogone za izradu nove generacije malih gradskih automobila. Ovakvi primeri globalnog udruživanja danas su sve češća pojava, kako u automobilskoj industriji, tako i u mnogim drugim industrijama (npr. ujedinjenje kompanija Nokia i Simens, Sony-a i Eriksona, trojno udružena kompanija "ABB" i drugih).

Pored udruživanja dojučerašnjih konkurentskih kompanija, kao primer dobre strategije u automobilskoj industriji možemo slediti primer koncepta Velike Britanije. Koncept se bazira na zbližavanju akademije i industrije, uz podršku Vlade Velike Britaniji. Po ovom konceptu se Konzorcijum iz Velike Britanije zadužuje za razvoj, a ministarstva privrede i nauke za neophodnu pomoć da se potencijalne kompanije osposobe za eksploataciju razvojnih tehnologija. Ovakav koncept se realizuje pod pokroviteljstvom partnerstava "Faraday", koji je formiran upravo u cilju zbližavanja akademije i industrije u Velikoj Britaniji, uz podršku vlade koja daje inicijalni kapital.

Partnerstvo "Automotive" i "Aerospace" predstavlja saradnja između "Cranfield", "Oxford" i "Oxford Brookes" univerziteta, "MIRA", "Oxford Trust" i "Heart of England" poslovnih veza. Podržani su od strane 50 značajnih kompanija. Direktor partnerstva je Dr Patrik Grant, i po njegovim shvatanjima i dalje postoji veliki jaz između akademije i industrije, iako obe strane žele da se kreću zajedno u istom pravcu. Tako su partnerstva sektora zasnovana na mnogobrojnim finansijskim inicijativama, kao što su "Link" i "Smart" nagrađe.

Takođe, po Grantu se često javljaju problemi kada se proizvodnja poveća u razmeri sa obimom laboratorijskih istraživanja, što ekonomski nepovoljno utiče na proizvodnju. Ovi nepogodnosti se mogu svesti na minimum, ako se potencijalni proizvodni problemi identifikuju i ako se pravovremeno reaguje.

Očekuje se da će u budućnosti biti više među-"Faraday" aktivnosti. Svako partnerstvo će biti u kontaktu sa drugima da bi se količina tehnološkog transfera dovela do maksimuma. Tehnološki transfer često podrazumeva transfer ljudi, i to je suštinska

karakteristika partnerstva "Faraday". Partnerstvo takođe mora da ima nacionalno stanovište i da nudi vodstvo industriji. Kako proizvođači postaju sve manje rentabilniji, sve su manje sposobni da izvedu svo istraživanje koje bi želeli, ali su voljni da traže snabdevače za projekte na drugim tržištima. Univerziteti, sa druge strane, mogu da ponude dobro snabdevena postrojenja i iskustvo u proizvodnom sektoru.

Sledeći napred navedeno, za konkurentnost koja predstavlja opstanak domaće automobilske industrije, kao i u svim vodećim svetskim automobilskim industrijama, neophodna je njena saradnja sa univerzitetima, certifikovanim laboratorijama i stilskim centrima, u cilju uspostavljanja i permanentnog povećavanja obima i inteziteta istraživačkih aktivnosti, koje su nezamislive bez pomoći vlade.

Zbog kompleksnosti problema u kojoj se nalazi domaća automobilska industrija, neophodno je sa vladom definisati razvojni koncept, i odrediti strateške nacionalne i regionalne interese. Analize pokazuju da je potrebno, uz osavremenjavanja tehnologije proizvodnje matične fabrike automobila, istovremeno iz nje dislocirati nerentabilne i nelikvidne proizvodne celine, a iste razvijati u malim i srednjim preduzećima na regionalnom nivou, čije bi formiranje i razvoj pomogla vlada inicijalnim kapitalom. Time bi se znatno smanjili administrativni izdaci i troškovi razvoja i ispitivanja novih tehnologija i materijala, a vertikalna i horizontalna saradnja sa naučnim institucijama bi dala realnu šansu poslovnog uspeha i dostizanja kvaliteta, ili čak postavljanja sopstvenih kvaliteta.

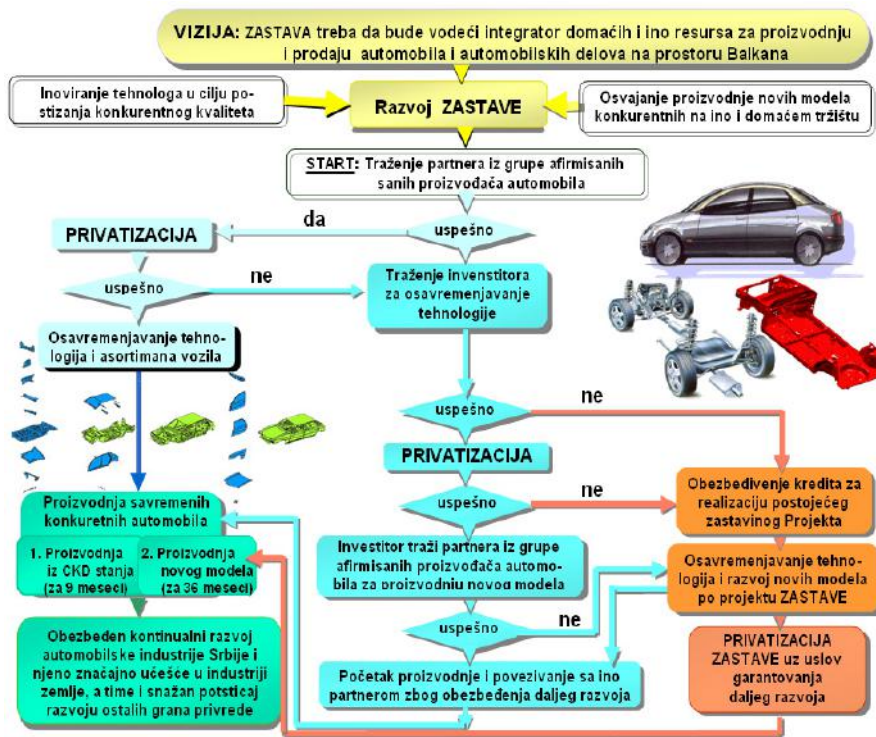
3. GLOBALNI I TRANZICIONI TOKOVI DOMAĆE AUTOINDUSTRIJE

Globalni tokovi, kao i tranzicioni privredni tokovi u našoj zemlji su uticali na promenu i prilagođavanje poslovne strategije u domaćoj automobilskoj industriji. Došlo je do promene vlasničke strukture, dekomponovanja fabrike, sa krajnjim ciljem privatizacije, što je uslovalo i promenu strategije poslovanja. Strategije u automobilskoj industriji, zbog značaja i osetljivosti predstavljaju strogo čuvanu poslovnu tajnu, tako da je u ovom radu korišćen i prikazan na slici 1., jedan, za javnost dostupan strategijski algoritam razvoja domaće autoindustrije, a koji je ovom prilikom preuze sa sajta: zastava-info.co.yu.

Trasiranje razvojnih putanja algoritma nam u konkretnom slučaju daje tri strateške alternative mogućeg razvoja domaće autoindustrije u fabrici "Zastava automobili", sa definisanom vizijom, postavljenim ciljem i u zavisnosti od mogućeg razvoja privrednih događaja.

U procesu tranzicije domaća autoindustrija nije mogla izbeći uticaje okruženja, s jedne strane i zbog socijalnog nezadovoljstva unutrašnje sindikalne uticaje. Uopšteno, glavne uticajne faktore egzistencije automobilske industrije možemo tražiti u:

- globalnim tokovima,
- bilateralnim odnosima,
- društvenoj podršci,
- vladinim agencijama,
- finansijskim institucijama,
- sindikatima,
- koperantima,
- stakeholderima,
- konkurenciji (uključujući uvoznički lobi),
- kupcima,
- očuvanju tržišta (u budućnosti potencijalnim novim tržištima) i dr.



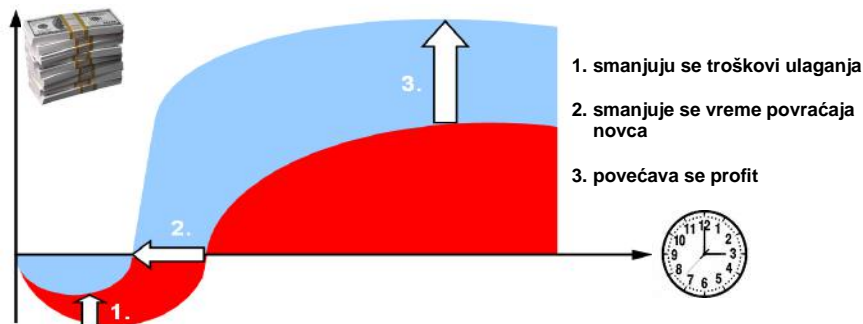
Slika 1. Strateški algoritam razvoja fabrike "Zastava automobili"

Pored pomenutih globalnih tokova, jedan od najznačajnijih faktora je tendencija smanjenja vremena stilskog razvoja automobila, razvoja novih materijala i njihove primene u eksploataciji, projektovanja proizvodnje, vremena sklapanja jedinice proizvoda, prodaje, smanjenje životnog ciklusa proizvodnje konkretnog tipa vozila, smanjenje vremena osvajanja novog tipa vozila i svih drugih vitalnih delatnosti zastupljenih u automobilskoj industriji. Do skora se nije moglo predpostaviti mogućnost drastičnog smanjenja vremena u razvojnom i proizvodnom ciklusu, ali je to danas omogućeno primenom CAx tehnologija i kompatibilnim softverskim paketima koje koriste svi učesnici automobilske industrije, tako da je saradnja i komunikacija i najudaljenijih partnera trenutno moguća. Bez ikakvog organizacionog rasplinjanja i trošenja vremena je moguće istovremeno, za jedan tip automobila, stilski razvoj raditi u Italiji, razvoj proizvoda u Japanu, tehnološki razvoj proizvodnih linija u Nemačkoj, a po realizaciji istih proizvodnju ostvariti u Brazilu. Ovo omogućava CAx tehnologija u P2P okruženju.

CAx tehnologija u P2P okruženje je najbolji način poslovanja, koji ne poznaje granice između udaljenih partnera u automobilskoj industriji u njihovoj međusobnoj interakciji. Ovaj novi organizacijski pristup i komunikacijska tehnologija omogućava izgradnju nove strategije automobilske industrije i u opšte, upravo ona omogućava bezbolno stvaranje novih umreženih globalnih korporacija.

Pored ovih mogućnosti, CAx tehnologije u P2P okruženju, zbog smanjenja životnog ciklusa projekta, mogu transformisati međusobni karakter nekih projekta iz isključivih u karakter nezavisnih projekta koji se mogu paralelno ostvariti. Značaj uticaja CAx tehnologije u P2P okruženju, na efikasnost poslovanja automobilske

industrije, kojoj globalni tokovi neminovno daju karakter umreženih globalnih korporacija, se može prikazati i grafički na slici 2.



Slika 2. Uticaj CAx tehnologije u P2P okruženju na efikasnost poslovanja

ZAKLJUČAK

Danas su sve velike svetske automobilske industrije suočene sa dekomponovanjem na mala i srednja preduzeća, koja su okupljena oko glavne zajedničke aktivnosti - razvoj, praćenje trendova, inoviranje u cilju što optimalnije proizvodnje i što prihvatljivijeg kvaliteta i cene automobila. Ovakva satelitska mala i srednja preduzeća, neće imati ulogu rešavanja velikih problema autoindustrije, već se od njih očekuje učešće, kako u zajedničkim rešenjima, tako i u samostalnim rešenjima za specifične probleme iz njihovih oblasti, uz saradnju i implementaciju znanja univerzitetskih institucija, specijalizovanih laboratorija, razvojnih i stilskih centara, naučnika, stručnjaka, inovatora i pojedinaca, prateći pogodnosti i mane svih potencijalnih dostignuća i rešenja.

Takođe, novi globalni tokovi automobilske industrije zahtevaju permanentnu eksploataciju novih poslovnih strategija, stalnu reorganizaciju poslovanja, kao i struktura samih kompanija. Svi ovi tokovi promena imaju veoma dinamički karakter, i iz tog razloga današnja autoindustrija ima sve manju perspektivu bez korišćenja elektronskog poslovanja i elektronsko-komunikacijskog povezivanja svih subjekata.

Komunikacijska povezanost se mora odnositi na sve interakcije (korelacije, kordinacije, subordinacije i dr.), bilo da su internog ili eksternog karaktera. Drugim rečima, komunikacijska povezanost treba da objedini rukovođenje, planiranje, zadovoljavanje potreba za informacijama, razvojem proizvoda, inovacijama i njihovom implementacijom u proizvodnju i proizvode, upravljanje lancem nabavke i prodaje, internetski marketing, planiranje poslovnih resursa, automatizaciju proizvodnje i proizvoda, optimizaciju prodaje i naplate, sigurne metode pristupa i drugo.

U konkretnom slučaju strateškog dijagrama razvoja domaće autoindustrije, primenom CAx tehnologije u P2P okruženju, i globalnom kooperativnom umreženju sa drugim kompetitivnim inostranim kompanijama, alternative bi mogle dobiti karakter istovremeno mogućeg ostvarenja, što bi dalo šansu opstanka srpske autoindustrije i očuvanje metalske industrije uopšte.

LITERATURA

1. Zora Arsovski, CIM centar, Mašinski fakultet u Kragujevcu: „Informacioni Sistemi“ - Cim tehnike i tehnologije, III izdanje, Kragujevac, 2004.
2. Rečnik tehničkih termina u evropskim direktivama novog pristupa i globalnog pristupa, Beograd, mart 2006.



FAZI OCENJIVANJE VIRTUELNOG TIMA ZA PROJEKTE ENERGETSKE EFIKASNOSTI

S. Ćurčić¹⁾, R. Nikolić²⁾, A. Dragašević³⁾

Rezime: U ovom radu je data jedna metodologija za ocenjivanje virtuelnih timova za projekte energetske efikasnosti uzimajući u obzir kako kompetentnost i sposobnost međusobne saradnje svih članova tima, tako i mogućnost pravovremenog i puzdanog ostvarivanja veza između pojedinih članova tima. Ova metodologija se uz neznatne modifikacije može koristiti i za fazi ocenjivanje timova koji su stacionirani na jednom mestu.

Ključne reči: faziocena, virtuelni tim, član tima

FUZZY EVALUATION VIRTUAL TEAMS FOR POWER EFFICIENCY PROJECTS

Abstract. This paper presents a methodology for evaluation of virtual teams for power efficiency, taking into consideration both competence and collaboration ability of all team members and the possibility for due and reliable rapport establishing among individual team members. Slightly modified, this methodology can be used for fuzzy evaluation of teams situated in a single location.

Key words: fuzzy evaluation, virtual teams, individual team

1. UVOD

U uslovima ograničenih energetske resursa kao što su ugalj, voda, gas, nafta, nuklearni izvori i dr, kao i veoma nepovoljnih uticaja pojedinih resursa i njihovih produkata na zagađenost životne sredine, smatramo da uvođenje obnovljivih izvora energije predstavlja imperativ sadašnjeg i budućeg vremena. Zato je od velikog interesa kako za države, tako i za velike multinacionalne kompanije da se ovim problemom ozbiljno

¹⁾ Dr Srećko Ćurčić, Tehnički fakultet, Svetog Save 65, 32000 Čačak,
sreckoc@tfc.kg.ac.yu

²⁾ Rale Nikolić, Tehnički fakultet, Svetog Save 65, 32000 Čačak, rale@tfc.kg.ac.yu

³⁾ Aleksandar Dragašević, Tehnički fakultet, Svetog Save 65, 32000 Čačak,
adragas@tfc.kg.ac.yu

Ovaj rad je nastao kao rezultat rada na projektu iz nacionalnog programa energetske efikasnosti pod nazivom "Razvoj i primena logističkih sistema za korišćenje biomasa i otpadnog drveta kao energenata u domaćinstvima i industriji", EB Ugovora: 451-01-03059/2005-01/EE-243005A koji finansira Ministarstvo za nauku i zaštitu životne sredine Republike Srbije.

pozabave. Jedan od veoma bitnih koraka u rešavanju ovog problema jeste formiranje naučnih i stručnih timova ljudi koji će biti uključeni u takve projekte energetske efikasnosti. Da bi jedan ovakav tim bio uspešan neophodan je visok stepen kompetentnosti i sposobnosti međusobne saradnje članova u timu. Takođe, moguće je iskoristiti razvoj savremenih komunikacija i formirati visokostručne i visokoefikasne timove čiji svi članovi nisu skoncentrisani na jednom mestu, već su pojedini članovi ovih timova dislocirani u drugim gradovima, državama, pa čak i u državama veoma udaljenih regija. U nastavku ćemo se baviti ovakvim timovima i zvaćemo ih virtuelni timovi. Za virtuelni tim, pored njegove kompetentnosti i sposobnosti međusobne saradnje, veoma je važna i dostupnost njegovih članova u datom trenutku, imajući u vidu njihovu dislociranost (dostupnost u smislu komunikacionih veza, u odnosu na časovne zone tj. razlike u vremenu i dr). Kako u ovakvim situacijama imamo više mogućnosti za izbor članova tima, poželjno je po nekoj metodologiji i po kriterijumima te metodologije izabrati najbolji takav tim. U ovom radu dajemo jednu metodologiju koja uzima u obzir sve pomenute probleme. Svakako, ova metodologija se može koristiti i za ocenjivanje već formiranih virtuelnih timova. Za ovakvo ocenjivanje, najpre je potrebno uvesti jednu meru na fazi skupovima.

2. FAZI OCENJIVANJE

U radu [3] uvedena je jedna mera na skupu sa konačnim brojem elemenata $A = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, $n \in \mathbb{N}$, data sa

$$d(\tilde{A}) = \left[1 - 4\sigma^2(\tilde{A}) \right] \cdot f^*(p(\tilde{A})) \quad (1)$$

gde je \tilde{A} fazi skup, skupa A i važi $\tilde{A} = \{(x_1, k_A(x_1)), (x_2, k_A(x_2)), \dots, (x_n, k_A(x_n))\}$, $n \in \mathbb{N}$, za uočenu uopštenu karakterističnu funkciju $k_A: A \rightarrow [0,1]$. U formuli (1) je

$$p(\tilde{A}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_A(x_i), \quad n \in \mathbb{N},$$

novouvedena srednja vrednost za vrednosti uopštene karakteristične funkcije. U formuli (1) je $\sigma^2(\tilde{A})$ novouvedena disperzija za vrednosti uopštene karakteristične funkcije data sa

$$\sigma^2(\tilde{A}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[k_A(x_i) - p(\tilde{A}) \right]^2, \quad n \in \mathbb{N}.$$

Takođe je

$$f^*(p(\tilde{A})) = \begin{cases} -\frac{1}{2} \left[p(\tilde{A}) \log_2 p(\tilde{A}) + (1-p(\tilde{A})) \log_2 (1-p(\tilde{A})) \right], & 0 \leq p(\tilde{A}) < \frac{1}{2}, \\ \frac{1}{2} \left[(1+p(\tilde{A})) \log_2 p(\tilde{A}) + (1-p(\tilde{A})) \log_2 (1-p(\tilde{A})) \right], & \frac{1}{2} \leq p(\tilde{A}) \leq 1. \end{cases}$$

Sa poznavanjem mere date formulom (1) kao i njenih elemenata možemo dati razne procene kompetentnosti i međusobne saradnje članova virtuelnog tima, kao i poizdanosti veza i dostupnosti između članova tima ovakvog tima.

Polazna pretpostavka je da se virtuelni tim sastoji od rukovodioca tima, u oznaci R i članova tima kojih po pretpostavci ima n , $n \in \mathbb{N}$, u oznaci R_i ($i=1, 2, \dots, n$). Svaki

član tima ima problematiku kojom se bavi u okviru ovakvog tima. Pretpostavka je, takođe, da se rukovodilac tima i članovi tima ne nalaze na jednom mestu. Isto tako, pretpostavlja se da rukovodilac tima koordinira rad svih članova tima i da između članova tima postoji saradnja. Naravno, ne mora svaki član tima da saraduje sa svakim. Dakle, potrebno je za svakog člana tima odrediti sa kojim saraduje, a sa kojim ne. Da bi se ovo ustanovilo formira se kvadratna matrica saradnje, među članovima tima $n \times n$, $n \in \mathbb{N}$, u kojoj na mestima (i, j) i (j, i) ($i, j=1, 2, \dots, n$, $i \neq j$, $n \in \mathbb{N}$) stoje jedinice ako članovi tima R_i i R_j saraduju, a nula ako ne saraduju. Iz svega navedenog vidimo da ta matrica ima oblik kao u tabeli 1.

Tabela 1: Matrica saradnje članova tima

	R_1	R_2	R_3	...	R_n
R_1		a_{12}	a_{13}	...	a_{1n}
R_2	a_{21}		a_{23}	...	a_{2n}
R_3	a_{31}	a_{32}		...	a_{3n}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots		\vdots
R_n	a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	...	

Matrica data tabelom 1 je simetrična matrica (tj. $a_{ij}=a_{ji}$) i važi

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{saradnja } R_i \text{ i } R_j \text{ postoji} \\ 0, & \text{saradnja } R_i \text{ i } R_j \text{ ne postoji} \end{cases}$$

pri čemu je $i \neq j$, $i, j=1, 2, \dots, n$, $n \in \mathbb{N}$.

Virtualni tim ćemo procenjivati po četiri karakteristike: kompetentnost, međusobna saradnja, pouzdanost veze i dostupnost u datom trenutku.

Kompetentnost ocenjujemo na sledeći način

- stepenom poznavanja člana tima R_i problematike koja mu je dodeljena u okviru tima, u oznaci α_i , $0 < \alpha_i \leq 1$ ($i=1, 2, \dots, n$, $n \in \mathbb{N}$).
- stepenom poznavanja rukovodioca tima R problematike kojom se bavi i -ti član tima, u oznaci β_i , $0 < \beta_i \leq 1$ ($i=1, 2, \dots, n$, $n \in \mathbb{N}$).

Saradnju ocenjujemo na sledeći način

- stepenom sposobnosti saradnje člana tima R_i sa rukovodiocem tima R , u oznaci γ_i , $0 < \gamma_i \leq 1$ ($i=1, 2, \dots, n$, $n \in \mathbb{N}$).
- stepenom sposobnosti saradnje rukovodioca tima R sa članom tima R_i , u oznaci δ_i , $0 < \delta_i \leq 1$ ($i=1, 2, \dots, n$, $n \in \mathbb{N}$).
- stepenom sposobnosti saradnje člana tima R_i sa članom tima R_j i obrnuto, u oznaci ϵ_{ij} , $0 < \epsilon_{ij} \leq 1$ ($i \neq j$, $i, j=1, 2, \dots, n$, $n \in \mathbb{N}$).

Pouzdanost veze ocenjujemo na sledeći način

- stepenom mogućnosti ostvarivanja veze između člana tima R_i i rukovodioca tima R i obrnuto, u oznaci θ_i , $0 < \theta_i \leq 1$ ($i=1, 2, \dots, n$, $n \in \mathbb{N}$).
- stepenom mogućnosti ostvarivanja veze između člana tima R_i i člana tima R_j i obrnuto, u oznaci ϵ_{ij} , $0 < \epsilon_{ij} \leq 1$ ($i \neq j$, $i, j=1, 2, \dots, n$, $n \in \mathbb{N}$).

U okviru ove karakteristike je pretpostavljeno da je veza od člana tima R_i do rukovodioca tima R , odnosno do člana tima R_j ista kao i veza od rukovodioca tima R , odnosno od člana tima R_j do rukovodioca sektora R_i (mada ona ne mora biti ista).

Dostupnost u datom trenutku ocenjujemo na sledeći način

- stepenom dostupnosti u datom trenutku člana tima R_i od strane rukovodioca tima R i obrnuto, u oznaci θ_i'' , $0 < \theta_i'' \leq 1$ ($i=1, 2, \dots, n, n \in \mathbb{N}$).
- stepenom dostupnosti u datom trenutku člana tima R_i od strane člana tima R_j i obrnuto, u oznaci ε_{ij}'' , $0 < \varepsilon_{ij}'' \leq 1$ ($i \neq j, i, j=1, 2, \dots, n, n \in \mathbb{N}$).

Na procene koje dajemo u okviru ove karakteristike može uticati više subjektivnih i objektivnih faktora. Jedan od objektivnih faktora se odnosi na ča-sovne zone. "Pomerenoš" radnog vremena zbog različitih časovnih zona u kojima se nalaze članovi tima, kao i između člana tima i rukovodioca tima može se regulisati određivanjem raznih termina za kontakte u okviru preklapanja radnog vremena. Tada, prilikom ocenjivanja odgovarajućeg stepena dostupnosti u datom trenutku možemo uzeti u obzir i veličinu "preklapajuće radno vreme" (na relaciji član tima – član tima ili član tima – rukovodilac tima).

Nakon ovako definisanih procena potrebno je dati opštu ocenu virtuelnog tima. Posmatrajmo, najpre, fazi skupove $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}$ i $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n\}$ čiju su elementi odgovarajuće procene kompetentnosti. Primenom mere uvedene formulom (1) dobijamo ocene kompetentnosti članova tima R_i ($i=1, 2, \dots, n; n \in \mathbb{N}$) i rukovodioca tima R respektivno sa

$$A = d(\alpha), \quad B = d(\beta).$$

U nastavku, dajemo ocenu ukupne saradnje članova tima sa rukovodiocem tima i obrnuto. Na nju utiču četiri vrste procena: stepen sposobnosti člana tima R_i sa rukovodiocem tima - γ_i ($i=1, 2, \dots, n, n \in \mathbb{N}$), stepen sposobnosti saradnje rukovodioca tima sa članom tima R_i - δ_i ($i=1, 2, \dots, n, n \in \mathbb{N}$), stepen mogućnosti ostvarivanja veze između člana tima R_i i rukovodioca tima i obrnuto - θ_i ($i=1, 2, \dots, n, n \in \mathbb{N}$) i stepen dostupnosti u datom trenutku člana tima R_i od strane rukovodioca tima i obrnuto - θ_i' ($i=1, 2, \dots, n, n \in \mathbb{N}$). Uočimo odgovarajuće fazi skupove $\gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n\}$, $\delta = \{\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n\}$, $\theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n\}$ i $\theta' = \{\theta_1', \theta_2', \dots, \theta_n'\}$. Iz njih nalazimo

$$\gamma_S = p(\gamma), \quad 0 < \gamma_S \leq 1,$$

$$\delta_S = p(\delta), \quad 0 < \delta_S \leq 1.$$

Dalje računamo

$$\sigma_1^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\delta_i - \gamma_i)^2, \quad 0 < \sigma_1 \leq 1$$

Konačno imamo

$$\Gamma_1 = (1 - 4\sigma_1^2) f^* \left(\frac{\gamma_S + \delta_S}{2} \right), \quad 0 < \Gamma_1 \leq 1.$$

Takođe računamo

$$\Gamma_2 = d(\theta'), \quad 0 < \Gamma_2 \leq 1,$$

$$\Gamma_3 = d(\theta''), \quad 0 < \Gamma_3 \leq 1.$$

Ocena ukupne saradnje člana tima i rukovodioca tima i obrnuto je

$$\Gamma = \frac{k_1 \Gamma_1 + k_2 \Gamma_2 + k_3 \Gamma_3}{3}, \quad 0 < \Gamma \leq 1, \quad k_1 + k_2 + k_3 = 1, \quad k_1, k_2, k_3 \in [0, 1],$$

gde su

- k_1 – težinski koeficijent sposobnosti saradnje člana tima sa rukovodiocem tima i obrnuto,
- k_2 – težinski koeficijent mogućnosti ostvarivanja veze člana tima sa rukovodiocem tima i obrnuto,
- k_3 – težinski koeficijent dostupnosti u datom trenutku člana tima od strane rukovodioca tima i obrnuto.

Ove vrednosti se subjektivno određuju za svaki tim posebno u zavisnosti od potreba i prioriteta.

Na kraju, pre nego što damo opštu ocenu virtuelnog tima, treba oceniti i uku-pnu saradnju između članova tima. Ona zavisi od tri vrste procena: stepen spo-sobnosti saradnje člana tima R_i sa članom tima R_j i obrnuto – ε_{ij} ($i \neq j, i, j=1, 2, \dots, n, n \in \mathbb{N}$), stepen mogućnosti ostvarivanja veze između člana tima R_i i člana tima R_j i obrnuto – ε'_{ij} ($i \neq j, i, j=1, 2, \dots, n, n \in \mathbb{N}$) i stepen dostupnosti u datom trenutku člana tima R_i od strane člana tima R_j i obrnuto – ε''_{ij} ($i \neq j, i, j=1, 2, \dots, n, n \in \mathbb{N}$). Koristeći matricu datu tabelom 1 možemo naći ocenu sposobnosti saradnje za svakog člana tima R_i na sledeći način

$$\varepsilon_i^{(1)} = \frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^n a_{ij} \varepsilon_{ij}, \quad 0 < \varepsilon_i^{(1)} \leq 1, \quad (i = 1, 2, \dots, n, i \neq j, n \in \mathbb{N}),$$

gde je k_i broj jedinica u i – toj vrsti matrice.

Na ovaj način formiramo fazi skup $\varepsilon^{(1)} = \{\varepsilon_1^{(1)}, \varepsilon_2^{(1)}, \dots, \varepsilon_n^{(1)}\}$. Sada imamo

$$\varepsilon_S^{(1)} = p(\varepsilon^{(1)}), \quad 0 < \varepsilon_S^{(1)} \leq 1.$$

Takođe, računamo i veličinu

$$\sigma_2^2 = \frac{1}{N} \sum_{\substack{i, j=1 \\ i \geq j}}^n (a_{ij} \varepsilon_{ij} - a_{ji} \varepsilon_{ji})^2, \quad 0 < \sigma_2 \leq 1,$$

gde je N broj jedinica u matrici date tabelom 1 iznad (ili ispod) glavne dijagonale. Sada, možemo dati ocenu sposobnosti saradnje između članova tima

$$\Delta_1 = (1 - 4\sigma_2^2) f^*(\varepsilon_S^{(1)}).$$

Dalje, računamo vrednosti

$$\varepsilon_i^{(2)} = \frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^n a_{ij} \varepsilon'_{ij}, \quad 0 < \varepsilon_i^{(2)} \leq 1, \quad (i = 1, 2, \dots, n, i \neq j, n \in \mathbb{N}),$$

$$\varepsilon_i^{(3)} = \frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^n a_{ij} \varepsilon''_{ij}, \quad 0 < \varepsilon_i^{(3)} \leq 1, \quad (i = 1, 2, \dots, n, i \neq j, n \in \mathbb{N}),$$

gde k_i , kao i do sad, predstavlja broj jedinica u i – toj vrsti. Vrednosti $\varepsilon_i^{(2)}$ i $\varepsilon_i^{(3)}$ ($i=1, 2, \dots, n, n \in \mathbb{N}$) predstavljaju redom ocene mogućnosti uspostavljanja veze, odnosno dostupnosti u datom trenutku za svakog člana tima. Ove vrednosti čine fazi skupovi $\varepsilon^{(2)} = \{\varepsilon_1^{(2)}, \varepsilon_2^{(2)}, \dots, \varepsilon_n^{(2)}\}$ i $\varepsilon^{(3)} = \{\varepsilon_1^{(3)}, \varepsilon_2^{(3)}, \dots, \varepsilon_n^{(3)}\}$. Pomoću ovih fazi skupova moguće je dati ocene mogućnosti uspostavljanja veze, odnosno dostupnosti u datom trenutku respektivno sa

$$\Delta_2 = d(\varepsilon^{(2)}), \quad 0 < \Delta_2 \leq 1,$$

$$\Delta_3 = d(\varepsilon^{(3)}), \quad 0 < \Delta_3 \leq 1.$$

Ukupnu saradnju između članova tima ocenjujemo sa

$$\Delta = \frac{m_1 \Delta_1 + m_2 \Delta_2 + m_3 \Delta_3}{3}, \quad 0 < \Delta \leq 1, \quad m_1 + m_2 + m_3 = 1, \quad m_1, m_2, m_3 \in [0, 1]$$

gde su

- m_1 – težinski koeficijent sposobnosti saradnje između članova tima,
- m_2 – težinski koeficijent mogućnosti uspostavljanja veze između članova tima,
- m_3 – težinski koeficijent dostupnosti u datom trenutku između članova tima.

Ove vrednosti se subjektivno određuju za svaki tim posebno u zavisnosti od potreba i prioriteta.

Sada smo u mogućnosti da damo opštu ocenu virtuelnog tima. Nju dajemo na sledeći način

$$O = \frac{n_1 A + n_2 B + n_3 \Gamma + n_4 \Delta}{4},$$

$$0 < O \leq 1, \quad n_1 + n_2 + n_3 + n_4 = 1, \quad n_1, n_2, n_3, n_4 \in [0, 1],$$

gde su

- n_1 – težinski koeficijent kompetentnosti članova tima,
- n_2 – težinski koeficijent kompetentnosti rukovodioca tima,
- n_3 – težinski koeficijent saradnje članova tima sa rukovodiocem tima i obrnuto,
- n_4 – težinski koeficijent saradnje između članova tima.

Naša preporuka za ove vrednosti je

$$n_1 = 0,25, \quad n_2 = 0,35, \quad n_3 = 0,25, \quad n_4 = 0,15.$$

Svakako, što je ocena O viša tim je kompetentniji i koordinisaniji i možemo smatrati da su timovi sa ocenom iznad 0,8 izvanredni timovi.

3. ZAKLJUČAK

Istraživanja i svetska iskustva u oblasti energetske efikasnosti pokazuju da će novi izvori – energenti, među kojima se posebno ističu različite vrste biomasa i otpadnog drveta imati enorman skok rasta iskorišćenja od sadašnjih 0,15%, na 1,3% do kraja ove decinije. Sa druge strane, evropska komisija obavezuje sve svoje članice da povećaju učešće obnovljivih energenata u njihovoj potrošnji na 12% do 2010. god. Zato smatramo da će ponuđena metodologija naći veliku primenu za ocenjivanje, pre svega, “budućih” virtuelnih timova za projekte energetske efikasnosti (naravno i ne samo njih). Sa malom modifikacijom, ova metodologija, se može koristiti i za ocenjivanje “običnih” timova koji imaju dislocirane saradnike, što će se sve češće pojavljivati u praksi. Isto tako, ova metodologija se može primeniti i za ocenjivanje “promena” koje se odigravaju u okviru ovakvih timova.

4. REFERENCE

- [1] Đajić N.: *Energija za održivi svet*, RGF Beograd, 2002.
- [2] Žižović, M., Đurčić, D., Nikolić, R., *Homogeneity and Belongingness Measure and Its Application in Virtual Menagment Team Fuzzy Evaluation*, in appear
- [3] Zimmermann, H.-J., *Fuzzy set theory-and its applications*, Kluwer Academic Publishers, Norwell, 1996.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

UVODNI REFERAT

ANALIZA TEHNOLOGIČNOSTI PRIMENOM TEHNIČKIH ELEMENATA

M. Manić¹⁾, G. Devedžić²⁾, M. Stojković³⁾

Rezime: Razvoj novih proizvoda zahteva korišćenje savremenih alata za projektovanje koji omogućavaju da se još u ranim fazama razvoja proizvoda izbegnu greške i smanji broj iteracija. U konceptu simultanog razvoja proizvoda i tehnologija, korišćenjem Internet i Intranet tehnologija, projektovanje primenom tehničkih elemenata ("feature-based design") omogućava stvaranje modela proizvoda pogodnog za razne inženjerske aplikacije. Projektovanje za proizvodnju ("Design for Manufacturing") uključuje istovremeno razmatranje projektantskih zadataka i tehnoloških ograničenja sa ciljem prepoznavanja i prevazilaženja proizvodnih problema, dok je proizvod još u fazi projektovanja. Ovaj koncept se ostvaruje aktivnom analizom tehnološkiosti proizvoda. Ciljevi analize daju ocenu o mogućnosti i efikasnosti realizacije proizvoda. U radu se daje prikaz pogodnosti koje projektovanje primenom tehničkih elemenata pruža prilikom razvoja virtuelnog proizvoda. U cilju stvaranja preduslova za analizu tehnološkiosti prikazuju se metode parametarskog projektovanja primenom korisnički definisanih tehničkih elemenata, uz korišćenje tehnoloških ograničenja. Modeli proizvoda dobijeni ovim metodama predstavljaju skoro idealne informacijske modele za integraciju sa alatima na znanju zasnovanih tehnologija za analizu tehnološkiosti i stvaranje uslova za realizaciju koncepta projektovanja za proizvodnju.

Ključne reči: projektovanje tehničkim elementima, analiza tehnološkiosti, projektovanje za proizvodnju, inteligentni CAD-CAM sistemi, simultano projektovanje

FEATURE-BASED MANUFACTURABILITY ANALYSIS

Abstract: Development of new products requires application of modern design tools, which enable detection of possible mistakes during early design stages and decrease the number of iterations. The concept of simultaneous product and process development, using Internet and Intranet technologies, promotes feature-based design that produces the models suitable for various engineering applications. Design for manufacturing includes concurrent consideration of design tasks and technological constraints in order to recognize and solve manufacturing problems, even during conceptualization. Realization of this concept involves active manufacturability analysis of the product.

¹⁾ M. Manić, Mašinski fakultet, Niš, mmanic@masfak.ni.ac.yu

²⁾ G. Devedžić, Mašinski fakultet, Kragujevac, devedzic@ptt.yu

³⁾ M. Stojković, Mašinski fakultet, Niš, miloss@masfak.ni.ac.yu

U radu je predstavljen deo rezultata projekta TR-6218A koji finansira Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije.

The analysis aims to bring the estimation of possibilities and effectiveness of product realization. The paper describes the benefits of application of feature-based design during virtual product development. An overview of parametric design methods based on user-defined features and technological constraints is provided as a prerequisite for manufacturability analysis. Product models created in this way present almost ideal information models for integration with the tools of knowledge-based technologies for manufacturability analysis and realization of the design for manufacturing concept.

Keywords: *feature-based design, manufacturability analysis, design for manufacturing, intelligent CAD/CAM systems, simultaneous design*

1. UVOD

Savremena, tržišno orijentisana proizvodnja, zahteva od proizvodnih sistema brzu realizaciju novih kvalitetnih i jeftinih proizvoda. Osnovni preduslov razvoja svake zemlje je da zadrži postojeće tržište i eventualno ga proširi. Da bi se to uspelo neophodno je odgovoriti zahtevima tržišta tokom dužeg niza godina. Pri tome treba imati na umu da tržište postavlja stalno sve složenije zahteve u pogledu produktivnosti, kvaliteta i brzine osvajanja novih proizvoda. Da bi se ti zahtevi ispunili neophodno je permanentno korporativno istraživanje, usavršavanje i sticanje novih (sa)znanja. Na taj način se stvaraju preduslovi spremnosti za inovacije, nova ekonomična tehnička rešenja i ispunjavanje individualnih zahteva kupaca (individualizacije proizvoda) u oštroj tržišnoj konkurenciji.

Situaciju na svetskom tržištu u današnjim uslovima karakterišu dve važne tendencije:

- dominacija zahteva kupaca
- globalizacija.

Dominacija zahteva kupaca podrazumeva da savremeni proizvodi ispune očekivanja i zahteve kupaca, čak i do njihovih individualnih želja. To nameće diferenciranje proizvoda i njihovu stalnu inovaciju.

Globalizacija tržišta povećava konkurenciju, tako da je vrlo važno veoma brzo sa različitim kvalitetnim proizvodima izaći na tržište. Pred kakvim sve zahtevima se nalazi savremena proizvodnja najbolje pokazuje analiza promena u preduzećima, nastala u periodu 1990. do 2000. godine [11,22,26,27]. Vreme isporuke proizvoda skraćeno je za 60%, zahtevi u pogledu kvaliteta i funkcionalnosti proizvoda uvećani su za 50%, uz istovremeno uvećanje konkurencije na tržištu (za oko 50%), što je kod pojedinih proizvoda dovelo do drastičnog smanjenja cena proizvoda. Životni ciklus proizvoda smanjen je u ovom periodu za oko 20%.

Povećani zahtevi u pogledu kvaliteta proizvoda uslozjavaju razvoj i značajno otežavaju uvođenje na tržište uspešnih proizvoda. To znači da se razvoj kompleksnih proizvoda visokog kvaliteta obavlja u kratkom vremenu i lansira na veoma konkurentnom tržištu.

Iako je udeo troškova procesa projektovanja i konstruisanja u ukupnoj ceni proizvoda relativno mali, odluke koje se donose u fazi projektovanja i konstruisanja imaju veliki uticaj na ukupnu cenu proizvoda [1,3,4,10]. Kako se troškovi nastali zbog naknadnih izmena konstrukcija proizvoda uvećavaju sa vremenom, mogućnost uticaja na promene karakteristika proizvoda tokom procesa projektovanja i konstruisanja predstavlja veoma važnu karakteristiku razvojnih CA sistema. Razvoj koncepta simultanog projektovanja proizvoda i tehnologija igra značajnu ulogu u integraciji projektovanja

proizvoda i tehnologija. Koncept simultanog projektovanja doveo je do razvoja metodologija projektovanja za proizvodnju (Design for Manufacturing) [15,16]. Projektovanje za proizvodnju podrazumeva istovremeno razmatranje i analizu projektantskih zadataka i tehnoloških ograničenja u cilju ranog prepoznavanja i prevazilaženja tehnoloških problema još u fazi razvoja proizvoda. Na ovaj način se vreme potrebno za razvoj proizvoda skraćuje u velikoj meri, s obzirom da je broj iteracija manji, a kvalitet proizvoda veći.

Jedan od osnovnih ciljeva simultanog (konkurentnog) projektovanja je implementacija inteligentnog CAD sistema, koji bi imao ugrađeno tehnološko znanje vezano za proizvodnju. Ovo znanje treba da sadrži odgovarajuća tehnološka ograničenja i preporuke, kao i procenjivanje troškova proizvodnje. U koncepciji inteligentnog CAD sistema projektovanje za proizvodnju se implementira sprovođenjem automatizovanih analiza tehnološkičnosti na osnovu tehnološkog znanja ugrađenog u sistem. Za uspešnu analizu tehnološkičnosti proizvoda potrebno je da model proizvoda sadrži na adekvatan način opisane karakteristike proizvoda koje se mogu lako prepoznati i analizirati [1,2,4,5,8]. Potrebno je da se, najpre, određene forme u modelu proizvoda prepoznaju i da se onda odgovarajućim algoritmima i pravilima analiziraju. Za analizu prepoznatih formi treba da postoje tehnološke baze znanja i podataka koje sadrže opisane moguće tehnološke procese, mašine, alate, pribore, režime cene i dr.

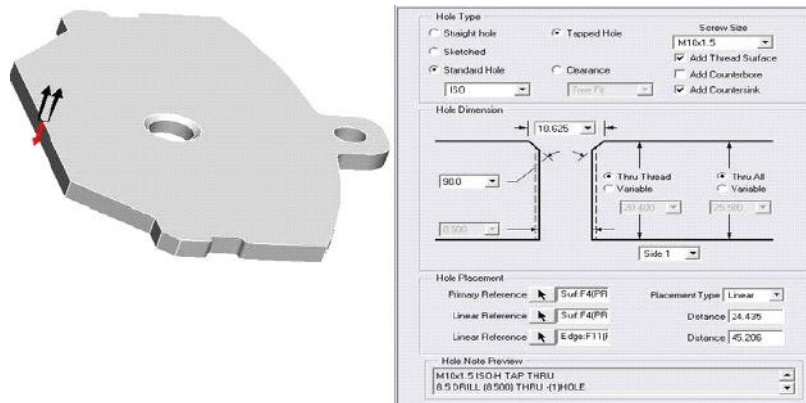
2. RAZVOJ PROIZVODA I PROCESA PRIMENOM TEHNIČKIH ELEMENATA

U tradicionalnim pristupima razvoju i realizaciji proizvoda potrebno je da geometrija proizvoda bude u potpunosti, ili gotovo u potpunosti, definisana da bi se prešlo na sledeću fazu. Pri tome se podrazumeva veći broj iteracija i modifikacija između projekatana i tehnologa dok se ne dobija finalna verzija proizvoda. Nasuprot tome, koncept konkurentnog inženjerstva naglašava i potencira mogućnosti rada sa približnim modelima. Pravilnom dekompozicijom zadataka, uz smišljeno zadavanje osnovnih parametara i ograničenja novog proizvoda, stvara se osnova za paralelno odvijanje većeg broja procesa, koji su međusobno manje zavisni [15-19]. Na taj način se omogućava svim učesnicima u razvoju i realizaciji proizvoda da skoro istovremeno započnu rešavanje svojih zadataka. Rezultat takvog rada je smanjenje ukupnog napora uloženog tokom životnog ciklusa proizvoda, uz zadovoljenje zahteva potrošača i partnera u industriji.

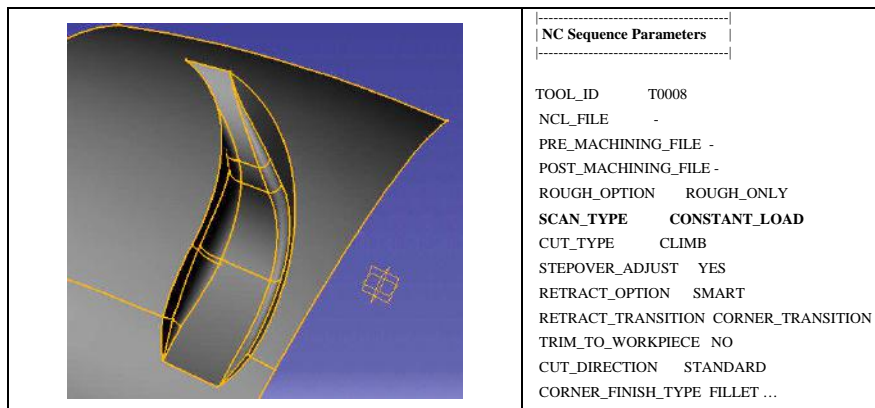
Trodimenzionalni zapreminski modeli, generisani pomoću tehničkih elemenata kao osnovnih strukturnih elemenata, obezbeđuju veoma bogat informacioni (geometrijski, topološki i semantički) sadržaj neophodan za dalju primenu, upotrebu i manipulacije. Svaki tehnički element definisan je skupom parametara, čije se inicijalne vrednosti mogu se menjati po potrebi (slika 1).

Sa stanovišta inženjerske logike od posebne je važnosti da tehnički elementi poseduju neku vrstu "inteligencije" koja im omogućava da održe topološku konzistentnost tokom modifikacija. Sa druge strane, konzistentnost čitavog 3D modela postiže se dopunskim skupom korisnički definisanih parametara, koji dodatno opisuje model, kao i primenom skupa relacionih zavisnosti. Time se modelu daje veća fleksibilnost i robustnost, ističu suštinske namere projektanta i upravlja ponašanjem modela u celini.

Rešavanje pojedinih inženjerskih problema uključuje i definisanje tzv. korisničkih tehničkih elemenata (UDF – "User Defined Features"). To mogu biti, na primer, otvori specijalnih profila, složeni žljebovi, specijalne površine i sl. Jednom definisani ovi tehnički elementi mogu se primenjivati kao bibliotečki tokom daljeg postupka projektovanja. Na slici 2 prikazan je lateralni žljeb dezena gazećeg sloja automobilske pneumatika.



Slika 1: Tehnički element otvora i parametri koji ga definišu



Slika 2: Topologija lateralnog žljeba dezena gazećeg sloja automobilske pneumatika i odgovarajuće tehnološke informacije

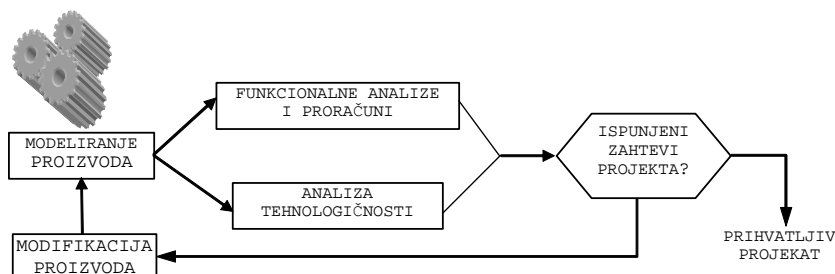
Pre započinjanja razvoja tehnologije izrade proizvoda, ili paralelno sa tim aktivnostima, uputno je izvršiti neophodne analize i simulacije ponašanja proizvoda u proizvodnim i eksploatacionim uslovima. Virtualni model proizvoda, formiran na prethodno opisan način, dodavanjem odgovarajućih inženjerskih, tehnoloških i proizvodnih tehničkih elemenata i procedura, postaje digitalni prototip. Na taj način se stvara osnova za uvid i praćenje informacija i podataka o proizvodu i procesima, ali i šire i konzistentno korišćenje inženjerskih, proizvodnih i poslovnih znanja tokom čitavog životnog ciklusa proizvoda.

3. ANALIZA TEHNOLOGIČNOSTI

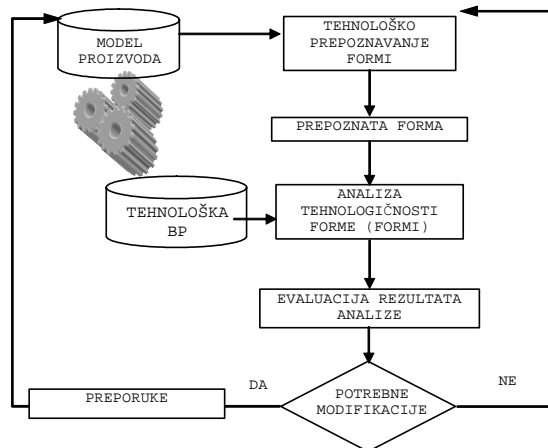
Moderni PLM (Product Lifecycle Management) sistemi, čiju okosnicu čine CAD/CAM tehnologije, objedinjavaju i skup softverskih alata za automatsku analizu tehnološkičnosti (Manufacturability Analysis) pojedinih vrsta proizvoda i konstrukcija [3,6,7,9,10,12,14,17]. Tehnološkičnost proizvoda se u najširem smislu te reči može

definisati kao mera pogodnosti njegove izrade u određenom proizvodnom sistemu, uz ostvarenje minimuma proizvodnih troškova. Analiza tehnološkiosti, pri tom, predstavlja jednu od ključnih faza projektovanja novih proizvoda. Na slici 3 prikazana je globalna šema razvoja proizvoda i procesa.

Analiza tehnološkiosti je postala važan deo savremenih CAD/CAPP/CAM sistema. Nenamerne greške, kao što su izostavljanje zaobljenja ivica ili nepotrebno veliki zahtevi u vezi kvaliteta pojedinih površina, koji prolaze nezapaženo kroz fazu projektovanja, mogu biti izbegnuti implementacijom alata za projektovanje za proizvodnju. Model analize tehnološkiosti može se šematski predstaviti kao na slici 4.



Slika 3: Analiza tehnološkiosti u razvoju proizvoda



Slika 4: Model analize tehnološkiosti

Najčešći problemi koji se razmatraju u analizi tehnološkiosti virtuelnih prototipova svode se na sledeće tri analize:

1. Utvrditi da li je virtuelni prototip (oblik, dimenzije, tolerancije, kvalitet površina) moguće uopšte izraditi ili ne?
2. Ako je utvrđeno da je virtuelni prototip moguće izraditi, utvrditi stepen tehnološkiosti,
3. Ako je utvrđeno da je virtuelni prototip nemoguće izraditi, prepoznati svojstva koja stvaraju probleme prilikom izrade.

Kod analize tehnološkičnosti postoje tri primarne karakteristike prema kojima se vrši podela sistema i to:

- pristup u razmatranju tehnološkičnosti,
- mere za utvrđivanje stepena tehnološkičnosti, i
- nivo automatizacije.

Pristupi u analizi tehnološkičnosti konstrukcija mogu se grubo klasifikovati na sledeći način:

- **direktni pristup**, ili pristup zasnovan na upotrebi pravila, koja se koriste za direktnu inspekciju geometrijskog modela, tj. tehničkih elemenata. Ovo je pogodno kod delova koji imaju samo jednu obradu npr. livenje, kovanje i sl.;
- **indirektni pristup**, zasnovan na korišćenju tehnološkog postupka: u prvom koraku se definiše tehnološki postupak, a zatim se isti analizira i redukuje u cilju smanjenja troškova; ako postoje više alternativa bira se optimalnija; ovi sistemi imaju širu primenljivost.

Mere za utvrđivanje stepena tehnološkičnosti mogu biti sledeće.

- **binarno ocenjivanje** tj. da li je nešto moguće uraditi ili ne?
- **kvalitativno ocenjivanje** virtuelnog prototipa, u okviru određenog tehnološkog postupka, stepen tehnološkičnosti ocenjuje ocenama slabo, prosečno, dobro, odlično izvodljiv;
- **apstraktno-kvalitativno** ocenjivanje stepena tehnološkičnosti vrši se dodeljivanjem numeričkih vrednosti nekom postupku iz izabranog opsega numeričke skale;
- **vreme i troškovi** potrebni za izradu određenog tipa konstrukcije, koji mogu biti kombinovani u zbirnu ocenu tehnološkičnosti.

Nivo automatizacije sistema za analizu tehnološkičnosti iskazuje se načinom na koji projektant interaktuje sa sistemom, a meri se količinom i tipom interakcija projektanta sa sistemom i količinom i tipom povratnih informacija od strane sistema.

Kvalitativne tehnološke analize obično koriste tehničke tehnološke elemente zajedno sa tehnološkom bazom znanja. One obično razmatraju sledeća pitanja:

- Koji su obradni procesi potrebni da bi se izradio projektovani prototip?
- Da li su svi zahtevani proizvodni resursi (materijal, mašine, alati, stezni i merni pribori i dr.) raspoloživi i pod kojim uslovima?
- Da li je fizički moguće primeniti sve potrebne obradne procese?
- Da li su utvrđeni tehnološki parametri u skladu sa stečenim i afirmisanim proizvodnim iskustvima?

Odgovori na ova pitanja mogu biti binarnog ili (apstraktno-) kvalitativnog tipa. Deo može biti procenjen dobar ili loš, ili se može porediti valjanost dva analizirana alternativna prototipa. Kvalitativne analize sadrže pravila bazirana na tehnološkim znanjima i iskustvima. Najčešće se upotrebljavaju produkciona pravila tipa IF-THEN. Na primer sledeće pravilo određuje tehnološkičnost izvesnog otvora u odnosu na izbor alata:

*AKO je tehnološki element R otvor prečnika D
i dubina otvora L veća od prečnika i kvalitet obrađene površine manja od N7
i postoji tolerancija T1 prečnika
i nema u bazi alata koji ima taj prečnik D i ne garantuje toleranciju T1*

ONDA otvor nije tehnološkičan

U literaturi postoji dosta sistema za analizu tehnološkičnosti. Gupta [6] je predstavio metodologiju za ranu procenu tehnološkičnosti za prizmatične obradne komponente. U okviru ove metodologije se najpre identifikuju sve tehnološke operacije koje se mogu koristiti da bi se izvesni oblik izradio. Korišćenjem ovih operacija stvaraju

se različiti tehnološki postupci koji se vrednuju preko vremena izrade. Hsiao [8] koristi korisnički definisane tehničke elemente za predstavljanje obradnih procesa pomoću osnovnih obradnih volumena i ograničenja kretanja alata. Za svaki geometrijski tehnički element, ovaj metod definiše skupove površina koje utvrđuju obradna ograničenja. Analiza tehnološkičnosti vrši analizu komplementarnosti i provere interferencije skupa površina koje utvrđuju obradna ograničenja sa obradnim volumenima koje alat stvara tokom zahvata. Ovaj pristup ne pruža mogućnost vrednovanje tehnološkičnosti.

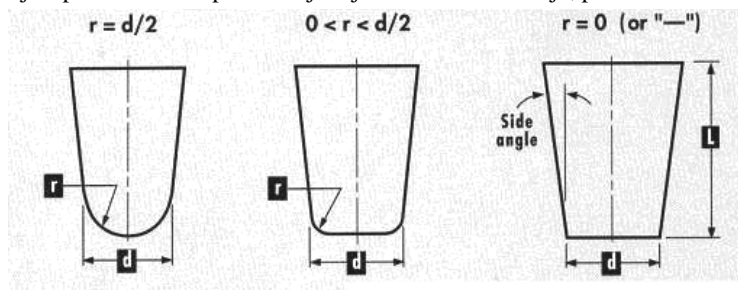
Kao rezultat istraživanja na polju projektovanja prilagodljivih ekspertnih sistema za projektovanje tehnoloških postupaka na Mašinskom fakultetu u Nišu razvijen je CAPROT ekspertni modul za projektovanje tehnoloških postupaka izrade rotacionih delova upotrebom tehničkih elemenata, kao i dodatni ekspertni modul za analizu tehnološkičnosti. [3,4]. Modul za analizu tehnološkičnosti je sa uspehom testiran na:

- proveriti mogućnosti izrade otvora bušenjem obzirom na postojeće alate,
- proveriti mogućnosti izrade žljebova za klin glodanjem s obzirom na postojeće alate,
- proveriti mogućnosti obrade bušenjem obzirom na raspoložive mašine, i
- proveriti mogućnosti obrade glodanjem obzirom na raspoložive mašine.

Pored toga razvijen je i model tzv. *virtuelnog tehnološkog savetnika* [10] koji vrši analizu tehnološkičnosti protektorskog prstena kalupa za vulkanizaciju, neposredno u toku projektovanja gazećeg sloja pneumatika.

4. PRIMER ANALIZE TEHNOLOŠKIČNOSTI

Kako je na gazećem sloju gume prisutan veliki broj lateralnih kanala, posmatrano iz perspektive isplativosti postupka izrade kalupa, od suštinskog značaja su vremena potrebna za izradu ovih oblika. Uklanjanje volumena lateralnog kanala, izvodi se kretanjem (obično) više alata (glodala) po tačno određenim, složenim 3D putanjama. Zadatak se sastoji u nalaženju minimalnog skupa potrebnih alata koji treba da sa ukupno najkraćim putanjama obrade uklone projektovani volumen kanala. U opštem slučaju, postoji ograničeni skup profila alata koji je prikladan za izradu ove geometrije. Ti profili i odgovarajući geometrijski parametri ovih profila koji ih jednoznačno određuju, prikazani su na slici 5.



Slika 5: Mogući profili glodala za izradu lateralnih kanala

Prilikom stvaranja generičkog UDF lateralnog kanala, u informacionu strukturu GUDF se ugrađuje skup pravila koja se izvršavaju u skladu sa ostvarenim kondicionalima. Ova pravila su kreirana na osnovu iskustva i znanja vezanog za tehnologijom izrade kalupa za vulkanizaciju (uključuju znanja iz oblasti HSM i RP). Prilikom umetanja GUDF-lateralnih kanala u gazeći sloj gume, sa nastankom nekih standardnih topoloških entiteta aktiviraju odgovarajuća pravila iz skupa pravila kojeg

poseduje GUDF koja proveravaju da li je moguće izraditi te oblike sa setom dostupnih alata i ako je moguće, izračunavaju vremena obrade. Kao primer može se navesti jedan od scenarija umetanja GUDF-lateranog kanala u model šare gazećeg sloja prikom kojeg se skup pravila koji proverava primenljivost postojećeg seta alata (prema precizno definisanom postupku izrade) sukcesivno izvršavaju:

- 1) Odredi ugao nagiba bočnih površina kanala⁴ (dihedralni ugao između bočnih površina kanala i toroidalne spoljne površine);
- 2) Komplement vrednosti maksimalnog dihedralnog ugla do 90° (minimalna vrednost ugla nagiba) **dodeli** parametru ugla konusa glodala: SIDE_ANGLE - odnosno, koničnost glodala je određena minimalnim uglom nagiba bočne površine kanala u odnosu na toroidalnu spoljnu površinu;
- 3) Odredi minimalno odstojanje⁴ između bočnih površina kanala;
- 4) Vrednost minimalnog odstojanja između bočnih površina kanala **dodeli** parametru prečnika glodala: CUTTER_DIAM;
- 5) Formiraj presečnu ravan koja prolazi kroz krajnje tačke duži - minimalnog odstojanja - pri tom normalnu na podnožnu površinu kanala⁵;
- 6) Odredi zaobljenja između bočnih površina i podnožne površine na mestu formiranog preseka⁴;
- 7) Vrednost zaobljenja **dodeli** parametru fillet-a glodala: RADIUS;
- 8) Odredi odstojanja između dezenskih ivica i podnožne linije/površine (visina bočnih površina)⁴;
- 9) Vrednost maksimalnog izmerenog odstojanja multipliciranu za 3/2 **dodeli** parametru rezne dužine glodala: LENGTH

Rezultat izvršavanja ovih pravila daje odgovor na pitanje: *kolike su vrednosti parametara geometrije potrebnog alata?* Tada se angažuju pravila koja grade i kontrolišu izvršavanje generičkih parametarskih upita pretraživanja nad bazom podataka. Pretraživanje podataka se izvodi sa ciljem da se dode do informacija da li takav alat postoji u bazi standardnih ili dostupnih alata. Kriterijumi za pretraživanje baze podataka o alatima koji su sadržani u upitu koriste vrednosti parametara dobijenim tokom izvršavanja pomenutog skupa pravila. Upit koji će ovde biti iznet opisno, virtuelni tehnološki savetnik sprovodi kroz formu posledičnog dela jednog od pravila iz njegove baze pravila.

Usvoji alat sa

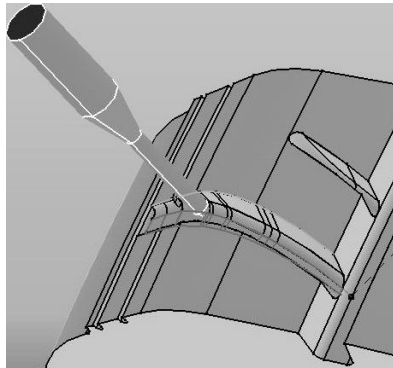
*prvom manjom vrednosti koničnosti glodala od one koju je izdvojio sisitem pravila
prvom manjom vrednosti prečnika glodala od one koju je izdvojio sisitem pravila
prvom manjom vrednosti radijusa zaobljenja glodala od one koju je izdvojio sisitem pravila
prvom većom vrednosti rezne dužine glodala od one koju je izdvojio sisitem pravila*

Konačno rešenje dobijeno opisanim postupkom ima višestruki informacioni sadržaj. Sa jedne strane, parametrizirana tehnoloških tehničkih elemenata koje koriste odgovarajući moduli CAD/CAM sistema dodeljene su vrednosti koje obezbeđuju ispravnu obradu. Time su stvoreni uslovi za izvršenje simulacije obrade (Sl.6), na osnovu koje je moguće uvesti neophodne korekcije i definisati krajnje vrednosti parametara.

Sa druge, generisane informacije i prateći podaci čine važan deo ukupne definicije modela proizvoda. Oni se koriste u daljim proizvodno-tehnološkim i poslovnim aktivnostima, odnosno procesima životnog ciklusa proizvoda.

⁴ Poziva posebno pripremljen tehnički element za analizu.

⁵ Poziva posebno pripremljenu UDF-ravan.



```

|*****|
| Manufacturing Related Information |
|*****|
FEATURE ID : 133
FEATURE NUMBER : 10
OPERATION NAME : GROOVEMILLING
WORKCELL NAME : DMU50EV01
WORKCELL TYPE : MILL
SEQUENCE TYPE : VOLUME MILLING
CUT MTN FEAT : 139
AXIS TYPE : 5 AXIS
FIXTURE SETUP : FSETP1
MILL VOLUME : MILL_VOL1
TOOL ID : T0008
CUTTING TIME : 0.8963 MIN
RETRACT PLANE : RP
START POINT : STP
END POINT : ENT
...

FEATURE NUMBER : 10
NC SEQUENCE NUMBER : 1
INTERNAL FEATURE ID : 133
FEATURE WAS CREATED IN ASSEMBLY TIRE_MFG1
PARENTS = 1(#1) 12(#5) 129(#7) 130(#8) 136(#9)
CHILDREN = 139(#11) 138(#12)
TYPE = MILLING
...

```

Slika 6: Simulacija procesa obrade lateralnog kanala i informacije o izabranom alatu

5. ZAKLJUČAK

Posledica globalizacije tržišta je višestruko povećanje konkurencije. Da bi preduzeća opstala na tržištu u takvim uslovima nameću se imperativi skraćivanja vremena razvoja proizvoda, poboljšanje kvaliteta proizvoda uz istovremeno smanjenje cene proizvoda. Rešenje je u nalaženju i primeni globalne strategije razvoja proizvoda.

Jedna od globalnih strategija razvoja, koja u primeni daje dobre rezultate, je integralni razvoj proizvoda. Efikasnost primene ove strategije zasniva se pre svega na simultanom vođenju faza u procesu razvoja proizvoda, primeni integralnog organizacionog modela, kao i na primeni sveobuhvatne i forsirane kompjuterske podrške svih aktivnosti u razvoju proizvoda.

Savremeni razvoj proizvoda zahteva donošenje proizvodnih odluka još u fazi konstruisanja proizvoda. Uspešno rešavanje ovih problema postiže se korišćenjem tehničkih elemenata pri konstruisanju i analizi proizvoda, imajući u vidu da se one mogu, u skladu sa svojom definicijom, tehnološki prepoznati i analizirati. U koncepciji inteligentnih CAD sistema, projektovanje za proizvodnju implementira se sprovođenjem automatizovanih analiza tehnoložnosti na osnovu tehnološkog znanja ugrađenog u sistem. Izložena metodologija omogućuje ostvarivanje simultanog konstruisanja i razvoja proizvoda u okviru integrisanih CAD/CAPP/CAM sistema.

LITERATURA

- [1] Domazet D., Manić M.; Product and Process Models as Prerequisites for Computer Aided Manufacturability Analysis, International Conference on Engineering Design ICED, Proceedings, Dubrovnik, 1990.
- [2] B. Khoshnevis D. N. Sormaz, J. Y. Park, An integrated process planning system using feature reasoning and space search-based optimization, IIE Transactions, 1999, Vol. 31, pp. 597-616.
- [3] Manić M., Ekspertni sistem za projektovanje tehnoloških procesa pri rezanju u obradi rotacionih delova, doktorska disertacija, Mašinski fakultet Niš, 1995.
- [4] Manić M, Mišić D., Ekspertni sistem za analizu tehnoložnosti proizvoda, YUINFO'99, Kopaonik, mart 1999.
- [5] Manić M., Domazet D., Trajanović M., Mišić D., The Modelling Approach of Data and Knowledge Bases of Expert CAPP Systems, Proceedings of the thirty-second int. Matador Conference, pp. 237-242., England, Manchester, 1997.

- [6] Gupta S. K., Nau D. S., A Systematic Approach for Analyzing the Manufacturability of Machined Parts, *Computer Aided-Design*, 27(5), 1995,
- [7] Gupta S.K., Das D., Regli W.C, Automated Manufacturability Analysis: A Survey, *Research in Engineering Design*, 9(3), 1997.
- [8] Hsiao D., Feature Mapping and Manufacturability Evaluation with an open set feature modeler, PhD thesis, Mechanical Engineering, Arizona State University, Tempe, Arizona, 1991.
- [9] Chang T. C., Wysk R., *Computer Aided Manufacturing*, Second Edition, Prentice Hall, 1998.
- [10] Stojković M., *Virtual Manufacturing Advisor*, Master thesis, Maš. fak., Niš, 2002.
- [11] Miltenović, V.: Razvoj proizvoda u funkciji opstanka preduzeća na tržištu. Međunarodni naučno-stručni skup "Istraživanje i razvoj mašinskih elemenata i sistema" JAHORINA - IRMES'2002, Zbornik radova, str.33-38. 19. - 20. septembar 2002., Srpsko Sarajevo - Jahorina.
- [12] Spur. G., Krause F. L.: *Das virtuelle Produkt*. C.Hanser Verlag. Munchen, 1997.
- [13] H. Meier, N. Hanenkamp, Organizational framework for digital factory management systems, 36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems- Proceedings -June 03 05,2003, Saarland University, Saarbrücken, Germany.
- [14] Dr.-Ing. Th. Wagner, J.-C. Blumenau, The Digital Factory, more than a Planning Environment, 36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems- Proceedings -June 03 05,2003, Saarland University, Saarbrücken, Germany.
- [15] Prasad B.: "*Concurrent Engineering Fundamentals: Integrated Product and Process Organization*", Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 1996.
- [16] Prasad B.: "*Concurrent Engineering Fundamentals: Integrated Product Design*", Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 1997.
- [17] Devedžić G.: "*Softverska rešenja CAD/CAM sistema*", Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2004.
- [18] Zeid I.: "*Mastering CAD/CAM*", McGraw Hill, New York, NY, USA, 2005.
- [19] Bullinger H.-J., Warschat J., Fischer D.: "Rapid Product Development — An Overview", *Computers in Industry*, Vol.42, pp.99–108, 2000.
- [20] Manić M., Miltenović V., Stojković M., Feature Models in Virtual Product Development, The scientific journal FACTA UNIVERSITATES, Ser. Mechanical Engineering, Vol. 1, No 10, p.p. 1327-1337, 2003.
- [21] M. Stojković, M. Manić, M. Trajanović, Knowledge-Embedded Template Concept, *CIRP - Journal of Manufacturing Systems*, WISU-Veralg Aachen, Vol. 34 (2005), No 1.
- [22] Manić M., Miltenović V., Stojković M., Product Development Using Feature-Based Design, *International Conference Power Transmissions 03*, Varna, Bulgaria, 2003.
- [23] Manić M., Stojković M., Mišić D., Đurišić Z., Manufacturability Analysis Using Feature Based Design, *International Conference on COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING, Advanced Design and Management*, Gliwice, Poland 26-8.05.2003
- [24] Stojković M., Manić M., Trajanović M., On Semantics of Design and Manufacturing Feature in Digital Product Model, *Proceedings of 2nd International Conference on Manufacturing Engineering ICMEN and EUREKA Brokerage Event*, Kallithea, Greece, 2005, pp. 731-740
- [25] Spur.G., Krause F.L.: *Das virtuelle Produkt*. C.Hanser Verlag. Munchen, 1997.
- [26] H. Meier, N. Hanenkamp, Organizational framework for digital factory management systems, 36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems- Proceedings -June 03 05,2003, Saarland University, Saarbrücken, Germany.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

RAD PO POZIVU

EVROPSKA RTD MISIJA U OBLASTI TEHNIČKIH NAUKA

P. Dašić ¹⁾, R. Ječmenica ²⁾, B. Nedić ³⁾

Rezime: Evropska istraživačko i tehnološki razvojna (RTD) misija realizuje se pomoću: okvirnih programa (FP), koji se realizuju na vremenski period od 5 godina i višegodišnjih globalnih programa i projekata (BRITE-EURAM, COST, ESPRIT, EURATOM, EUREKA, GRID, GEANT, IST, NMP, TEN itd.). U radu je data analiza FP6 i FP7 okvirnih programa i spisak i opis najznačajnijih programa i projekata u oblasti tehničkih nauka.

Ključne reči: istraživanje i tehnološki razvoj (RTD), okvirni program (FP), Evropski istraživački prostor (ERA), društvo znanja (KS)

EUROPEANS RTD MISSION IN THE FIELDS OF TECHNICAL SCIENTIFIC

Abstract: European research and technological development (RTD) mission realization is by: framework programme (FP), which is realization on time period from 5 year and perennial global programme and projects (BRITE-EURAM, COST, ESPRIT, EURATOM, EUREKA, GRID, GEANT, IST, NMP, TEN etc.). In paper is given analysis of FP6 and FP7 framework programme and list and descript ultra-significant of programme and projects in the fields of technical scientific.

Key words: Research and Technological Development (RTD), Framework Programme (FP), European Research Area (ERA), Knowledge Society (KS)

1. UVOD

Evropska istraživačko i tehnološki razvojna (*Research and Technological Development* – RTD) misija realizuje se pomoću:

- FP (*Framework Programme* - okvirni program) programa, koji se realizuju na vremenski period od 5 godina i
- globalnih programa i projekata (BRITE-EURAM, COST, ESPRIT, EURATOM, EUREKA, GRID, GEANT, IST, NMP, TEN itd.), koji se realizuju na veći vremenski period.

Za blagovremeno i tačno informisanje o Evropskim RTD programima i projektima ustanovljen je informacioni servis koji poseduje bazu podataka o aktuelnim

¹⁾ Predrag Dašić, Viša mašinska škola, 37280 Trstenik, dasicp@ptt.yu

²⁾ Ratomir Ječmenica, Tehnički fakultet, 32000 Čačak, jecmenica@tfc.kg.ac.yu

³⁾ Bogdan Nedić, Mašinski fakultet, 34000 Kragujevac, nedic@kg.ac.yu

istraživačkim i razvojnim projektima EU pod nazivom CORDIS (*Community Research and Development Information Service - Informacioni servis zajednice za istraživanje i razvoj*), koji je dostupan na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu.int/>. On služi kao osnova za publikovanje ekspresnih nedeljnih brifinga, odn. kratkih uputstava, o tome šta je novo u Evropskom istraživanju i inovacijama i o značajnim savremenim istraživačkim i razvojnim (RTD) projektima EU. Sedište CORDIS informacionog servisa je u Luksemburgu.

Okvirni programi (FP) i globalni programi i projekti su glavni instrument za stvaranje tzv. Evropskog istraživačkog prostora (*European Research Area - ERA*), koji je dostupan na Web sajtovima: <http://cordis.europa.eu/era/> i http://ec.europa.eu/research/era/index_en.html. Evropski istraživački prostor (ERA) je ustanovljen marta 2000. godine u toku realizacije 5. okvirnog programa (FP5).

Glavni cilj Evropskog istraživačkog prostora (ERA) je da zemljama Evropske unije (*European Union – EU*) obezbedi izgradnju društvu znanja (*Knowledge Society – KS*), kao novom naučno-tehnološkom progresu. Radi toga je i Evropska komisija (*European Commission – EC*), 1997. godine, definisala koncept izgradnje informatičkog društva (*Information Society - IS*) u Evropi [3], a 2002. godine koncept izgradnje društva znanja u Evropi [4]. Novim programom eEurope 2005 [10] ustanovljene su akcije za "reinženjering veština za društvo znanja u ekonomiji društva".

Radi ostvarenje ovog cilja ili priključenje društvu znanja (KS) Evropska unija (EU) poslednjih godina planira povećanje izdvajanja budžeta za nauku i istraživanje. Prema zvaničnim podacima EU trenutno izdvaja ukupno nešto preko 1,9 % (slika 1) bruto nacionalnog proizvoda ili BNP (*Gross Domestic Product - GDP*) za nauku i istraživanje, a planirano je da ta stopa, do 2010. godine, poraste na 3% [16]. Sa slike 1 može se uočiti da je taj procenat dosta manji u odnosu na Japan i SAD (koje imaju najveći procenat izdvajanja za nauku i istraživanje u svetu), ali značajno ili višestruko veći od većine zemalja u svetu, a naročito od zemalja u razvoju i zemalja u tranziciji. Prema podacima pojedinih autora naša zemlja je do pre nekoliko godina izdvajala nešto više od 0,3 % od BNP, a trenutno je trend smanjenja tog procenta.

2. EVROPSKI OKVIRNI PROGRAMI (FP)

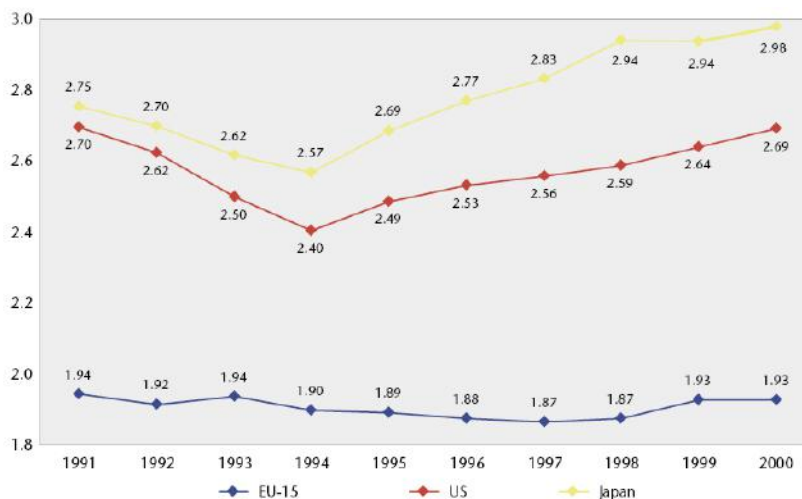
Okvirni programi (*Framework Programme – FP*) su glavno sredstvo EU za istraživačke fondove u Evropi. FP se predlaže od strane Evropske komisije (EC) i usvaja od Saveta Evrope i Evropskog parlamenta sledeći proceduru ko-odlučivanja. FP obuhvata vremenski period od 5 godina u kome se poslednja godina jednog FP-a preklapa sa prvom godinom sledećeg FP-a. FP je počeo da se implementira 1984. godine i od tada je realizovano šest okvirnih programa, od kojih su aktuelni FP4, FP5 i poslednji FP6, koji se trenutno realizuje, dok je u planu realizacije FP7 program.

Objašnjenje RTD termina i poslednja četiri FP programa dostupno je na Web sajtu: <http://europa.eu.int/comm/research/why.htm>.

FP je počeo da se implementira 1984. godine i od tada je realizovano pet okvirnih programa, šesti je u toku, a sedmi je planiran [7,16]:

- FP1 (*1st Framework Programme*), realizovan u periodu od 1984-1987;
- FP2 (*2nd Framework Programme*), realizovan u periodu od 1988-1991;
- FP3 (*3rd Framework Programme*), realizovan u periodu od 1991-1994;
- FP4 (*4th Framework Programme*), realizovan u periodu od 1994-1998 i dostupan na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/guidance/fp4.htm> ili <http://ec.europa.eu/research/specpr.html>;

- FP5 (*5th Framework Programme*), realizovan u periodu od 1998-2002 i dostupan na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/fp5/> ili <http://ec.europa.eu.int/research/fp5.html>;
- FP6 (*6th Framework Programme*), realizuje se u periodu od 2002-2006 i dostupan na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/fp6/> ili <http://ec.europa.eu.int/research/nfp.html>;
- FP7 (*7th Framework Programme*), biće realizovan u periodu od 2007-2013 i dostupan na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/fp7/> ili http://ec.europa.eu.int/research/future/index_en.cfm.



Slika 1. Grafički prikaz procentualnog izdvajanja za RTD u EU-15, SAD i Japanu za period od 1991-2000. godine

Evolucija i budžet (u milijardama Eura) do sada realizovanih FP programa prikazan je u tabeli 1 i grafički na slici 2 [7,16], pri čemu se, za naredni period, planira veliko povećanje tog budžeta. Evolucija prioriteta u FP programima za različite RTD oblasti prikazana je grafički na slici 3 [16].

Pravila i osnovni principi učešća u FP programima su (dostupno na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/fp6/participationrules/>):

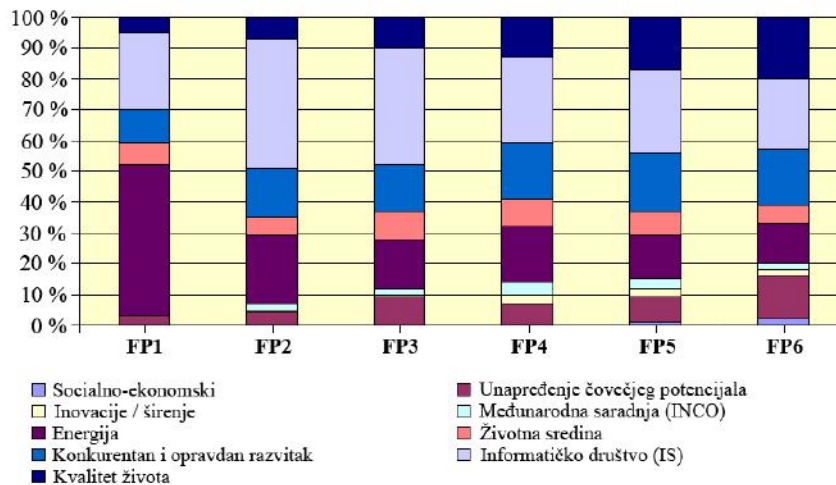
- Ne postoje "nacionalne kvote", tj. broj prijava za jednu zemlju nije ograničen;
- Projekti moraju imati više učesnika iz više zemalja, tj. projekti moraju biti transnacionalni;
- Pozivi za prijavu objavljuju se više puta u toku jednog FP ciklusa;
- Projekti moraju zadovoljavati kriterijume istaknute u "pozivu za prijavu", bez obzira na zemlje iz kojih je projekat predložen, institucije ili istraživače;
- Kvalitet i tehnološka relevantnost projekta procjenjuju nezavisni spoljni eksperti, tj. u proseku 5 eksperata pregleda svaki projekt;
- Prijava projekta može se realizovati on-line preko elektronskog sistema prijave projekta (*Electronic Proposal Submission System - EPSS*), koji je dostupan na Web sajtu: <http://www.epss-fp6.org/> i
- Prilikom prijave projekta postoje različite vrste instrumenata projekta, koji su dostupni na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/fp6/instruments.htm>.

Tabela 1. Tabelarni prikaz budžeta do sada realizovanih FP programa

FP (<i>Framework Programme - Okvirni program</i>) program	Budžet u milijardama EURa
FP1 (1984-1987)	3,75
FP2 (1987-1991)	5,39
FP3 (1991-1994)	6,6
FP4 (1994-1998)	13,22
FP5 (1998-2002)	14,96
FP6 (2002-2006)	17,6



Slika 2. Grafički prikaz evolucije i budžeta do sada realizovanih FP programa



Slika 3. Grafički prikaz evolucije prioriteta u FP programima za različite RTD oblasti

Faze procesa prijave učešća u FP programima su:

- Objavljuje se "poziv za prijavu" više puta u toku jednog FP ciklusa u "Službenom Glasniku EU" i na Web sajtu CORDIS baze podataka o aktuelnim istraživačkim i razvojnim projektima: <http://cordis.europa.eu/fp6/calls.cfm>
- Podnosi se prijava u okviru specijalnog paketa informacija koja za svaki "poziv za prijavu" sadrži dokumente, objašnjenja i formulare neophodne za pripremu prijave;
- Nudi se i poseban elektronski sistem prijave projekta (EPSS);

- Prijave ocenjuju nezavisni spoljni eksperti (u proseku 5 eksperata ocenjuje svaki projekt) i
- Za odobrene prijave potpisuje se ugovor između Evropske komisije (EC) i učesnika u projektu.

Evropska unija (EU) je u okviru FP6 programa izdvojila deo sredstava (oko 2% od ukupnog budžeta) za tzv. "pridružene mjere" putem kojih se organizuje obučavanje profesionalaca u tzv. nacionalnim tačkama kontakta (*National Contact Points – NCPs*), koji su dostupni na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/fp6/ncp.htm>. Tim sredstvima se organizuju seminari za obučavanje NCP-ja koji će dalje pomagati onima koji hoće da se prijave za FP6 program da kvalitetno naprave svoje prijave.

U okviru FP programa može da učestvuje bilo koji legalni ili pravni subjekt koji je uspostavljen prema nacionalnim, međunarodnim ili EU zakonima, a najčešće su to : istraživačka grupa na univerzitetu ili istraživačkom institutu, kompanija koja ide ka inovacijama, mala ili srednja preduzeća (MSP) ili na engleskom SME (*Small and Medium-Sized Enterprise*), javna administracija (koja se bavi istraživačkom politikom ili menadžmentom javnih istraživanja) i fizička lica (stipendije i naučno usavršavanje). To mogu biti pravni subjekti ili fizička lica iz zemalja članica Evropske unije (EU), zemlje kandidati, pridružene države i države zapadnog Balkana, Rusije, Ukrajine, mediteranskih zemalja i zemlje u razvoju. Učesnici moraju biti iz više zemalja, najmanje 3 članice EU ili zemlje kandidata.

2.1. FP6 program

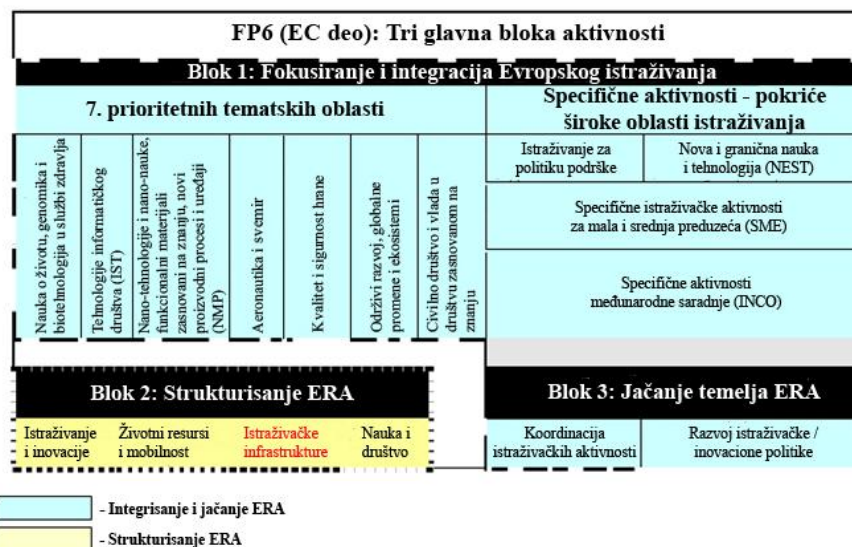
Šesti po redu FP6 program EU definisan je početkom 2002. godine za period od 2002. do 2006. godine. Za finansiranje programa i projekata za rešavanje aktuelne problematike u okviru FP6 program definisana su tri glavna bloka aktivnosti i sedam prioritetnih tematskih oblasti (slika 4) i to [16]:

- Nauka o životu, genomika i biotehnologija u službi zdravlja,
- IST (*Information Society Technologies - tehnologije informatičkog društva*),
- NMP (*Nanotechnologies and Nano-sciences, Knowledge-Based Functional Materials, New Production Processes and Devices - nano-tehnologije i nanonauke, funkcionalni materijali zasnovani na znanju, novi proizvodni procesi i uređaji*),
- Aeronautika i vasiona,
- Kvalitet i sigurnost hrane,
- Održivi razvoj, globalne promene i ekosistemi i
- Civilno društvo i vlada u društvu zasnovanom na znanju.

Osnovni moto FP6 programa je "nove istraživačke pogodnosti za mala i srednja preduzeća ili preduzeća male i srednje veličine (MSP). Informacije o R&TD aktivnostima MSP dostupna su na: <http://sme.cordis.europa.eu/> i <http://www.wipo.org/sme/en/>

Za finansiranje FP6 okvirnog programa EU je obezbedila budžet u iznosu od 17 milijardi i 600 miliona Eura, od kojih je najveći deo predviđen za projekte iz IST oblasti, čak 3 milijarde i 625 miliona Eura (tabela 2).

Radi što bolje organizovanosti i koordinacije na R&TD programima i projektima u EU je marta 2000. godine, u okviru FP5 programa, osnovano posebno Evropsko istraživačko područje (ERA). Cilj ERA je da objedini kadrovske, materijalne i finansijske resurse i da ukinе barijere za naučnu saradnju među zemljama Evrope, kako ne bi dolazilo do dupliranja istraživanja među istraživačkim institucijama i timovima. Namera ERA je i da MSP pomogne da što jednostavnije, brže i jeftinije koriste inovacije i istraživačke rezultate za rešavanje svojih problema. FP6 program je glavni instrument EU za realizaciju ERA.



Slika 4. Grafički prikaz bloka aktivnosti i prioritetnih tematskih oblasti FP6 programa

Tabela 2. Budžet FP6 programa za istraživanje raspodeljen po glavnim blokovima aktivnosti i prioritetnim tematskim oblastima

FP6 (6. okvirni program) za istraživanja (2002-2006) sa budžetom od 17,6 milijardi Eura	
Blok aktivnosti i prioritetna tematska oblast FP6 programa	miliona Eura
Fokuseranje i integracija društvenog istraživanja <ul style="list-style-type: none"> • Nauka o životu, genomika i biotehnologija u službi zdravlja • IST (<i>Information Society Technologies - tehnologije informatičkog društva</i>) • NMP (<i>Nanotechnologies and Nano-sciences, Knowledge-Based Functional Materials, New Production Processes and Devices – nano-tehnologije i nano-nauke, funkcionalni materijali zasnovani na znanju, novi proizvodni procesi i uređaji</i>) • Aeronautika i svemir • Kvalitet i sigurnost hrane • Održivi razvoj, globalne promene i ekosistemi • Civilno društvo i vlada u društvu zasnovanom na znanju • Obavezna nauka i tehnologija (<i>Science & Technology - S&T</i>), mala i srednja preduzeća ili MSP (<i>Small and Medium-Sized Enterprise- SME</i>), međunarodna kooperacija • JRC (<i>Joint Research Centre – združeni istraživački centar</i>) nuklearna istraživanja 	2.255 3.625 1.300 1.075 685 2.120 225 1.300 760
Strukturisanje Evropske istraživačke oblasti (ERA) <ul style="list-style-type: none"> • Istraživanje i inovacije • Životni resursi i mobilnost • Istraživačke infrastrukture (GEANT, GN2, Grid, ...) • Nauka i društvo 	290 1.580 655 80

Jačanje temelja Evropske istraživačke oblasti (ERA)	
• Podrška za koordinaciju	270
• Podrška za politiku razvoja	50
Nuklearna istraživanja (uglavnom fuzije)	1.230

2.2. FP7 program

Sedmi po redu program EU koji je definisan za budući period od 2007. do 2013. godine, za definisanje i finansiranje programa i projekata za rešavanje aktuelne problematike. EC je propozicije za učešće u FP7 programu publikovala 06. aprila 2005. godine.

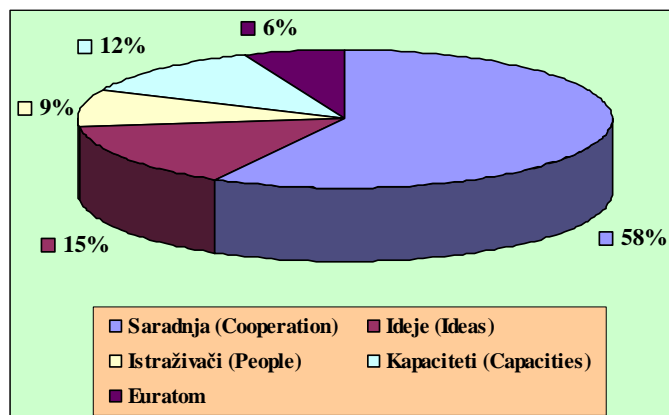
Predloženi FP7 okvirni program biće organizovan u četiri programa korespondencije za četiri osnovne istraživačke teme i komponentne Evropskog istraživanja (dostupno na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/fp7/themes.htm>), i to:

- Saradnja (*cooperation*) (dostupno na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/fp7/cooperation.htm>), koja podrazumeva realizaciju saradivačkih istraživačkih projekata koji će se organizovati saglasno definisanim tematskim oblastima kontinualno sa FP6 okvirnim programom, koje su industrijski vođeni i organizovani u četiri potprograma: saradivačko istraživanje ili Evropska izvrsnost, združene tehnološke inicijative (*Joint Technology Initiatives - JTI*) i tehnološke platforme, koordinacija između nacionalnih istraživačkih programa i međunarodne kooperacije;
- Ideje (*Ideas*) (dostupno na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/fp7/ideas.htm>), koje će nadgledati Evropski istraživački savet (*European Research Council – ERC*) stimulišući kreativnost i izvrsnost osnovnih i graničnih istraživanja od strane kompetentnih organizovanih i/ili individualnih timova sa ciljem da poveća dinamiku, stvaralaštvo i izvrsnost Evropskog istraživanja kao osnovno i granično znanje u svim naučnim i tehnološkim oblastima, uključujući inženjering, socijalno-ekonomske i humanitarne nauke;
- Istraživači (*People* ili *Researchers*) (<http://cordis.europa.eu/fp7/people.htm>), koja će pojačati postojeće "Marie Curie akcije" za kvalitativno i kvantitativno jačanje ljudskih resursa u istraživanju i tehnologiji u Evropi kroz podršku individualnim istraživačima za sve istraživačke teme, fokusiran na bolje ključne aspekte znanja i ubrzani razvoj, sve veću mobilnost između univerziteta i industrije i pojačane veze sa nacionalnim sistemima;
- Kapaciteti (*Capacities*) (<http://cordis.europa.eu/fp7/capacities.htm>), koja predviđa aktivnosti za pomoć istraživačkoj infrastrukturi, istraživanjima za SMEs i istraživačkih potencijala Evropskih regiona (regiona znanja) za kreiranje nove infrastrukture za pripremu strategijske mape za Evropi u oblasti istraživačke infrastrukture za narednih 10 do 20 godina, koja će stimulisati realizaciju potpunih istraživačkih potencijala (konvergencioni regioni) za povećanje unije i izgradnju efikasnog i demokratskog Evropskog društva znanja.

Kao dopuna ove četiri komponente nalazi će se specifičan program za JRC (nuklearne aktivnosti) i Euratom (nuklearna istraživanja i aktivnosti treninga).

Za finansiranje FP7 okvirnog programa EU je planirala budžet u iznosu od 68 milijardi i 500 miliona Eura, od kojih je najveći deo predviđen za komponentne saradnje, čak 39 milijarde i 730 miliona Eura (slika 8).

Sa slike 8 može se uočiti da najveći procenat planiranog izdvajanja iz budžeta FP7 okvirnog programa je u oblasti saradivačkih istraživačkih projekata (58 %), ideja (15 %) itd.



Slika 5: Analiza predloga budžeta između osnovnih FP7 programa

3. EVROPSKI RTD PROJEKTI I PROGRAMI U OBLASTI TEHNIČKIH NAUKA

Neki od realizovanih i aktuelnih RTD programa i projekata EU u oblasti tehničkih nauka su [1,2,5,6,8,11,12,14-18]:

- ACTS (*Advanced Communications Technologies and Services - Napredne komunikacione tehnologije i servisi*), <http://cordis.europa.eu/acts/>;
- BRITE-EURAM (*Basic Research in Industrial Technologies for Europe – European Research on Advanced Materials - Osnovno istraživanje industrijskih tehnologija za Evropu – Evropsko istraživanje o naprednim materijalima*) kao IMT (*Industrial Materials Technologies - Tehnologije industrijskih materijala*) inicijativa, <http://cordis.europa.eu/brite-euram/>;
- Coal and Steel, dostupan na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/coal-steel-rtd/>;
- COST (*European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research - Evropska kooperacija u oblasti naučnog i tehnološkog istraživanja*), dostupan na Web sajtu: <http://cost.esf.org/> i <http://cordis.europa.eu/cost/>;
- COST-TIST (*European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research – Telecommunications, Information Science and Technology - Evropska kooperacija u oblasti naučnog i tehnološkog istraživanja – telekomunikacije, informaciona nauka i tehnologija*), <http://cost.esf.org/> ili <http://cordis.europa.eu/cost/>;
- DataGrid (*International Data Grid – međunarodni podaci za Grid*), dostupan na Web sajtu: <http://www.eu-datagrid.org/>;
- DEISA (*Distributed European Infrastructure for Supercomputing Applications - Distribuirana Evropska infrastruktura za superračunarske aplikacije*), dostupan na Web sajtu: <http://www.deisa.org/>;
- eContent, dostupan na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/econtent/>;
- EDG (*European Data Grid – Evropski podaci za Grid*), <http://www.edg.org/>;
- EGEE (*Enabling Grid for E-Science - Omogućiti Grid za E-nauku*), dostupan na Web sajtovima: <http://www.eu-egee.org/>; <http://www.cern.ch/egee/> i <http://egee-intranet.Web.cern.ch/egee-intranet/gateway.html>;

- ESPRIT (*European Strategic Programme for Research & Development in Information Technology* - Evropski strateški program za istraživanje i razvoj u informacionoj tehnologiji), dostupan na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/esprit/>;
- ETEN (*Electronic Trans-European Networks – Elektronske trans Evropske mreže*), dostupan na Web sajtu: http://ec.europa.eu/information_society/activities/eten/;
- EUMEDCONNECT (*Europe and Mediterranean Interconnect – Evropsko i mediteransko međusobno povezivanje*), <http://cordis.europa.eu/ist/rn/eumedconnect.htm> i <http://www.dante.net/eumedconnect/>;
- EURATOM (*European Atomic Energy Community – Evropska zajednica za atomsku energiju*), dostupan na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/fp6-euratom/>;
- EUREKA (*European Research Coordination Agency* - Agencija za koordinaciju Evropskih istraživanja), dostupan na Web sajtu: <http://www.eureka.be/>;
- EuroGRID (*European Grid Computing – Evropsko Grid računanje*), dostupan na Web sajtu: <http://www.eurogrid.org/>;
- GEANT (Gigabit European Academic Network – Gigabitska Evropska akademska mreža), dostupan na Web sajtu: <http://www.geant.net> i <http://www.dante.net/geant/>;
- GN2 (*GEANT Network 2 – GEANT mreža 2*), <http://www.geant2.net/>;
- GRID, dostupan na Web sajtu: <http://www.cordis.lu/ist/rn/grids.htm>;
- IMS (*Intelligent Manufacturing Systems - Inteligentni proizvodni sistemi*), dostupan na Web sajtu: <http://www.ims.org/> i <http://cordis.europa.eu/ims/>;
- IMT (*Innovation Management Techniques – Tehnike upravljanja inovacijom*), dostupan na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/imt/>;
- InfoSec (*Information Security – Informaciona bezbednost*), dostupan na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/infosec/>;
- IST (*Information Society Technologies - Tehnologije informatičkog društva*), dostupan na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/ist/>;
- NEST (*New and Emerging Science and Technology – Nova i granična nauka i tehnologija*), dostupan na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/nest/>;
- NMP (*Nanotechnologies and Nano-sciences, Knowledge-Based Multifunctional Materials, New Production Processes and Devices – Nanotehnologije i nanonauka, više funkcionalni materijali zasnovani na znanju, novi proizvodni procesi i uređaji*), dostupan na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/nmp/>;
- SEE-GRID (*South-Eastern European Grid Enabled eInfrastructure Development – Razvoj za Grid moguću eInfrastrukturu za jugo-istočnu Evropu*), dostupan na Web sajtu: <http://www.see-grid.org/>;
- SEE-I (*South-Eastern European Innovation - Inovacija jugo-istočne Evrope*), dostupan na Web sajtu: <http://www.edrustvoscg.org.yu/seeinno.htm>;
- SEEREN (*South-East European Research and Education Network – Jugoistočna Evropska istraživačka i obrazovna mreža*), dostupan na Web sajtu: <http://www.seeren.org/> i <http://seeren.ebusiness.uoc.gr/>;
- SMT (*Standards, Measurements and Testing – Standardi, merenja i testiranje*), dostupan na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/smt/>;
- SustDev (*Sustainable Development, Global Change and Ecosystems – Opravdan razvoj, globalna promena i Ekosistemi*), <http://cordis.europa.eu/sustdev/>;
- TEN (*Trans-European Networks – Trans Evropske mreže*), <http://ec.europa.eu/ten/>;
- TEN-Telecom (*Trans-European Networks Telecom – Telecom trans Evropske mreže*), dostupan na Web sajtu: <http://www.ten-telecom.org/>;
- TMR (*Training and Mobility of Researchers – Trening i mobilnost istraživača*), dostupan na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/tmr/> itd.

BRITE-EURAM [5] (*Basic Research in Industrial Technologies for Europe – European Research on Advanced Materials - Osnovno istraživanje industrijskih tehnologija za Evropu – Evropsko istraživanje o naprednim materijalima*) je Evropska inicijativa o naprednim tehnologijama za industrijske materijale, metodologiju projektovanja i obezbeđivanje kvaliteta. BRITE-EURAM inicijativa je nastala 1989. godine integracijom BRITE (koja je ustanovljena 1985. godine) sa EURAM (koja je ustanovljena kao istraživački program 1978. godine) inicijativom.

BRITE-EURAM inicijativa je na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/brite-euram/>.

Trenutno je deo IMT (*Industrial Materials Technologies - Tehnologije industrijskih materijala*) inicijative.

COST [5] (*European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research - Evropska kooperacija u oblasti naučnog i tehnološkog istraživanja*) je Evropski kooperativni program, započet 1971. godine, u oblasti naučnih i tehnoloških istraživanja. U okviru COST programa učestvuju institucije iz 46 zemalja sveta (34 iz Evrope). Programom COST upravlja Evropska komisija (EC), dok je tehnička podrška poverena fondaciji ESF. Francuski naziv za program COST je: *Co-opération Européenne dans le Domaine de la Recherche Scientifique et Technique*. COST program je dostupan na Web sajtu: <http://cost.esf.org/> i <http://cordis.europa.eu/cost/>.

Započeto je i proširenje ovog projekta za oblast telekomunikacija, informacione nauke i tehnologije, pod skraćenim nazivom COST-TIST (*European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research - Telecommunications, Information Science and Technology - Evropska kooperacija u oblasti naučnog i tehnološkog istraživanja - telekomunikacije, informaciona nauka i tehnologija*) koji je dostupan na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/cost/>. Sedište COST programa je u okviru fondacije ESF u Briselu (Belgija).

ESPRIT [5] (*European Strategic Programme for Research & Development in Information Technology - Evropski strateški program za istraživanje i razvoj u informacionoj tehnologiji*) je integralni i specifični Evropski RTD program ili skup razvojno istraživačkih projekata, započet 1984. godine, za oblast nauke i tehnologije, sa posebnim osvrtnom na informacione tehnologije (*Information Technology - IS*) i njene granične oblasti, koji uključuje nekoliko desetina evropskih firmi, istraživačkih laboratorija i vladinih agencija. ESPRIT program je dostupan na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/esprit/>. Do sada je realizovano preko 1.000 projekata u okviru programa ESPRIT

EUREKA [5] (*European Research Coordination Agency - Agencija za koordinaciju Evropskih istraživanja*) je kompleksan Evropski program ili skup projekata, započet 1985. godine, za različite oblasti Evropskog programa za visoko tehnološka istraživanja i razvoj. Program EUREKA je osmišljen sa ciljem da, kroz eksploataciju naprednih tehnologija, omogući orijentaciju tržišta, globalnu konkurentnost, ojača konkurentnu poziciju Evropskih kompanija na svetskom tržištu i poboljša kvalitet života. Mrežu programa EUREKA čine industrije i istraživačke institucije iz 27 Evropskih zemalja i zemalja EU. EUREKA program je dostupan na Web sajtu: <http://www.eureka.be/>. Do sada je realizovano preko 2.000 projekata u okviru programa EUREKA. Programom EUREKA upravlja Agencija za koordinaciju Evropskih istraživanja (*European Research Coordination Agency*) sa sedištem u Brüsselu (Belgija), po čijem nazivu neki smatraju da je i nastala ova skraćenica.

GRID [5] je Evropski projekat započet, na početku novog milenijuma, sa ciljem stvaranja hardverske i softverske infrastrukture i ujedinjenja računarske snage naučnih

institucija iz celog sveta radi rešavanja najsloženijih problema u nauci. Projektom GRID rukovodi CERN institucija, a mrežna infrastruktura se sastoji od računarskih centara smeštenih u naučnim institucijama u Pragu, Lionu, Karlsruheu, Budimpešti, Bolonji, Krakovu, Moskvi, Barceloni, ali i Tokiju i na Tajvanu, dva centra u Velikoj Britaniji i nekoliko u SAD-u. Koristeći mreže velike brzine i ogromnu snagu računara GRID deli podatke i računarske resurse u okviru centara, a u skoroj budućnosti postaće dostupna javnosti. Na osnovu toga se predviđa da će GRID naslediti Internet kao sledeća prelomna tehnologija. Prva faza projekta GRID nazvana je LCG-1 (*LHC Computing Grid - I*).

GRID projekat je dostupan na Web sajtu: <http://www.cordis.lu/ist/rn/grids.htm>.

IMS [5] (*Intelligent Manufacturing Systems - inteligentni proizvodni sistemi*) je Evropski industrijski vođen međunarodni istraživački i razvojni program ili inicijativa ustanovljena sa ciljem da razvija sledeću generaciju proizvodnih i obradnih sistema i tehnologija. U ovom programu učestvuju kompanije i istraživačke institucije iz: Australije, EU, Japana, Južne Koreje, Kanade, Norveške, SAD-a i Švajcarske.

IMS program je dostupan na Web sajtovima: <http://www.ims.org/> i <http://cordis.europa.eu/ims/>.

U okviru IMS programa ustanovljena je i dodeljuje se godišnja nagrada za dostignuća iz ove oblasti.

IST [5] (*Information Society Technologies - tehnologije informatičkog društva*) je program i važnije teme istraživanja i tehnološkog razvoja u okviru RTD okvirnih programa (FP) Evropske unije (EU), za oblast informacionih tehnologija (IS).

IST program je dostupan na Web sajtu: <http://cordis.europa.eu/ist/>.

Za potrebe realizacije IST programa formirana je i savetodavna grupa za IST (*IST Advisory Group - ISTAG*) i komitet za IST (*IST Committee - ISTC*).

U okviru IST programa ustanovljena je Evropska nagrada za IST (*European IST Prize - EISTP*). To je najistaknutija Evropska nagrada za inovacione proizvode i usluge u oblasti tehnologija informatičkog društva (IST), koja je prvi put dodeljena 1996. godine, i od tada se dodeljuje svake godine. Informacije o ovoj nagradi dostupne su na Web sajtovima: <http://www.ist-prize.org/> i http://europa.eu/information_society/istevent/2004/eistp/index-en.htm/

4. ZAKLJUČAK

Prema zvaničnim podacima najveći procenat izdvajanja za RTD imaju Japan i SAD. Dok su 15 zemalja EU izdvajale nešto više od 1,9 % od BNP, a planirano je da ta stopa do 2010. godine, poraste na 3 % od BNP.

R&TD trendovi u novom milenijumu za proizvodnju obezbeđuje nove mogućnosti za razvoj materijalne baze na osnovama informacionih tehnologija, novih proizvodnih tehnologija (npr. mikro i nanotehnologije, laserska obrada, vibro-obrada i sl.) i novih proizvodnih i tehnoloških sistema (FMS, IMS, RMS, AMS i sl.), e-proizvodnje i virtuelnih preduzeća.

Okvirni programi (FP) i globalni programi i projekti (BRITE-EURAM, COST, ESPRIT, EURATOM, EUREKA, GRID, GEANT, IST, NMP, TEN itd.) su glavni instrument za stvaranje tzv. Evropskog istraživačkog prostora (ERA), koji je ustanovljen marta 2000. godine u toku realizacije 5. okvirnog programa (FP5). Glavni cilj Evropskog istraživačkog prostora (ERA) je da zemljama EU obezbedi izgradnju društvu znanja, kao novom naučno-tehnološkom progresu.

LITERATURA

- [1] *Brief Glossary of the European Union Abbreviations*. Available on Web site: <http://www.uta.fi/FAST/GC/emgloss.html>.
- [2] *Britanica, On-Line Encyclopedia*. <http://www.britanica.com/>.
- [3] *Building the European Information Society for us all: Final policy report of the high-level expert group*. Brussels (Belgium): European Commission, 1997. 72 pp. Available on Web site: http://ec.europa.eu/employment_society/docs/buildingen.pdf.
- [4] *Building the knowledge society. Report to government*. Dublin (Ireland): Information Society Commission, 2002. – 70 pp. <http://www.isc.ie/downloads/know.pdf>.
- [5] Dašić, P.: *Enciklopedija tehničkih i ICT skraćenica*. Trstenik: Viša tehnička mašinska škola, 2006. – 2000 s. ISBN 86-83803-12-0.
- [6] Dašić, P.: *Osnove PC računara*. Skripta. Trstenik: Viša tehnička mašinska škola, 2004. – 200 s.
- [7] Dašić, P.: European RTD framework programme. Plenary and invitation paper. In: *Proceedings of 4th International Conference "Research and Development in Mechanical Industry - RaDMI 2004"*, Zlatibor, Serbia and Montenegro, 31. August to 04. September 2004. Edited by Predrag Dašić. Kraljevo: Faculty of Mechanical Engineering of and Trstenik: High Technical Mechanical School, 2004, pp. 29-34. ISBN 86-83803-16-3 (for Proceedings Volume 1 in hard copy) and ISBN 86-83803-18-X (for Proceedings in electronic form on CD-ROM).
- [8] Dašić, P.: *Računarske skraćenice*. Kruševac: Viša tehnološko tehnička škola i Trstenik: Viša tehnička mašinska škola, 1996. – 133 s. COBISS.SR-ID 141913351.
- [9] Dašić, P.; Ječmenica, R.; Nedić, B.: Istorijski prikaz i tendencije daljeg razvoja proizvodnog mašinstva, Uvodni referat i rad po pozivu. U: *zborniku uvodnih referata 30. jubilarnog savetovanja proizvodnog mašinstva Srbije i Crne Gore sa međunarodnim učešćem*, Vrnjačka Banja, 01-03. septembar 2005. Editor: Ratomir Ječmenica. Čačak: Tehnički fakultet Univerziteta u Kragujevcu, 2005, s. 95-102. ISBN 86-7776-11-3 (za zbornik uvodnih referata u štampanom obliku) i ISBN 86-7776-10-5 (za elektronsku formu na CD-ROM-u).
- [10] *eEurope 2005: An information society for all. An action plan*. Sevilla (Spanish): European council, 21-22. June 2002. 23 pp. Available on Web site: <http://www.tiaonline.org/policy/regional/europe/eEurope.pdf>.
- [11] *Glossary and Acronyms of the Europe's Information Society*. Available on Web site: http://europa.eu.int/information_society/help/glossary/text_en.htm.
- [12] *Glossary of the European Union and European Communities*. Available on Web site: <http://www.uta.fi/FAST/GC/eurgloss.html>.
- [13] Malanowsky, N.: Vorstudie für eine innovations - und technikanalyse (ITA) nanotechnology (Study for an innovation and technological analysis (ITA) of nanotechnology). VDI-Technologiezentrum, Band. 35 (2001.). ISSN 1436-5928.
- [14] Schulenburg, M: *Nanotechnology: Innovation for tomorrow's world*. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities, 2004. – 56 pp. ISBN 92-894-7498-X.
- [15] *Study on the impact of the telematics for libraries FP4 programme*. Techserv, 1999. Available on Web site: <ftp://ftp.cordis.lu/pub/ist/docs/digicult/impact.pdf>.
- [16] *Third European report on science & technology indicators, Towards a knowledge – based economy*. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities, 2003. – 451 pp. ISBN 92-894-1795-1.



ODREĐIVANJE PRIPREMKA POMOĆU FUZZY LOGIKE

R. Antić ¹⁾

Rezime. Radom se definiše automatsko projektovanje priprema pomoću fuzzy logike. Korišćena je metoda FAM (fuzzy associative memorie) i generativni CAPP sistem. Urađena je baza podataka dodatka obrade metala rezanjem za cilindrične i prizmatične predmete rada. Softver je urađen sa pratećim CAD sistemom u Delfi-programskom jeziku, koji je kompatibilan sa C++jezikom. Definisani su fuzzy modeli za dimenzije priprema.

Ključne reči: fuzzy pravila, generativni FUZZYCAPP sistem, fuzzy t norma min

PROJECTION OF PREPARATION TOOL THROUGH FUZZY LOGIC

Abstract: The work defines automatic projection of preparation tool through fuzzy logic. FAM (fuzzy associative memory) method and generative CAPP system are used. Data base of annex of metal processing by cutting for cylinder and prism objects is created. Softver is created with CAD system in delfi-programme language, which is compatible with C++language. Fuzzy models for dimensions of preparation tool and tolerance are defined.

Key words: fuzzy rules, generative FUZZYCAPP system, t norm min.

1. UVODNA RAZMATRANJA

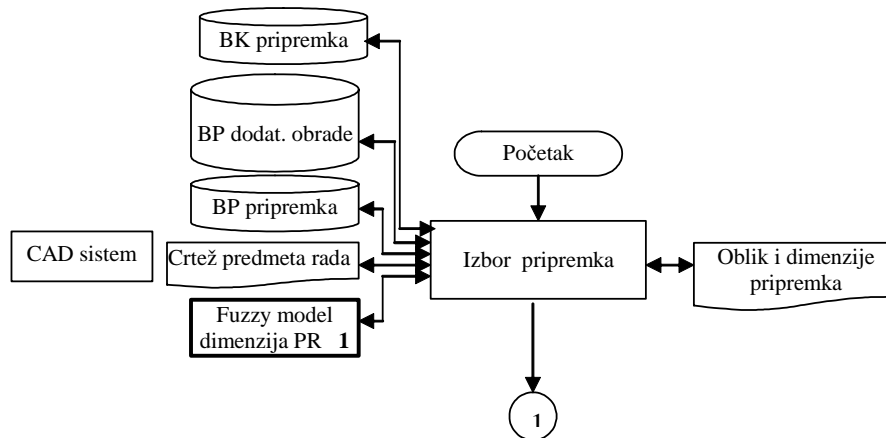
Određivanje priprema je prvi elemenat projektovanja tehnoloških procesa, samim tim i projektovanja tehnološkog procesa pomoću računara i fuzzy logike (FUZZYCAPP).

Devedesetih godina prošlog veka su definisani inteligentni tehnološki sistemi pomoću veštačke inteligencije. U to vreme su objavljeni prvi radovi u svetu i kod nas u vezi primene fuzzy logike na CAPP sisteme. Podloge za FUZZYCAPP sisteme su fuzzy skupovi i fuzzy logika. Najzaslužniji za stvaranje fuzzy skupova, koji su nastali pedesetih godina je Zadeh. Usavršavanje fuzzy skupova sa praktičnog aspekta je ostvario Kosko devedesetih godina. U fuzzy logici odlučujući faktor su fuzzy modeli ulaznih i izlaznih veličina elemenata TP i registrovanje njihovih rezultata

¹⁾ Radivoje Antić, Viša tehnička tehnološka škola u Vranju, VSPS@ptt.yu

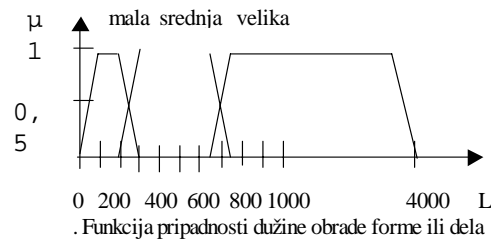
2. ODREĐIVANJE PRIPREMA ZA CILINDRIČNE I PRIZMATIČNE PREDMETA RADA

Za određivanje priprema, projektovanja tehnološkog procesa osnovni podaci se dobijaju sa crteža CAD sistema. Korišćenjem upravljačkog programa za određivanje priprema aktiviraju se baza podataka (BP) dodatka obrade i karakteristika priprema; baza znanja (BK) priprema i stepen pripadnosti fuzzy promenljivih, prema slici 1.



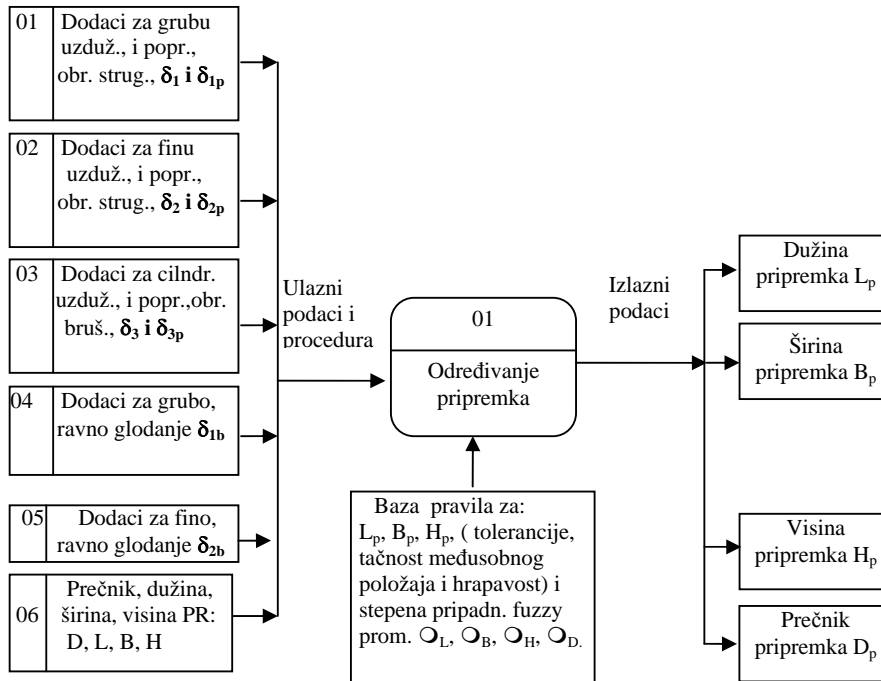
Slika 1. Dijagram toka određivanja priprema

Modul za određivanje dimenzija i oblika priprema u okviru CAPP sistema, pomoću fuzzy logike, koristi podatke crteža iz CAD sistema. To su podaci: dimenzija, tolerancija, tačnosti međusobnog položaja i hrapavosti obrađene površine predmeta rada. Upravljački program ovog modula uzima navedene podatke prema BK analiziranjem fuzzy pravila. Pomoću pravila se biraju podaci dimenzija predmeta rada (PR), dodatka obrade i stepena pripadnosti prema slici 2. Definisani su stepeni pripadnosti za dužinu i prečnik cilindričnih i prečnik, širina, visina prizmatičnih kao i stepen pripadnosti tolerancije.



Slika 2.

Detaljnijim dijagramom toka prema slici 3 je definisan pripremak za cilindrične i prizmatične delove.



Slika 3. Detaljan dijagram toka kod određivanja dimenzija i oblika pripremk

Osnovna fuzzy pravila iz BP, prema formama na slici 3 su sledeća:

Baza pravila

Za prizmatičan oblik kvadratnog preseka f29.1 u odnosu na glavne cilindrič.forme f13-f30

IF f29.1 and B or $A < D$ and $D < A \sqrt{2} = D_1$ and f13 THEN D_p and L_p
 IF f13,14,15,18,19,20,21 i 30 μ_D and it6 THEN $D_p \mu_D = D_1 + \delta_1$ tabl. BP1+ δ_2 tabl. BP2+ δ_3 , and $\min(\mu_D(D), (\mu_D(D_p)))$ tabl. BP3.

Za prizmatičan oblik pravoug. preseka f29.2 i f29.3 u odnosu na glavne cilindrič.forme f13-30

IF f29.4 and B or $B < D$ and $D < \sqrt{(B^2 + H^2)}$ and f13,14,15,18,19,20,21 i 30 THEN D_p and L_p .
 IF f13,14,15,18,19,20,21 i 30 μ_D and it6 THEN $D_p \mu_D = D_1 + \delta_1$ tabl. BP1+ δ_2 tabl. BP2+ δ_3 and $\min(\mu_D(D), (\mu_D(D_p)))$ tabl. BP3.

Za prizmatičan oblik šestoug. preseka f29.4 u odnosu na glavne cilindrič.forme f13-30

IF f29.4 and B $H < D$ and $D < B \sqrt{2}$ and f13,14,15,18,19,20,21,30 i 31 THEN D_p and L_p
 IF f13,14,15,18,19,20,21,30 i 31 μ_D and it6 THEN $D_p \mu_D = D_1 + \delta_1$ tabl. BP1+ δ_2 tabl. BP2+ δ_3 and $\min(\mu_D(D), (\mu_D(D_p)))$, tabl. BP3.

IF f11 and L μ_L and it6 and IF f12 and L and μ_L and it6 THEN $Lp\mu_L = L_{C1} + L_{C2} + L_{K1} + L_{K2} + L_E + 2\delta_{1P} + 2\delta_{2P} + 2\delta_{3P} + b$ and $\min(\mu_L(L), (\mu_L(L_p)))$ tabl. BP4.

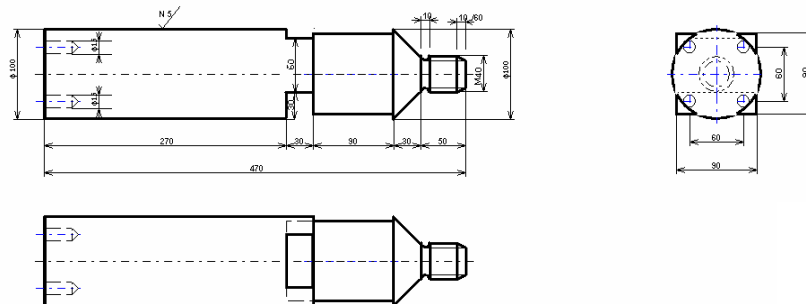
IF f11 and L μ_L and it7 and IF f12 and L and μ_L and it7 THEN $Lp\mu_L = L_{C1} + L_{C2} + L_{K1} + L_{K2} + L_E + 2\delta_{1P} + 2\delta_{2P} + b$ and $\min(\mu_L(L), (\mu_L(L_p)))$, tabl. BP4.

IF f11 and L and μ_L and it9 and IF f12 and L μ_L and it9 THEN $Lp\mu_L = L_{C1} + L_{C2} + L_{K1} + L_{K2} + L_E + 2\delta_{1P} + b$ and $\min(\mu_L(L), (\mu_L(L_p)))$, tabl. BP4.

Izraz za proračun dimenzija priprema je:

D_{ob} ili B_{ob} ili $H_{ob} = D$ ili B ili H + množ b_1 + množ b_2 + množ b_3 + ... + množ b_n

Baza podataka je sadržana u odgovarajućim tabelama: BP1, BP2, BP3, BP4



Slika 5. Predmet rada za određivanje priprema sa dimenzijama
Pripremak predmeta ima dimenzije:

$D_p = 130$ - stepen pripadnosti 1; $L_p = 494,2$ - stepen pripadnosti 1

3. ZAKLJUČAK

Suština određivanja priprema pomoću fuzzy logike je ocenjivanje rešenja pomoću fuzzy skupova. To ocenjivanje rešenja je ostvareno pomoću t norme minimizacije, usvajanjem minimalne vrednosti stepena pripadnosti pri upoređivanju ulaznih i izlaznih fuzzy promenljivih. Koristi se i t norma maksimizacije pri usvajanju konačnog rešenja od ponuđenih sa maksimalnom vrednošću. U okviru projekta FUZZCAPP sistema urađen je softver.

4. LITERATURA

1. Y. Fzhang, Z., GU., Nee, A., Y., C., Generic form feature recognition and operation selection using connectionist modelling, Journal of Intelligent Manufacturing, 6, 263-273, 1995.
2. G. Devedžić, Rešavanje problema disperzije kriterijuma i automatizovanog izbora reznih alata, doktorska disertacija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 1998.
3. R., Antić, Osnove razvijenog FUZZCAPP sistema, XXXII Jupiter konferencija, Zlatibor, 2005.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

MODELIRANJEM I RAČUNARSKOM SIMULACIJOM DO BOLJEG KVALITETA PROIZVODA

Z. Marjanović¹⁾, R. Brzaković²⁾

Rezime: U radu su objašnjeni pojmovi modeliranja i računarska simulacija. Data je veza između modela, realnog sistema i računarske simulacije. Šematski je prikazan proces modeliranja i simulacije, i objašnjena validacija modela, bez koje nema uspešnog procesa modeliranja. Cilj ovog rada je smanjenje troškova proizvodnje, jer se modelira i računarski simulira realan proces uz odgovarajuća prihvatljiva pojednostavljenja. Pored smanjenja troškova, pozitivan je uticaj modeliranja i simulacije na kvalitet proizvoda. U radu je kao primer urađena simulacija pokretanja asinhronog motora.

Cljučne reči: modeliranje, računarska simulacija, kvalitet proizvoda

BETTER QUALITY OF PRODUCTS THROUGH MODELLING AND COMPUTER SIMULATION

Abstract: Terms modelling and computer simulation are explained in this paper. It shows connection between the model, real system and computer simulation. Processes of modelling and simulation are given schematically, and model validation is explained, as a necessary factor for successful modelling process. The aim of this paper is reduction of production costs, due to modelling and computer simulation of the real process with acceptable corresponding simplifications. Besides cost reduction, modelling and computer simulation have positive effect on quality of products. This paper shows an example of computer simulation of asynchronous engine activation.

Key words: modelling, computer simulation, quality of products

1. UVOD

Modeliranje izražava našu sposobnost da mislimo i zamišljamo, da koristimo simbole i jezike, da komuniciramo, da vršimo generalizacije na osnovu iskustva, da se suočavamo sa neočekivanim. Ono nam omogućava da uočavamo obrasce, da procenjujemo i predviđamo, da upravljamo procesima i objektima, da izložimo značenje i cilj. Upravo zato, modeliranje se najčešće posmatra kao najznačajnije konceptualno sredstvo koje čoveku stoji na raspolaganju [1]. U najširem smislu, modeliranje predstavlja isplativo korišćenje nečeg (modela) umesto nečeg drugog (realni sistem) sa ciljem da se dođe do određenog saznanja. Rezultat modeliranja je

¹⁾ Zoran Marjanović, Institut za automobile, ZA, Kragujevac, brzijax@yahoo.com

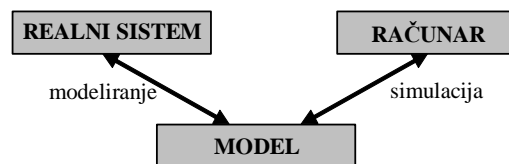
²⁾ Radomir Brzaković, PJ Informacioni sistemi, ZA, Kragujevac

model. Model je uprošćena i idealizovana slika realnosti. On omogućava da se suočimo sa realnim svetom (sistemom) na pojednostavljen način, izbegavajući njegovu kompleksnost i ireverzibilnost, kao i sve opasnosti koje mogu proisteći iz eksperimenta nad samim realnim sistemom. Cilj modela je da uobliči na vidljiv, često formalan način, ono što je suštinsko za razumevanje nekog aspekta njegove strukture ili ponašanja [2]. Pod simulacijom, računarski stručnjaci, organizatori, menadžeri ili statističari, podrazumevaju proces izgradnje apstraktnih modela za neke sisteme ili podsisteme realnog sveta i obavljanje većeg broja eksperimenata nad njima. Posebno nas interesuje slučaj kada se ti eksperimenti odvijaju na računaru - računarsko modeliranje i simulacija.

2. MODELIRANJE I SIMULACIJA

Savremeno modeliranje nezamislivo je bez računara. U modeliranju, računari se koriste u dva cilja: u razvoju modela i u izvođenju proračuna na osnovu stvorenog modela. Na taj način, modeliranje pomoću računara postaje disciplina kojom se mogu adekvatno i efikasno prikazivati složeni sistemi i oblikovati i ispitivati njihovo ponašanje.

Izraz modeliranje i simulacija izražava složenu aktivnost koja uključuje tri elementa: realni sistem, model i računar (slika 1) [2].



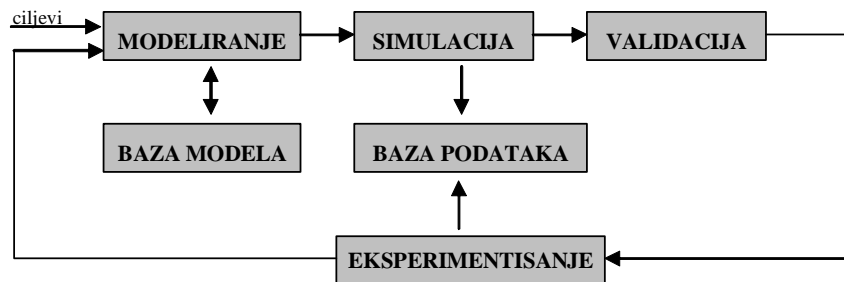
Slika 1. Relacije modeliranja i simulacije

Pod realnim sistemom podrazumevamo uređen, međuzavisan skup elemenata koji formiraju jedinstvenu celinu i deluju zajednički kako bi ostvarili zadati cilj ili funkciju, bez obzira da li se radi o prirodnom ili veštačkom sistemu, i takođe, bez obzira da li taj sistem u posmatranom trenutku postoji ili se njegovo postojanje planira u budućnosti. Model, kao i svaki realni sistem, ima svoje objekte koji se opisuju atributima ili promenljivim. On je apstraktni prikaz sistema i daje njegovu strukturu, njegove komponente i njihovo uzajamno delovanje. Računar kao treća komponenta ove aktivnosti, predstavlja uređaj sposoban za izvršenje instrukcija modela, koji na bazi ulaznih podataka generiše razvoj modela u vremenu.

Međutim, pored ovih elementa, pažnju treba usmeriti i na otkrivanje i definisanje relacija koje postoje između njih. Modeliranje je proces kojim se uspostavlja veza između realnog sistema i modela, dok je simulacija proces koji uspostavlja relaciju između modela i računara (slika 1).

Na slici 2 su prikazane aktivnosti procesa modeliranja i simulacije sa bazom modela kao centralnim objektom. Procesom modeliranja se upravlja na osnovu ciljeva koji se generišu van granica sistema. Svaki novi cilj inicira aktivnost sinteze modela. Pri sintezi modela se koristi raspoloživo znanje iz baze modela i baze podataka. Ove baze čuvaju i organizuju prikupljene podatke o realnom sistemu. Faze simulacije (eksperimentisanje sa modelom) i validacije slede fazu izgradnje modela [2].

Relacija modeliranja odnosi se na validnost modela. Validnost ili valjanost modela opisuje koliko verno jedan model predstavlja simulirani sistem. Proces utvrđivanja stepena slaganja podataka o realnom sistemu sa podacima modela naziva se validacija modela. Proces validacije je veoma značajan, jer se na osnovu njega donose odluke o upotrebljivosti rezultata simulacije, izmeni modela, izmeni ulaznih promenljivih, daljem nastavku simulacije, ponavljanju simulacije, itd.



Slika 2. Proces modeliranja i simulacije

Relacija simulacije odnosi se na proveru da li simulacioni program verno prenosi model na računar kao i tačnost kojom računar izvršava instrukcije modela. Pre poređenja stvarnih podataka sa podacima koje generiše računar, mora se utvrditi tačnost, odnosno korektnost računara. Proces procene korektnosti simulatora naziva se verifikacija. Validacija vodi novom eksperimentisanju nad realnim sistemom i može da zahteva dodatne modifikacije ili čak odbacivanje i reinicijalizaciju prvobitnog modela. U tom procesu, kao rezultat nedostatka podataka u bazi znanja mogu se formulisati novi ili izmeniti postojeći ciljevi. Na kraju, kao rezultat javlja se jedan ili više modela koji vode ka ispunjenju eksternih ciljeva. Modeli se mogu memorisati u bazi modela i koristiti u nekoj narednoj fazi aktivnosti.

U ovom radu za simulaciju pokretanja asinhronog motora, korišćen je matematički model asinhronog motora, čija klasifikacija može da bude izvedena po više kriterijuma:

- prema promenljivima u modelu matematički model asinhronog motora je model sa memorijom jer ima promenljive stanja ($\Psi_d, \Psi_q, \Psi_D, \Psi_Q, \omega$). Zavisno od ulaznih promenljivih matematički model asinhronog motora je neautonomni (jer ima ulazne promenljive m_m, u_d, u_q) otvoreni (jer ima izlazne promenljive $i_d, i_q, i_D, i_Q, \omega$) model,
- prema prirodi vrednosti promenljive matematički model asinhronog motora je model sa kontinualnim stanjima,
- prema prirodi vrednosti promenljive "vreme" matematički model asinhronog motora je model sa kontinualnim vremenom i kontinualnim promenama stanja,
- prema vremenskoj strukturi modela matematički model asinhronog motora je vremenski promenljivi model (struktura modela zavisi od vremena),
- prema determinisanosti promenljivih matematički model asinhronog motora je nedeterministički (stohastički) model,
- prema predviđanju budućnosti matematički model asinhronog motora je neanticipatorski model jer za izračunavanje vrednosti promenljivih stanja ne uzimaju u obzir buduće vrednosti ulaznih promenljivih,
- prema linearnosti matematički model asinhronog motora je linearni model jer daje izlaze saglasno zakonitostima linearnih transformacija.

3. SIMULACIJA POKRETANJA ASINHRONOG MOTORA U MATLABU

Za asinhroni motor jednačine prostora stanja su:

$$\begin{aligned} \frac{d[x_a]}{dt} &= [A_a][x_a] + [B_a][z_a] \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{J}m_c - \frac{1}{J}m_m \\ \frac{d\theta}{dt} &= \omega \\ [y] &= \begin{bmatrix} [C_a] & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} [x] \end{aligned} \quad (1)$$

Oznake korišćene u jednačinama su:
 u_S, u_R – napon na priključcima,
 R_S, R_R – otpornost namotaja,
 Ψ_S, Ψ_R – fluks statora, rotora,
 ω_S – sinhrona brzina,
 ω – ugaona brzina,
 L_S, L_R – induktivnost namotaja,
 m_c – elektromagnetni moment,
 m_m – moment opterećenja,
 i_S, i_R – struja statora, rotora.

Vektori stanja $[x]$, izlaza $[y]$ i ulaza $[z]$ i matrice su:

$$\begin{aligned} [x] &= \begin{bmatrix} \Psi_d \\ \Psi_q \\ \Psi_D \\ \Psi_Q \\ \omega \\ \theta \end{bmatrix}; & [y] &= \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_D \\ i_Q \\ \omega \\ \theta \end{bmatrix}; & [z] &= \begin{bmatrix} u_d \\ 0 \\ u_q \\ 0 \\ m_m \end{bmatrix}. \\ [A_a] &= \begin{bmatrix} -\frac{R_S L_R}{L_S L_R - M^2} & \frac{R_S L_R}{L_S L_R - M^2} & \omega_S & 0 \\ \frac{R_R M}{L_S L_R - M^2} & -\frac{R_R M}{L_S L_R - M^2} & 0 & \omega_{kl} \\ -\omega_S & 0 & -\frac{R_S L_R}{L_S L_R - M^2} & \frac{R_S L_R}{L_S L_R - M^2} \\ 0 & -\omega_{kl} & \frac{R_R M}{L_S L_R - M^2} & -\frac{R_R M}{L_S L_R - M^2} \end{bmatrix}; \\ [B_a] &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \\ [C_a] &= \begin{bmatrix} \frac{L_R}{L_S L_R - M^2} & -\frac{M}{L_S L_R - M^2} & 0 & 0 \\ \frac{M}{L_S L_R - M^2} & \frac{L_S}{L_S L_R - M^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{L_R}{L_S L_R - M^2} & -\frac{M}{L_S L_R - M^2} \\ 0 & 0 & -\frac{M}{L_S L_R - M^2} & \frac{L_S}{L_S L_R - M^2} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

i elektromagnetski moment je $m_c = \frac{3}{2} \cdot \frac{p}{2} (\Psi_d \cdot i_q - \Psi_q \cdot i_d)$.

Na bazi jednačine prostora stanja (1) načinjena je razrađena dinamička blok-šema (slika 3) koja je korišćena za simulaciju pokretanja jednog asinhronog motora.

Podaci o motoru su sledeći: $Q=3, p=2, U_n=220V, I_n=2,1A, f_n=50Hz, R_S=10 \Omega, L_S=0,462 H, R_R=6,3 \Omega, L_R=0,462 H, M=0,422 H, J=0,00715 \text{ kgm}^2$.

Usvaja se sistem relativnih jedinica sa sledećim baznim veličinama:

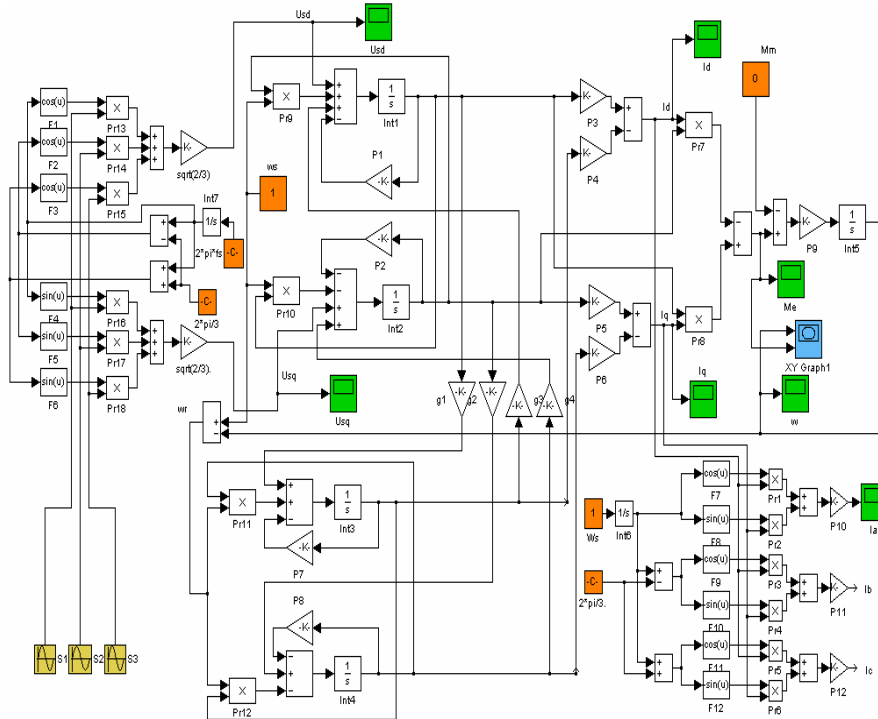
$$U_b = \sqrt{3}U_n = 381,05V; I_b = \sqrt{3}I_n = 3,637A; \omega_b = \omega_{sn} = 2\pi f_n = 314,16 \text{ rad} / \text{s};$$

$$\omega_{mb} = \frac{\omega_b}{p} = 157,08 \text{ rad} / \text{s} = 1500 \text{ ob} / \text{min}; t_b = \frac{1}{\omega_b} = 1,383 \text{ ms}; Z_b = R_b = \frac{U_b}{I_b} = 104,76 \Omega;$$

$$L_b = \frac{Z_b}{\omega_b} = 0,333 \text{ H}, P_b = U_b I_b = 1,386 \text{ W}; M_b = \frac{P_b}{\omega_{mb}} = 8,824 \text{ Nm}; \Psi_b = \frac{U_b}{\omega_b} = 1,213 \text{ Wb}.$$

Parametri motora u sistemu relativnih jedinica iznose:

$$R_S=0,0955, L_S=1,385, R_R=0,0601, L_R=1,385, M=1,2655, T_m=143.$$



Slika 3. Razrađena dinamička blok šema asinhronog motora u Matlabu

U prilogu su prikazane zavisnosti (dobijene u simulinku Matlabu uz pomoć blok šeme) ugaone brzine od vremena, momenta od vremena, momenta od brzine-mehanička karakteristika asinhronog motora, uzdužne komponente statorske struje od vremena, poprečne komponente statorske struje od vremena i struje u fazi "a" od vremena.

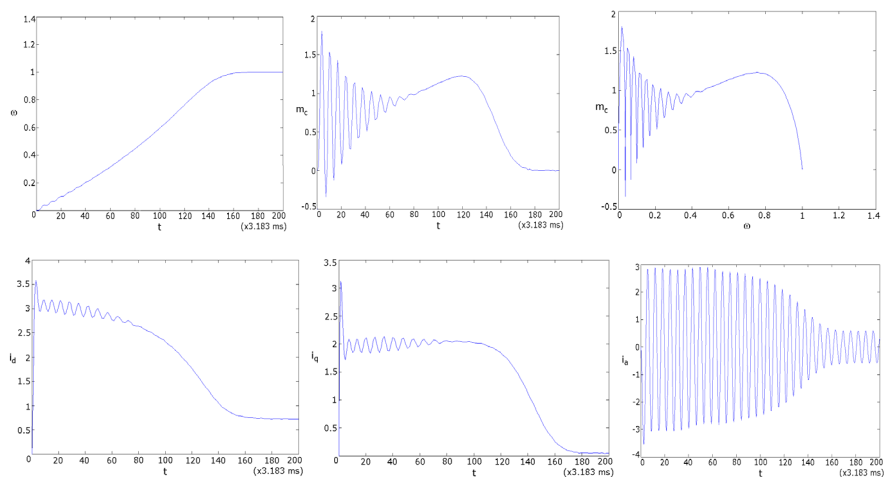
4. ZAKLJUČAK

Iz rada se vidi da postoji poboljšanje kvaliteta proizvoda primenom modeliranja i računarske simulacije. Kao primer urađeno je modeliranje i simulacija pokretanja asinhronog motora korišćenjem programskog paketa Matlab verzije 4, i primenom Blondelove transformacije. Prednost Blondelove transformacije se ogleda u tome da se smanjuje broj promenljivih i broj jednačina u matematičkom modelu asinhronog motora. Sve sopstvene i međusobne induktivnosti, koje su zbog obrtanja rotora u odnosu na stator promenljive, postaju konstante, pa jednačine fluksnih obuhvata postaju linearne jednačine sa konstantnim koeficijentima. Pogodnost pri modeliranju asinhronog motora, pored primene Blondelove transformacije, ogleda se u tome što je model asinhronog motora linearan. Simulacija pokretanja asinhronog motora u Matlabu pruža mogućnost praćenja izlaznih parametara asinhronog motora zavisno od promene ulaznih parametara. Ova mogućnost pruža značajne uštede (smanjuje troškove) i poboljšava kvalitet proizvoda (u ovom slučaju asinhronog motora).

LITERATURA

1. Radenković B., Stanojević M., Marković A.: *Računarska simulacija*, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, 1999.
2. Janković A.: *Skripta predavanja iz predmeta Modeliranje dinamičkih sistema*, Centar za interdisciplinarne i multidisciplinarne studije i istraživanja, Kragujevac, 2005.
3. Krause P. C.: *Analysis of Electric Machinery*, Mc Graw Hill, 1996.
4. Vukosavić S.: *Skripta predavanja iz predmeta Električna vuča*, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2002.
5. Magazin *Simulation*, Decembar 1999.
6. <http://ubmail.ubalt.edu/~harsham/simulation/sim.htm>

PRILOG





ZNAČAJ BOJE U TEHNOLOŠKOM LANCU IZRADE PROIZVODA

N. Vesić ¹⁾

Rezime. Boja je postala objekt interesovanja ne samo umetnika, već i fizičara, hemičara, inženjera. Reč boja se upotrebljava u više različitih značenja, sa jedne strane da označi osećaje koje ima čovek kada na mrežnjaču njegovog oka pada energija zračenja, a sa druge u cilju određivanja svojstava nekog objekta, kao na primer kada se kaže – automobil je crven U radu je opisan značaj boje u tehnološkom lancu izrade proizvoda.

Ključne reči: boja, automobil, kolorimetrija, luminancija

THE COLOR IMPORTANCE IN THE TECHNOLOGICAL CHAIN OF PRODUCTS MANUFACTURING

Summary. Color is the subject of interest, not only for artists, but also for physicist, chemists and engineers. The word "color", is used to name different things, on one side to describe a feeling that man experiences, when the radiance energy falls on his retina, and on the other side, this word defines characteristics of some product, for example, when someone says " The automobile is red". In this paper, it is described the color importance in the technological chain of products manufacturing.

Key words: color, car, colorimetry, liminance

1. UVOD

Obzirom da se ocena boje često izvodi prema ličnom utisku ili iskustvu posmatrača, nemoguće je ostvariti preciznost za svaku boju koristeći opšte uniformisane standarde. Suprotno dužini ili težini, ne postoji skala u fizici prema kojoj bi se merila boja, niti se sa sigurnošću, na isti način, može dati odgovor na pitanje koja je to boja posmatranog objekta. Na primer, ako postoji sveopšte mišljenje "more je plavo" ili "nebo je plavo", svaki pojedinac doživljava različito plavu boju, zato što je, pre svega, osetljivost na boju različita, individualna. Osnovni problem koji se postavlja pred posmatrača je dati odgovor na pitanje, zašto ista boja izgleda različito?

2. BOJA

Boja je prirodna stvar opažanja (percepcije) i subjektivnog tumačenja, tj. interpretacije. Ako se posmatra neki objekat (na primer: automobil), sa različitih stanovišta se doživljava i različitim rečima iskazuje njegova boja, jer postoji široka raznolikost načina izražavanja boje. Ukoliko par ljudi opišu boju automobila kao

¹⁾ Nataša Vesić, dipl. ing., Zastava automobili, Kragujevac, nacco@verat.net

"vatreno crvena", postavlja se pitanje da li se može očekivati od istih, sposobnost tačne reprodukcije boje.

Verbalno, tj. usmeno izražavanje boje je takođe komplikovano i teško. Međutim, postoji standardni metod pomoću kojeg se boje tačno definisane i interpretacija je dostupna za ma koga, a povezanost boja izuzetno jednostavna i egzaktna. Tako precizno definisanje boja eliminiše probleme srodnosti boja i individualnog doživljavanja i predstavljanja boja od strane posmatrača.



Slika 1. Četiri različita posmatrača – četiri različita tumačenja boje

2.1. Opšti i sistemski nazivi boja

Reči za izražavanje tj. iskazivanje boja, menjaju se vremenom. Ako se uzme u obzir, na primer, crvena boja o kojoj se govori u radu, spominju se "cinober", "tamnocrvena", "ružičasta", "bordo", "ljubičastocrvena" itd. Postoji potreba za opštim nazivom boje. Pri analiziranju stanja boje uz dodatak opisnog prideva, kao što su "svetao", "mutan" i "dubok", može se opisati boja preciznije. Izrazi, kao što je "svetlo crvena" koriste se, na primer, pri opisivanju lica ljudi i pripadaju u sistemske nazive boja. Iako postoji raznovrsnost u načinu opisivanja boje, različiti ljudi imaju osećaj da je boja baš "tamnocrvena" ili "svetlo crvena", interpretirajući to samo na različite načine. Tako, usmeno izražavanje ili ustaljeni izraz za boju nije dovoljno preciziran. Otuda, postavlja se pitanje na koji način definisati boju a da ne dođe do nesporazuma posmatrača?

2.2. Uticaj različitih faktora na boju

Na precizno definisanje boje utiču:

- izvor svetlosti,
- posmatrač, oko posmatrača,
- veličina površine prekrivene bojom,
- pozadina objekta koji se posmatra,
- ugao posmatranja i dr.

Izvor svetlosti. Automobil, tj crvena boja automobila ne izgleda isto kod većine ljudi ukoliko je izvor svetlosti sunce, sa jedne strane ili fluorescentna lampa, sa druge strane. Sunčeva svetlost, fluorescentna svetlost, volframova svetlost itd., odnosno, svaki tip iluminacije (osvetljenja) čini boju automobila različitom.

Posmatrač. Osetljivost oka svakog individualnog posmatrača se neznatno razlikuje. Za ljudsko oko uzima se u obzir "normalna" vizija (predstava) boje, uz moguće predrasude

prema crvenoj ili plavoj. Takođe, čulo vida kod osoba uopšte, menja se sa godinama starosti. Navedeni faktori, utiču da se boja razlikuje od posmatrača do posmatrača.



Slika 2. Uticaj izvora svetlosti na izgled boje

Površina prekrivena bojom. Posmatranjem dela površine npr, zidnih tapeta i odabiranjem njene veoma male površine koji na prvi pogled izgleda jednobožno, može se приметiti da deo izgleda tamnije. Boje koje pokrivaju velike radne površine, čine se svetlijim i jasnijim u odnosu na boje koje prekrivaju male površine. Selektovanjem objekta čija je velika površina pokrivena bojom, i posmatranjem malih površina, uočavaju se greške boje.

Greške pozadine. Ukoliko je automobil postavljen ispred svetle pozadine, čini se mutnim (tamnijim) u odnosu na tamnu pozadinu. Ovo upućuje na efekat kontrasta koji je nepoželjan za preciznu ocenu boje.

Ugao posmatranja. Posmatranjem automobila iz različitih uglova, mogu se uočiti površine na automobilu koje izgledaju svetlije ili tamnije. Ugao pod kojim se objekat posmatra i ugao pod kojim je isti osvetljen, moraju biti konstante za precizno definisanje boje.

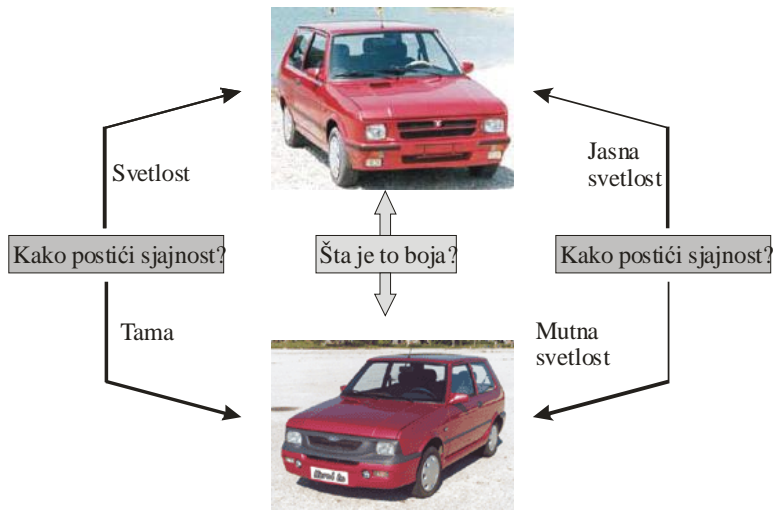
3. TAČNOST I PRECIZNOST U IZRAŽAVANJU BOJE

Kao primer prikazana su dva crvena automobila. Postavlja se pitanje kako opisati razliku između njihovih boja?

Na prvi pogled oba automobila izgledaju ista, ali kada se pogledaju izbliza ubrzo se zaključuje da postoje različitosti sa više aspekata. Boja oba automobila je crvena, ali boja gornjeg automobila je svetlija, a donjeg tamnija. Takođe, boja gornjeg automobila čini se jasnijom.

3.1. Ljudsko oko i vid

Vid se shvata kao očna percepcija vidljive radijacije. Organ vida je zbirni termin koji obuhvata oko, vidne nerve i određene oblasti mozga. Ovi delovi transformišu svetlosni stimulans u optičko uzbuđenje koje rezultira čulom vida. Slika spoljašnjeg sveta se optički transformiše pomoću *retine*, koja se nalazi u zadnjem delu oka. *Retina* je tanani osetljivi svetlosni sloj koji sadrži nervne završetke za vid, nervne ćelije i podlogu koja ih podržava.



Slika 3. Uočene razlike boje dva ista automobila

Uticaj vidljive svetlosti na psihomotorne sposobnosti čoveka (inteligencija, koncentracija, reagovanje), objašnjava se, sa medicinskog stanovišta, delovanjem tri sistema, centralnog nervnog, vegetativnog i hormonalnog. Navedeni sistemi, pod dejstvom svetlosti, aktiviraju celokupan organizam.

Dejstvo vidljivog zračenja nije ograničeno samo na čoveka, već na celokupan biljni i životinjski svet. Mnogobrojni procesi u živim organizmima ne mogu se odvijati bez svetlosti.

Čoveku, odnosno njegovom vidnom sistemu, prilagođen je i jedan čitav podsistem fizičkih veličina i njima odgovarajućih jedinica u okviru Međunarodnog sistema jedinica SI. Naime, sve veličine koje opisuju optičko zračenje u opsegu talasnih dužina svetlosti na koje reaguje oko procenjene su prema reakciji oka na to zračenje. Tako se ističe da je osnovni zadatak fotometrije da meri vidljivo zračenje ili svetlost, na takav način da rezultati što je moguće više odgovaraju vidnom utisku normalnog posmatrača izloženog delovanju tog zračenja.

3.1. Svetlosne osobine fluksa toplotnog zračenja

Vizuelni osećaj koji nastaje padom upadnog fluksa na mrežnjaču oka, ima tri svojstva koji zajedno čine osećaj boje:

- ton boje,
- zasićenost i
- sjajnost.

Subjektivni izrazi koji odgovaraju dominantnoj talasnoj dužini i čistoći su ton boje i zasićenost.

Tonom boje se označava da li je svetlost crvena, zelena, plava itd. Neutralno sivo nema ton, odnosno njegov ton je neodređen.

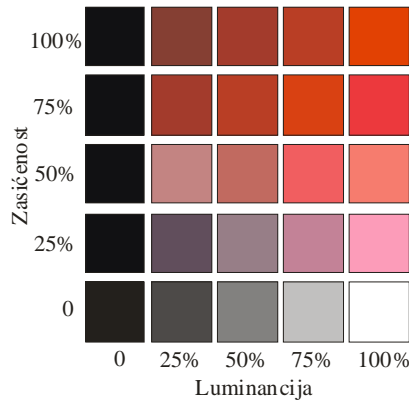
Zasićenost opisuje koliko se data boja udaljava od neutralnog sivog, tj. koliko se približava čisto spektralnoj boji. Neutralno sivo je potpuno nezasićeno, a čisto spektralna boja je potpuno zasićena. Svojstvo tona boje i zasićenosti uzeti zajedno čine osećaj hromatizma. Neutralno sivo koje nema ton i nije zasićeno naziva se ahromatično.

U domenu subjektivnog zapažanja, osećaj sjajnosti za primarne izvore razlikuje se od osećaja sjajnosti za sekundarne izvore. U prvom slučaju se za ovaj osećaj može usvojiti reč sjaj. Sjaj označava osećaj količine svetlosnog fluksa koji emituje izvor i menja se od malog do zaslepljujućeg sjaja. Za sekundarne svetlosne izvore, tj. površine koje reflektuju svetlost, osećaj je vezan sa izgledom površine.

Predpostavimo da se neka površina čiji je faktor refleksije (p_r) konstantan u celom području vidljivog spektra, osvetli belom svetlošću. Pri određenoj svetlosnoj jačini izgled površina sa ovom karakteristikom refleksije može se, u zavisnosti od količine reflektovane svetlosti, menjati od crnog do belog.

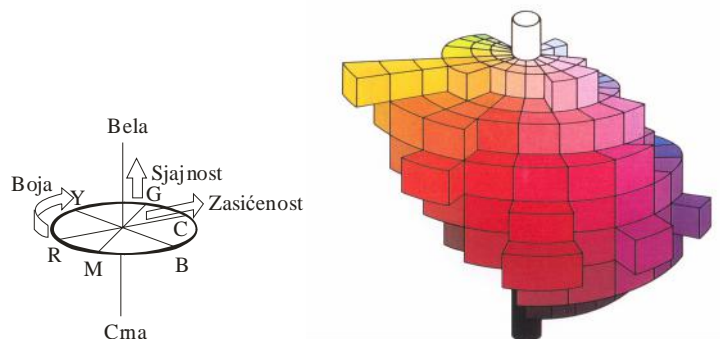
Beli kvadrat izaziva najveći osećaj sjajnosti, crni najmanji, a srednji kvadrat osećaje sjajnosti srednje jačine.

Može se zaključiti da je sjajnost ono svojstvo boje koje dozvoljava da se neka boja klasificira u smislu ekvivalentnosti sa osećajem koji izaziva neki član niza neutralnog sivog. Stoga se za oznaku osećaja nijansi sivog koristi reč svetlina, odnosno, ekvivalentna sjajnost. Termin "ekvivalentna sjajnost" preporučen je od strane CIE 1965. godine. Ovom pojmu odgovara reč osvetljenost, a za pojam sjaja reč svetlina.



Slika 4. Skala boja koja ilustruje osećaj sjajnosti

Za boju posmatranog automobila u trodimenzionalnom modelu boje, uočava se da se ton boje, zasićenost i sjajnost seku u crvenoj oblasti.



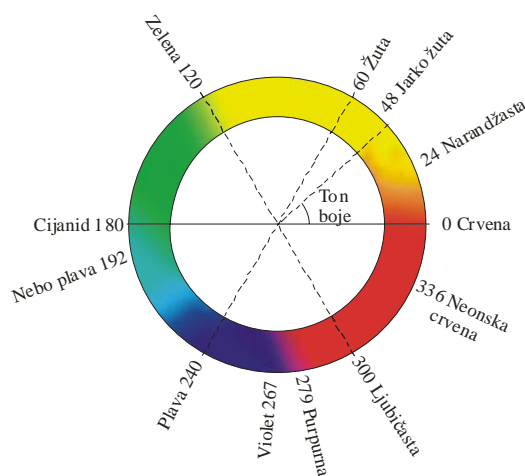
Slika 5. Trodimenzionalni model boje (ton boje, zasićenost, sjajnost)

Stvaranjem skale, tj. merila za ton boje, zasićenost i sjajnost, zaključuje se da je boja nešto što se može meriti i izraziti brojkama. Nauka koja se bavi merenjem boja zove se kolorimetrija.

4. MUNSELOV SISTEM. FIZIČKI STANDARDI BOJA

U prošlosti ljudi su, u cilju mogućeg razvoja i ma kakve komunikacije sa bojama, koristili kompleksne formule za kvantifikovanje i lakše i preciznije izražavanje boja brojčano, kao što se izražava dužina ili težina posmatranog predmeta.

Jedan od takvih je i Munselov sistem zasnovan na određenoj zbirci uzoraka, pri čemu se pojedini uzorci konstantne sjajnosti svrstavaju u jednu ravan u kojoj su njihova zasićenja i vrste boja prikazani polarnim koordinatama (slika 6).



Slika 6. Polarni koordinatni sistem

Munselov sistem je zasnovan na tri vizuelna parametra svetlosti koji su u ovom sistemu nazvani "value", "hue" i "chroma".

Prvi parametar "value" odgovara svetlini uzoraka. U prostornoj predstavi Munselovog sistema, veličina svetline ahromatične boje, od crnog do belog, prikazana je na vertikalnoj osi (slika 5).

Parametar "hue" označava vrste boja koje su raspoređene po periferiji kruga u ravni konstantne svetline, kroz čiji centar prolazi vertikalna osa. Krug je podeljen u deset jednakih intervala koji obuhvataju crvenu (R), žutu (Y), zelenu (G), plavu (B) i purpurnu boju (P), kao i njihove kombinacije YR, GY, BG, PB i RP.

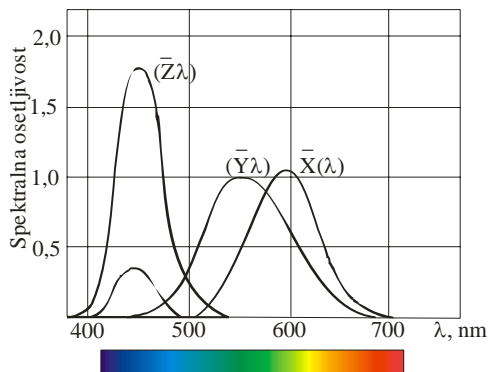
Vizuelni sistem poseduje sposobnost i za procenu količine čiste hromatične boje u smeši nezavisno od količine bele, odnosno ahromatične boje. Ovaj vizuelni parametar svetlosti, koji je sličan zasićenju nazvan je hroma (chroma). Ako se dodavanjem bele boje promeni svetlina uzorka, za posmatrača, kod kojeg je ova vizuelna osobina izražena, menjaće se samo svetlina dok će osećaj vrste boje i hroma ostati nepromenjeni.

5. STANDARDNI CIE SISTEMI

Pored Munselovog sistema, ostale metode vrednosnog izražavanja boje razvijene su prema Internacionalnoj komisiji za osvetljenost i boju CIE, od kojih su najpoznatiji

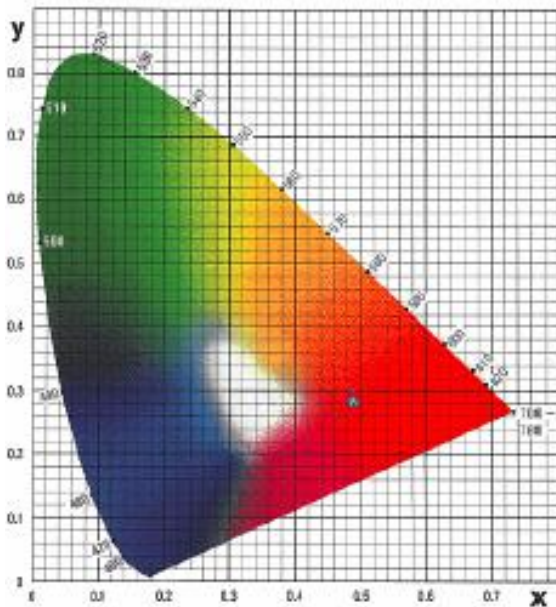
Yxy prostorna predstava boje (1931.) bazirana na tristimulusnim koordinatama XYZ definisanim od CIE, i $L^*a^*b^*$ prostorna predstava boje (1976.) koja predviđa uniformisanje različitosti boje u odnosu na vuzuelne razlike. Prema CIE (1931.) XYZ tristimulusne vrednosti računaju se korišćenjem funkcija mešanja boje:

$$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda) \text{ i } \bar{z}(\lambda),$$



Slika 7. Dijagram spektralne osjetljivosti koji odgovara ljudskom oku - funkcije mešanja boje

Spektralna boja može se predstaviti u dvodimenzionalnom pravougaonom koordinatnom sistemu. Ako se računi sprovedu za sve spektralne boje, i rezultati crtaju, dobija se kriva koja se zove *spektralna kriva*, a dijagram - *dijagram hromatičnosti*.



Slika 8. Dijagram hromatičnosti

$L^*a^*b^*$ sistem predstavlja jedan od najpopularnijih i najprimenjenijih sistema za merenje boja u praksi, definisan od strane CIE (1976.), u cilju rešavanja u nizu problema Yxy sistema merenja boje. U ovom sistemu L^* predstavlja svetlinu, a a^* i b^* hromatične koordinate boje. U praksi se pokazalo da prostorni sistem Yxy znatno odstupa od vizuelne procene u razlici boje.

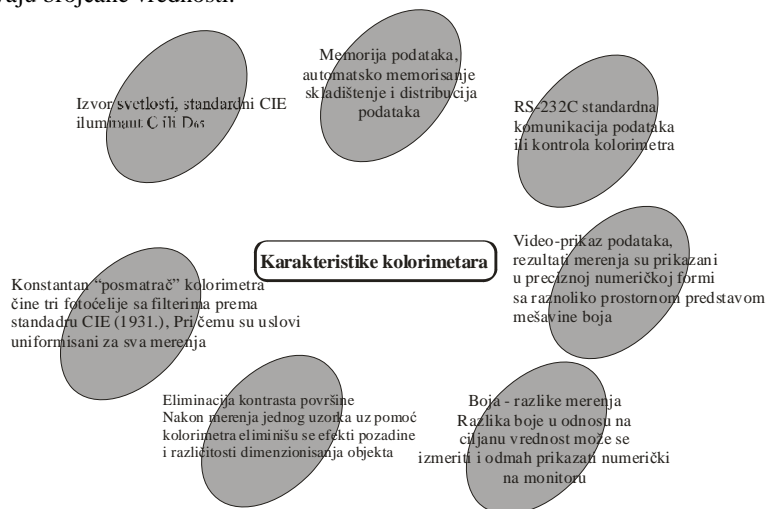
6. PRINCIP VIZUELNOG OPAŽANJA BOJE I MERENJA BOJE UZ POMOĆ KOLORIMETRA

Percepcija svetla i boje je delom subjektivni fenomen, iste vrste kao i tumačenje muzike uhom ili mozgom.

Količine svetlosti koje se koriste u fotometriji i kolorimetriji, mogu se predstaviti na više načina.

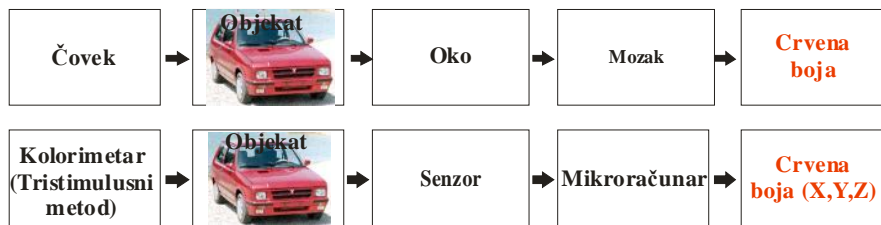
Ljudsko oko opaža svetlost u vidljivom području spektra. Prvi red (slika 9) predstavlja očigledan opis npr., kako se svetlo opaža okom, a potom procesuirana od strane mozga. Ova prezentacija je sasvim subjektivna, tako da odgovarajuće količine ne mogu biti merno iskazane, jer su one samo percepcioni ekvivalenti termina koji se koriste u fotometriji.

Međutim, "svetlost" se ne poistovećuje sa "bojom". U drugom redu (slika 9) dat je takozvani fizički prikaz. Svetlo se provodi do senzora kroz sočiva i jedan optički filter koji, zajedno sa karakteristikama senzora, zadovoljava internacionalno prihvaćen standard za ljudski organ vida, CIE (Commission Internationale de l'Éclairage). Ovo je potpuni fizički prikaz, gde se količine osvetljenja mere isto kao i druge veličine bez ikakvih subjektivnih ograničenja i posredstvom mikroročunara se direktno na monitoru očitavaju brojčane vrednosti.



Slika 9. Karakteristike kolorimetra

Princip vizuelnog opažanja boje, sa jedne strane i princip merenja boje uz pomoć kolorimetra, su u osnovi uporedivi. Metod po principu kolorimetra poznat je i kao tristimulusni metod merenja boje. Kolorimetri, koristeći ovaj metod projektovani su da mere svetlost na način na koji i ljudsko oko opaža svetlost.



Slika 11. Princip vizuelnog opažanja boje i merenje boje uz pomoć kolorimetra

7. ZAKLJUČAK

Sve veći značaj koji se daje kvalitetu štampe, proizvodima od gume, tekstila, plastike, keramike, raznih vrsta boja u tehnici (građevinarstvu i dr.), fotografije u boji, itd. ukazuje na potrebu izučavanja značaja boje u tehnološkom lancu izrade finalnog proizvoda.

Na osnovu prethodnih razmatranja zaključuje se da je boja veličina koja se može meriti i izraziti brojkama. Nauka koja se bavi merenjem boje zove se kolorimetrija.

Iako ljudsko oko nije u stanju da definiše preciznost boje, uz pomoć uređaja za merenje boje – kolorimetra, to je vrlo jednostavno. Na osnovu prethodnog, suprotno od subjektivnog usmenog izražavanja boje, kolorimetri na brz i jednostavan način prikazuju boju numerički saglasno internacionalnim standardima.

Osetljivost kolorimetra odgovara ljudskom oku. Međutim, obzirom da se merenja izvode uvek koristeći isti izvor svetlosti i način osvetljavanja, merenje kolorimetrom je uvek isto, bez obzira na to da li je dan ili noć, zatvoren ili otvoren prostor, što ukazuje na veliku preciznost pri merenjima.

Osnovni problem koji se nameće pri definisanju i merenjima boje je nedostatak merne opreme na našim prostorima koja bi omogućila precizan način merenja kolorimetrijskih karakteristika i određivanja parametara koje emituje svetlost od izvora ili reflektovane sa objekta. Tek primenom odgovarajuće opreme i razvojem metodologija merenja značaj boje u tehnološkom lancu izrade proizvoda postaje aktuelan.

8. LITERATURA

1. Precise Color Communication, Konica Minolta Sensing, Japan, 1998.
2. Robert A., Charvat, Coloring of Plastics, Wiley-Interscience, Cleveland, Ohio, 2004.
3. Vretenar P., Osnovi tehnologije optičkih elemenata, Mašinski fakultet u Sarajevu, Sarajevo, 1998.
4. Weston F., Optika, Naučna knjiga Beograd, Beograd, 1963.
5. Landsberg G. S., Optika, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 1967.
6. Skripta "21. Oktobar", Osnovni principi kolorimetrije



DVOSTEPENI CIKLOREDUKTOR NOVE KONCEPCIJE

M. Blagojević ¹⁾

Rezime: Cikloreduktori pripadaju grupi planetarnih prenosnika snage. Zahvaljujući svojim dobrim osobinama, našli su veoma široku primenu u savremenoj industriji. U ovom radu je predstavljen dvostepeni cikloreduktor sa sasvim novom koncepcijom. Opisane su njegove osnovne prednosti u odnosu na dvostepeni cikloreduktor klasične koncepcije.

Ključne reči: cikloreduktor, ciklozupčanik

TWO STAGE CYCLO SPEED REDUCER WITH NEW CONCEPT

Abstract: Cyclo speed reducers are planetary power transmission. These reducers have a very wide application in modern industry thanks to their good properties. Two stage cyclo speed reducer with new concept is presented in this paper. There are described the main advantages of this type speed reducer.

Key words: cyclo speed reducer, cyclogear

1. UVOD

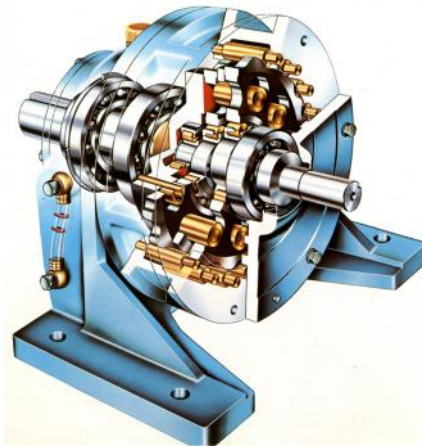
Cikloreduktori pripadaju grupi planetarnih prenosnika snage, [1]. Iako se smatraju novijim prenosnicima snage, cikloreduktori su našli veoma široku primenu u savremenoj industriji. Najčešće oblasti njihove primene su: u industriji robota, satelita, kod alatnih mašina, kod mosnih dizalica, u procesnoj industriji i sl.

Najvažnije prednosti cikloreduktora su, [2], [3]:

- dug i pouzdan radni vek,
- širok opseg mogućih prenosnih odnosa,
- pouzdan rad u uslovima dinamičkih opterećenja,
- izuzetno kompaktna konstrukcija,
- veliki stepen iskorišćenja.

Treba još naglasiti da su cikloreduktori kada je u pitanju njihova cena u rangu sa konvencionalnim tipovima reduktora, što predstavlja još jednu, za krajnjeg korisnika veoma važnu prednost.

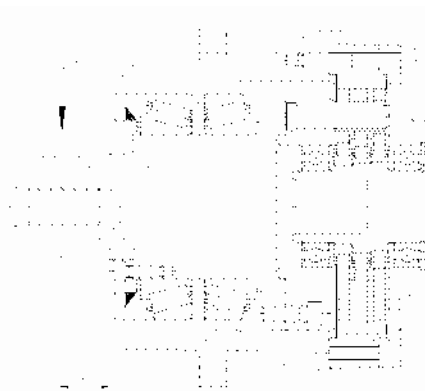
¹⁾ Mr Mirko Blagojević, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, mirkob@kg.ac.yu



Slika 1. Jednostepeni cikloreduktor

2. “FINE CYCLO” FAMILIJA CIKLOREDUKTORA

Kada se pažljivo sagledaju sve navedene prednosti cikloreduktora, u prvom trenutku je teško sagledati moguće pravce njihovog daljeg poboljšanja, jer u svakom pogledu zaista deluju impresivno. Ipak, poslednjih desetak godina je razvijena jedna sasvim nova familija cikloreduktora pod nazivom “fine cyclo” cikloreduktori, slika 2.



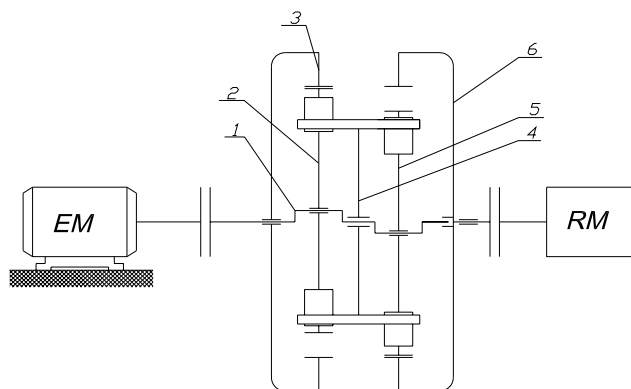
Slika 2. “Fine cyclo” cikloreduktor

Osnovna karakteristika ove grupe cikloreduktora je ta što kod njih, zahvaljujući veoma preciznoj izradi, ne postoji bočni zazor kao kod klasičnih cikloreduktora i ostalih tipova reduktora. Ovo omogućava njihovu primenu kod uređaja i mašina gde je neophodna izuzetna preciznost kao što su roboti. Kod ovih cikloreduktora se umesto dva, koriste tri ciklozupčanika za jedan stepen prenosa međusobno zaokrenuta za 120° .

Zahvaljujući ovoj činjenici, mogu da private veoma velika kratkotrajna preopterećenja i do 500%, a da pri tome ne pretrpe nikakva oštećenja.

2. DVOSTEPENI CIKLOREDUKTOR NOVE KONCEPCIJE

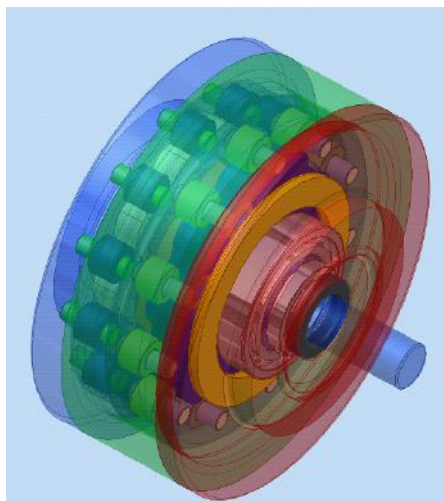
U ovom radu je opisan dvostepeni cikloreduktor sa sasvim novom koncepcijom nastao u cilju smanjenja gabarita postojećih dvostepenih cikloreduktora uz povećanje prenosnih odnosa. Potreba za ovakvim tipom reduktora (reduktorom sa velikim prenosnim odnosom i malim dimenzijama) javila se u industriji robota. Klasični dvostepeni cikloreduktor predstavlja prostu sintezu dva jednostepena cikloreduktora.



Slika 3. Kinematska šema novoprojektovanog dvostepenog cikloreduktora

Kod cikloreduktora predstavljenog u ovom radu, za svaki stepen prenosa koristi se samo po jedan ciklozupčanik. Prilikom obrtanja ulaznog vratila cikloreduktora (1), takođe dolazi do složenog kretanja ciklozupčanika prvog stepena prenosa (2), slobodooobrtnog oko svoje ose. Valjci prelaznog mehanizma (4) prolaze kroz otvore u ciklozupčaniku. Prelazni mehanizam (4) se obrće u smeru suprotnom od smeru obrtanja ulaznog vratila. Disk prelaznog mehanizma je slobodooobrtno oko ose vratila. Njegovi valjci ne prolaze samo kroz otvore ciklozupčanika prvog stepena, već i kroz otvore ciklozupčanika drugog stepena prenosa (5). Usled ovakve međusobne veze ciklozupčanika prvog i drugog stepena prenosa, ovi ciklozupčanici imaju i jednake ugaone brzine. Ulazno vratilo drugog stepena prenosa se obrće istom ugaonom brzinom kao i ulazno vratilo prvog stepena prenosa. Obzirom da se obrće u suprotnom smeru u odnosu na ulazno vratilo, ciklozupčanik (5) se može smatrati relativno nepokretnim. Centralni zupčanik drugog stepena prenosa (6) je kod ove koncepcije pokretan i on ustvari prihvata rezultujuće kretanje i obrtni moment. Centralni zupčanik (6) je čvrsto povezan sa izlaznim vratilom i obrće se u istom smeru kao i ulazno vratilo.

Obzirom na sasvim novu preraspodelu obrtnih momenata u odnosu na staru koncepciju dvostepenog cikloreduktora, ciklozupčanici prvog i drugog stepena prenosa su skoro sasvim ravnomerno opterećeni što doprinosi dobroj dinamičkoj uravnoteženosti.



Slika 4. Novoprojektovani dvostepeni cikloreduktor

3. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljen dvostepeni cikloreduktor sa sasvim novom koncepcijom. Umesto četiri, koriste se samo dva ciklozupčanika (po jedan za svaki stepen prenosa), dok su uloge ciklozupčanika i centralnog zupčanika kod drugog stepena prenosa zamenjene. Naime, kod opisane nove koncepcije, ciklozupčanik je relativno nepokretan, a centralni zupčanik se obrće zajedno sa izlaznim vratilom.

Osnovna prednost nove koncepcije su manje gabaritne dimenzije, kao i povoljnija raspodela opterećenja u odnosu na klasične cikloreduktore.

LITERATURA

1. *B. H. Кудрявцев*: Планетарные Передачи, Moskva, 1966.
2. *Manfred Lehmann*: Berechnung und Messung der Kräfte in einem Zykloiden-Kurvenscheiben – Getriebe, München, 1976.
3. *Li Lixing*: The Modification Manner for Tooth Profile and the Analysis of Forces on the Cycloid Disk of a Cycloid Speed Reducer, Chinese Journal of Mechanical Engineering, Vol.22, No.1/40, 1986.
4. *M. Blagojević*: Kinematička i dinamička analiza jednostepenog cikloreduktora, Magistarska teza, Kragujevac, 2003.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

MULTIDISPERZIONE KOMPRESIONE BRIZGALJKE GORIVA

D. Krstić¹⁾

Rezime: Težište ovog rada je na pojedinim novim trendovima konstrukcije i izrade kompresionih brizgaljki dizel goriva, koje bitno utiču na performanse dizel motora i njihovu konkurentnost u automobilskoj industriji. Obezbeđenje konkurentnosti dizel motora u automobilskoj industriji podrazumeva zadovoljenje zahteva međunarodnih propisa EU, kojima podleže automobil sa aspekta ekologije. Novi trendovi EU-a u oblasti propisa utiču na povećanje obima i inteziteta istraživačkih i razvojnih aktivnosti. Tako je nastao i nov koncept homogenog ubrizgavanja dizel goriva multidisperzionim kompresionim brizgaljkama (Homogeneous Charge Compression Ignition).

Ključne reči: međunarodne ekološke norme, dizel gorivo, azotni oksid (Nox), oksidacijski katalizatori, koncept homogenih kompresionih brizgaljki, laserska tehnologija.

HOMOGENUOUS CHARGE COMPRESSION IGNITION

Abstract: This paper focuses on main new trends of construction and production of compression ignition for diesel fuels, which have given a better performance for diesels motor and themselves competitiveness in automotive industry. Reaching competitiveness of diesel motor in automotive industry assumes that international ecological requirements valid for a car. New trends of EU regarding these requirements influence the intensity of research and development activities. For this reason was born a new concept for diesel fuels ignition - HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition).

Key Words: international ecological requirements, diesel fuels, nitric oxide (NOx), denox catalytic reduction, Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI), laser technology.

1. UVOD

Uvođenje ekoloških normi je u stalnom konfliktu ekonomskih interesa sa proizvođačima dizel motora, koji su bili prinuđeni da ulažu značajna sredstva u cilju poboljšanja performansi motora, iniciranih njihovom težnjom zadovoljenja ekoloških direktiva EU, a samim tim i opstankom sopstvene proizvodnje i tržišta. Tako je nametnut razvoj proizvođačima dizel motora, s aspekta ekologije, direktno doprineo

¹⁾ Dejan Krstić, dipl. ing, Grupa Zastava vozila, Kragujevac, krstic.dejan@zastava.net

ostvarenju značajnog smanjenja štetnih emisija. Konkretno, emisija azotnih oksida (NOx) su smanjena sa 0,50 na 0,25 grama po pređenom kilometru, a udeo čestica čađe sa 0,05 na 0,025 g/km. Takva koncentracija teško se može i izmeriti, a još teže kontrolisati. Većina proizvođača, zbog zadovoljenja pomenutih normi EU-a, bila je prisiljena da pribegne ugradnji dodatnih i skupih prečistača izduvnih gasova. Time je jedan deo konstruktora smatrao da je koncepcija dizel motora dovedena do krajnjih granica. Međutim, daljnje komplikacije već skupe tehnologije mogu dovesti u pitanje tržišnu isplativost dizel motora. Dodatno otežavajuća okolnost je i najava uvođenja dvostruko oštrijih normi Euro 5, koje će stupiti na snagu najkasnije 2010. (možda i 2008.). Ovakvi zahtevi automobilske budućnosti sa aspekta ekoloških normi, iniciraju traženje novih rešenja u području dizel motora. Naime, iako litar dizel goriva ima 15 posto veću ogrevnu vrednost od litra benzina uz istovremeno značajno manju potrošnju, proizvođači dizel motora su suočeni sa novim i strožijim ekološkim direktivama, tako da danas, iako dizel motori nemaju problema s otrovnim ugljen-monoksidom (CO) i ugljovodonikom (HC), oni imaju veliki problem koji treba rešiti. Akcenat je na emisiji azotnih oksida (NOx) i čestice čađe. Oksidi se mogu neutralisati oksidacijskim denox katalizatorima, a čestica čađe naknadnim sagorevanjem i prečistačima. Međutim, time se znatno komplikuje konstrukcija motora i povećava cena. Rešenje ovog problema nudi koncept homogenog dizelskog sagorevanja HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition).

2. STEHIOMETRIJSKI ODNOS SMEŠE GORIVA I VAZDUHA

Stehiometrijski odnos smeše goriva i vazduha, definiše njihov optimalni odnos u eksploatacionoj zapremini cilindra motora. Pri radu motora, stvarno usisana količina vazduha nije ekvivalentna teorijskoj količini vazduha, koja je relevantna za definisanje performansi motora, iz razloga što svaka čestica goriva (ugljovodonika) ne uspeva pronaći slobodan molekul kiseonika. Ovaj odnos između stvarno usisane količine vazduha i teoretske (prema stehiometrijskom odnosu) se definiše faktorom λ (lambda). Smeša je pravilna (idealna) kad je $\lambda=1$. Kad je $\lambda>1$ smeša je siromašna, a kod $\lambda<1$ smeša je bogata (prezasićena). Benzinski motor radi u području lambda od 0,5 do 1,3, a najveći i najčistiji efekat (što ukazuje na kvalitetno sagorevanje) ostvaruju kod $\lambda=1$.

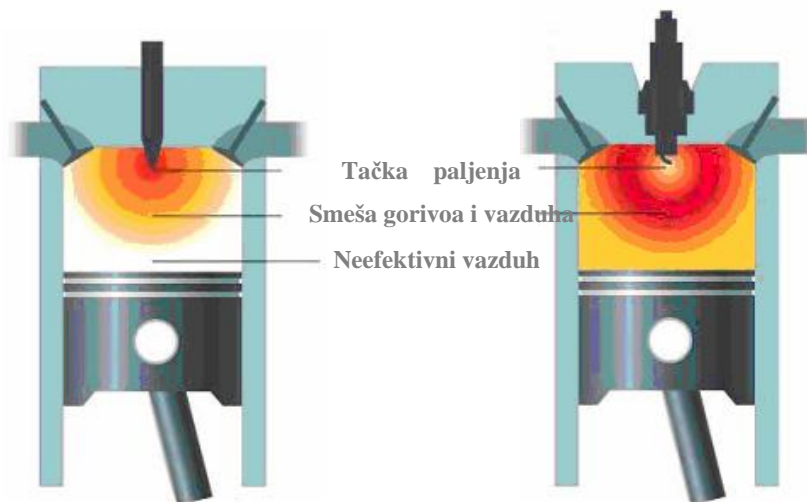
3. UZROCI NESTEHIOMETRIJSKOG SAGOREVANJA

Tema ovog rada stavlja akcenat na neutralizaciju štetnih emisija optimalizacijom kvaliteta sagorevanja, čime bi se izbegla upotreba skupih denox katalizatora i prečistača čestica čađi. Naime, za pravilno i potpuno sagorevanje grama dizel goriva potrebno je 14,5 grama vazduha. Zbog koncepcije sagorevanja (gorivo se ne pali svećicom, nego samo ubrizgavanjem u vrući vazduh), dizel motori u proseku koriste trećinu više vazduha od benzinskih (otto) motora, što je slikovito prikazano na slici br. 1.

Čestice čađe, kao nagomolani atomi ugljenika, nastaju jer svaka čestica goriva (ugljovodonika) ne uspeva pronaći slobodan molekul kiseonika, uprkos viška vazduha u smeši. Što je raspršenje finije, malene kapljice goriva lakše dolaze u kontakt s kiseonikom i pravilno sagorevaju. Važna je i čistoća goriva, posebno što manji sadržaj sumpora, koji je inhibitor stvaranja čestica ugljenika. Čađa ukazuje na nepotpuno sagorevanje, a uklanja se naknadnim sagorevanjem i specijalnim prečistačima.

Azotni oksidi (NOx) nastaju na mestima povišenog sadržaja kiseonika i temperatura viših od 1800°C, odnosno, upravo na mestima nesavršenog sagorevanja.

Sprečavaju se povratom izduvnih gasova u cilindre (recirkulacijom) - do 50 posto, i više. Ostatak se uklanja denox katalizatorima.



Slika 1. Sagorevanje kod DIZEL motora

Slika 2. Sagorevanje kod OTTO motora

Rešavanje jednog problema po pravilu pogoršava drugi. Više vazduha znači manje čađe, ali više azotnih oksida, i obratno. Još je veći problem nehomogenost smeše goriva i vazduha. Bez obzira što količina vazduha može biti prosečno dvostruko veća od potrebne, na pojedinim mestima vazduh može nedostajati. Na lokalitetima bogate (prezasićene) smeše stvaraju se čestice čađi.

Rešenje nudi koncept homogenog dizelskog sagorevanja HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition). Ovaj koncept omogućava da maksimalni broj samostalnih kapljica, koje su izvor paljenja, ima dovoljno kiseonika za sagorevanje.

4. EFEKAT MULTIDISPERZIONIH KOMPRESIONIH BRIZGALJKI GORIVA

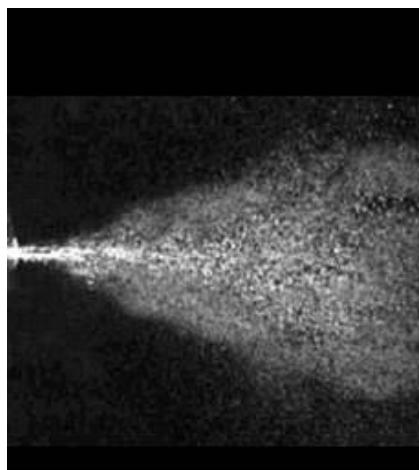
Multidisperzione kompresione brizgaljke goriva su laserom izrađene brizgaljke s više od sto otvora prečnika 10 μm , koje omogućavaju homogeno sagorevanje dizel goriva, bez stvaranja čađe i azotnih oksida, kao i dodatno smanjenje potrošnje dizel goriva, uz istovremeno poboljšanje performanse motora. Ovaj koncept brizgaljki je nastao u cilju ostvarivanja stehiometrijskog odnos smeše goriva i vazduha, a osnovna ideja je da se stehiometrijski odnos dostigne maksimalizacijom broja samostalnih kapljica goriva.

Relevantni parametri ovakvog koncepta brizgaljki su maksimalizacija broja otvora, minimizacija prečnika otvora, maksimizacija pritiska ubrizgavanja goriva i odgovarajući kvalitet goriva. Teoretska analiza prednosti i potencijalnih mana multidisperzionih kompresionih brizgaljki goriva (Homogeneous Charge Compression Ignition - HCCI), se može specificirati na sledeći način:

- Povećanjem broja otvora na brizgaljki, zahteva smanjenje njihovih prečnika. Otvori na današnjim brizgaljkama su izrađeni tehnologijom erodiranja, koja omogućava bušenje otvora prečnika 100 μm . Krajnja granica te tehnologije

je 80 μm . Međutim, kod multidisperzionih kompresionih brizgaljki goriva, primenjena je tehnologija bušenja korišćenjem laserske tehnologije obrade metala, koja omogućava bušenje otvori $d=10\mu\text{m}$.

- Idealan bi bilo beskonačan broj otvora na svakoj brizgaljki. Sadašnje brizgaljke imaju do devet otvora, a eksperimentalno se ispituju novorazvijene brizgaljke sa 40 otvora.
- Povećanje broja otvora i smanjenje njihovog prečnika je srazmerno povećanju otpora ubrizgavanja, tako da je kod sistema *common-rail* sa povećanjem broja otvora potrebno povećati pritisak ubrizgavanja, odnosno sa današnjih 1600 bara je neophodno ostvariti pritisak od 3000 bara. Ubrižgavanje po sistemu pumpa-brizgaljka omogućava još veće pritiske, ali zbog znatno lošije mogućnosti podešavanja ubrižgavanja verovatno se neće koristiti.
- Povećanje broja otvora i smanjenje njihovog prečnika će zahtevati i drastično povećanje čistoće dizelskih goriva, jer će nečistoće reda veličine $\geq 10\mu\text{m}$ izazvati začepljenje laserom izbušenih otvora.



a)



b)

a) izgled ubrižgane magle goriva u cilindar motora

b) šematski prikaz tačaka paljenja i smeše goriva u poprečnom preseku cilindra

Slika 3. Koncept HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition)

Nova dizelska tehnologija osigurava ne samo drastično smanjenje emisije štetnih gasova, već doprinosi i poboljšanju performansi i stepenu iskorišćenja motora. Naime, dobiće se veća snaga uz istu potrošnju goriva, odnosno niža potrošnju uz istu snagu.

Bosch, u saradnji s institutima za motore iz *Aachena* i *Graza* paralelno eksperimentiše s tehnologijom prevremenog ubrižgavanja male količine goriva. Ova tehnologija, pored svojih prednosti, ima i mana. Naime, povoljno je što se povećava homogenost goriva u cilindru, ali u isti vreme raste rizik nekontrolisanog detonantnog sagorevanja goriva.

Laserom izrađene brizgaljke s više od sto otvora prečnika 10 μm omogućit će homogeno sagorevanje dizelskog goriva, bez stvaranja čađe i azotnih oksida, kao i dodatno smanjenje potrošnje dizel goriva.

Potencijalni problem predstavlja zahtev za drastično povećanje čistoće dizelskih goriva, jer će u slučaju nečistoća reda veličine $\geq 10 \mu\text{m}$ doći do začepljenja otvora brizgaljke. Relaksacija ovog problema je u stalnom poboljšanju kvaliteta dizel goriva. Takođe, problem predstavlja i sadržaj sumpora u dizel gorivu. Međutim, danas je na tržištu već u upotrebi Evro Dizel gorivo (Eko 4 Dizel). Osnovna razlika evro dizela od dosadašnjeg goriva Eko 3 Dizel je baš u značajnom smanjenju sadržaja sumpora, odnosno sadržaj sumpora je sa dosadašnjih 350 miligrama sumpora po kilogramu goriva, smanjen na maksimalno dozvoljenih 50 miligrama sumpora po kilogramu goriva, uz maksimalno 24 miligrama nečistoća po kilogramu goriva. U tabeli T-1, date su uporedne vrednosti maksimalne količine sumpora po kilogramu goriva.

Tabela T1:

NOVI NAZIV	STARI NAZIV	Maksimalna količina sumpora (mg/kg)
DIZEL D2	DIZEL D2	10.000
EKO 3 DIZEL	EVRO DIZEL	350
EVRO DIZEL		50

5. ZAKLJUČAK

Ulaganje u razvoj i buduću proizvodnju ovakvih multidisperzionih rupičastih brizgaljki goriva je znatno, ali i opravdano, jer su potencijalni dobici još veći. Veća cena izrade dizelskih motora po tehnologiji *Homogenous Charge Compression Ignition (HCCI)*, kompenzovaće se time, što će inače skupoceni denox katalizatori i filtri čađe postati nepotrebni. To će zahtevati i drastično povećanje čistoće dizelskih goriva, jer će i najmanje nečistoće začepiti laserom izbušene otvori. Posebno je važno smanjiti sadržaj sumpora u dizel gorivu, koji je inhibitor stvaranja čestica ugljenika. Perspektivu buduće primenljivosti *HCCI* tehnologije znatno povećava i čini realnom poboljšanje kvaliteta dizel goriva, jer naftna industrija takođe prati evropske norme, što je uslovalo primenu novog evro-dizel goriva, namenjenog najsavremenijim dizel motorima.

LITERATURA

1. Au M., Girard J., Dibble R., Flowers D., Aceves S., Martinez-Frias J., Smith R., Seibel C., Maas U., "1.9-Liter Four-Cylinder HCCI Engine Operation with Exhaust Gas Recirculation," SAE Paper 2001-01-1894
2. Flowers D., Aceves S., Martinez-Frias J., Smith R., Au M., Girard J., Dibble R., "Operation of a Four-Cylinder 1.9 L Propane Fueled Homogeneous Charge Compression Ignition Engine", SAE Paper 2001-01-1895
3. Salvador M. Aceves, Daniel L. Flowers, Charles K. Westbrook, J. Ray Smith, Robert W. Dibble, Magnus Christensen, William J. Pitz, Bengt Johansson,
4. "A Multi-Zone Model for Prediction of HCCI Combustion and Emissions", SAE Paper 2000-01-0327



UVODNI REFERAT

**PRIMENA SISTEMA ZASNOVANIH NA
VEŠTAČKOJ INTELIGENCIJI PRI MODELIRANJU
PROCESA OBRADRE REZANJEM**

D. Tanikić¹⁾, M. Manić²⁾, G. Devedžić³⁾

Rezime: Pri rešavanju problema vezanih za modeliranje, simulaciju i monitoring procesa obrade uvek treba imati u vidu neophodnost integracije naučnih saznanja stečenih tokom dugogodišnjeg istraživanja na polju determinisanja korelacija koje vladaju među parametrima procesa i savremenih tehnologija koje mogu na odgovarajući način da manipulišu ovako stečenim znanjem. Ove tehnologije najčešće su zasnovane na veštačkoj inteligenciji, operacionim istraživanjima i specijalizovanim CAD sistemima. Generalno gledano metode zasnovane na veštačkoj inteligenciji mogu se svrstati u tri grupe: ekspertske sistemi zasnovani na znanju, neuro i fazi sistemi i sistemi zasnovani na verovatnoći i statističkoj sistematizaciji podataka. U radu je dat pregled pomenutih metoda, njihov dosadašnji razvoj, sa naročitim osvrtom na primeni neuro i fazi (i neuro-fazi) sistema pri modeliranju procesa obrade rezanjem.

Ključne reči: Veštačke neuronske mreže, Fazi logika, Neuro-fazi sistemi

**ARTIFICIAL INTELLIGENCE BASED APPROACH IN
MODELING OF METAL CUTTING PROCES**

Abstract: Solving problems in the area of modeling, simulation and monitoring of cutting process requires integration of scientific knowledge obtained during long period of research in the field of determination of correlations among process parameters and modern technologies which can handle and manipulate with this knowledge. This technologies are commonly based on the artificial intelligence, operations research and specialized CAD systems. Generally, methods based on the artificial intelligence can be divided in three groups: knowledge based expert systems, neuro and fuzzy systems and probabilistic inference based systems. This work presents a review of mentioned methods, their evolution with special attention on the use of neuro and fuzzy (and neuro-fuzzy) systems in modeling cutting process.

Key words: Artificial neural networks, Fuzzy logic, Neuro-fuzzy systems

¹⁾ Dejan Tanikić, Tehnički fakultet Bor, V.J. 12, Bor, dtanikic@tf.bor.ac.yu

²⁾ Miodrag Manić, Mašinski fakultet, A. Medvedeva 14, Niš, mmanic@masfak.ni.ac.yu

³⁾ Goran Devedžić, Mašinski fakultet, S. Janjić 6, Kragujevac, devedzic@ptt.yu

U radu je predstavljen deo rezultata projekta TR-6215 koji finansira Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije.

1. UVOD

Proizvodnja predstavlja skup međusobno povezanih operacija i aktivnosti, koje su gotovo neraskidivo povezane sa računarskim tehnikama. Prva primena računara u proizvodnji zabeležena je kasnih 60-ih godina u cilju direktnog upravljanja grupom mašina alatki. Sedamdesetih godina prošlog veka prvi put je predstavljen koncept fleksibilnog proizvodnog sistema (eng. FMS – Flexible Manufacturing System), koji u suštini predstavlja „računarski upravljaju grupu polu-samostalnih radnih stanica povezanih automatizovanim sistemom za rukovanje materijalom [1].“ Ovakvi sistemi su u stanju da u automatizovanom okruženju proizvode niz raznovrsnih proizvoda, i danas su u širokoj primeni u proizvodnoj industriji. Poslednjih 15-ak godina u ekspanziji su sistemi za računarom podržanu proizvodnju (engl. CIM – Computer Aided Manufacturing) koji podrazumevaju „korišćenje računara u integrisanom okruženju proizvodnih aktivnosti, kao i integrisanom protoku informacija koje povezuju sve organizacione aktivnosti. [1].“ Ono što svakako predstavlja krajnji cilj jesu inteligentni proizvodni sistemi (engl. IMS – Intelligent Manufacturing System), odnosno sistemi koji se karakterišu sposobnošću ka rešavanju problema bez detaljnog, eksplicitnog algoritma, matematičkog modeliranja i relacija koje su već ranije, u nekoj pripreмноj fazi, definisane nekim procedurama.

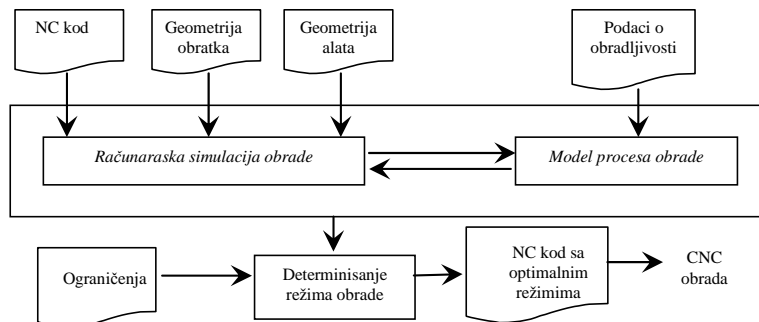
Cilj ovog rada je da prikaže istorijski razvoj alata korišćenih pri projektovanju za inteligentnu proizvodnju, što je objekat interesovanja istraživača tokom dužeg niza godina. Naročita pažnja biće posvećena upravo sistemima zasnovanim na veštačkoj inteligenciji, odnosno tehnologijama koje koriste veštačke neuronske mreže, fazi logiku, i danas sve prisutnije neuro-fazi tehnologije.

2. TEHNOLOGIJE ZASNOVANE NA CAD SISTEMIMA

Kod ovakvog pristupa, na osnovu postavljenog modela procesa obrade, računaju se parametri procesa (npr. sile rezanja i habanje alata). Za ovu svrhu koristi se računarska simulacija procesa obrade (engl. CMS – Computer Machining Simulation), odnosno skup informacija dobijenih iz NC koda, uključujući i početne parametre obrade, oblik i stanje alata i predmeta obrade itd... [2] Koristeći dobijene rezultate moguće je ustanoviti optimalne vrednosti režima obrade za svaku operaciju maksimizacijom količine skinutog materijala u jedinici vremena (naravno u okviru odgovarajućih ograničenja). Na *Slici 1* prikazan je koncept simulacije i optimizacije procesa obrade. Na prikazanoj slici razlikuju se sledeći moduli:

- *Računarska simulacija obrade*
- *Model procesa obrade.* Primer jednog ovakvog modela je [2]:

$$F = Av^{\alpha_1} s^{\alpha_2} a^{\alpha_3} b^{\alpha_4} [N], T = Bv^{\beta_1} s^{\beta_2} a^{\beta_3} b^{\beta_4} [\text{min}],$$
 gde su: F – sila rezanja, T – postojanost alata, v – brzina rezanja, s – korak, a i b – dubina rezanja i širina reznog sloja respektivno, A, B, α_i i β_i – parametri modela. Model je moguće dobiti i statističkom obradom podataka dobijenih iz većeg broja izvršenih eksperimenata (tzv. multifaktorni eksperiment). Regresiona jednačina dobijena na ovaj način može da posluži kao veoma dobar, pouzdan model procesa. Primer jednog ovakvog modela dat je u literaturi (npr. [3]).
- *Optimizacija režima procesa obrade* – Na osnovu rezultata računarske simulacije obrade i modela procesa obrade determinišu se brzina (v) i korak (s) rezanja u modulu za optimizaciju režima rezanja.



Slika 1: Koncept simulacije i optimizacije CNC obrade

3. TEHNOLOGIJE ZASNOVANE NA OPERACIONIM ISTRAŽIVANJIMA

Metodi za rešavanje problema linearnog programiranja se mogu svrstati u tehnologije zasnovane na operacionim istraživanjima. Osnovni cilj korišćenja ovih alata jeste minimizacija ukupnih troškova proizvodnje (odnosno maksimizovanje produktivnosti), uzimajući u obzir sva postojeća ograničenja. Tipičan izgled modela (bez matematičkog opisivanja istog) u ovom slučaju ima oblik

Model: **Max** (Količina skinutog materijala), **Min** (Površinska hrapavost), **Min** (Troškovi proizvodnje), uzimajući u obzir ograničenja.

4. TEHNOLOGIJE ZASNOVANE NA VEŠTAČKOJ INTELIGENCIJI

4.1 Ekspertski sistemi zasnovani na znanju

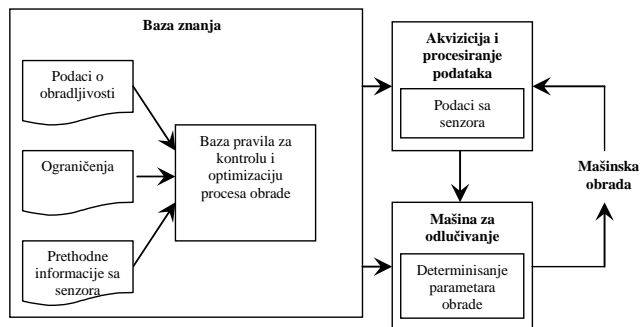
Ekspertski sistemi zasnovani na znanju (engl. KBES – Knowledge Based Expert Systems) predstavljaju „inteligentne“ računarske programe koji su u stanju da prikupe i organizuju znanje iz određenog domena, a zatim oponašaju strategiju čoveka – eksperta iz ove oblasti za rešavanje određenih problema, odnosno pri donošenju odluka. Primenom ove tehnike moguće je, koristeći informacije sa senzora, održati parametre obrade u željenom opsegu. Struktura jednog ovakvog sistema prikazana je na Slici 2.

Tri su osnovna modula ekspertskog sistema zasnovanog na znanju: baza znanja, mašina za odlučivanje, i modul za akviziciju i procesiranje podataka. Mašina za odlučivanje predstavlja svojevrsni interfejs između baze znanja i korisnika, pružajući odgovor na postavljeni upit i objašnjavajući način rezonovanja sistema. Modul koji je zadužen za akviziciju i procesiranje podataka treba da obezbedi bazi znanja što je moguće tačnije podatke. Na osnovu dobijenih podataka iz baze znanja vrši se zaključivanje na bazi pravila koja su najčešće u obliku *AKO (antescedent) ONDA (konsekvent)*.

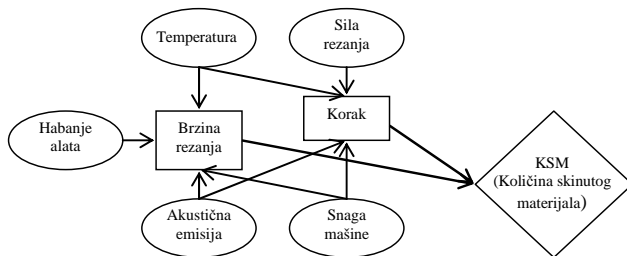
4.2 Tehnologije zasnovane na verovatnoći i statističkoj obradi podataka

Indukcioni dijagrami su razvijeni sa ciljem da omoguće predstavljanje kompleksnih problema odlučivanja, zasnovanih na nepotpunim i nesigurnim informacijama, dobijenim od raznih izvora. Oni omogućavaju integraciju znanja operatora za mašinom, teorijskog znanja i eksperimentalnih podataka dobijenih od

većeg broja senzora postavljenih na mašini. Predstavljanje znanja korišćenjem indukcionih dijagrama može se posmatrati sa tri aspekta: topološki, funkcionalni i numerički. Na topološkom nivou čvorne tačke dijagrama predstavljaju ključne promenljive sistema koji se modelira, dok linije i strelice predstavljaju funkcionalne veze i uticaje jednih promenljivih na druge. Na *Slici 3* prikazan je primer indukcionog dijagrama za determinisanje parametara obrade.



Slika 2: Struktura ekspertskog sistema zasnovanog na znanju

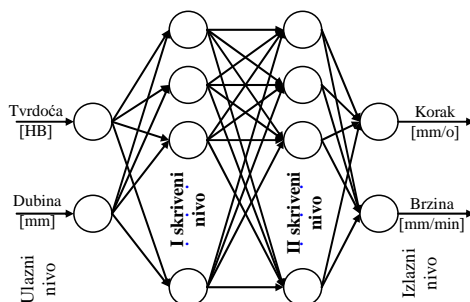


Slika 3: Indukcioni dijagram za determinisanje parametara obrade

4.3 Tehnologije zasnovane na veštačkim neuronskim mrežama i fazi logici

Pod pojmom “veštačka neuronska mreža - VNM” podrazumeva se skup velikog broja procesorskih jedinica – neurona međusobno povezanih vezama sa definisanim težinskim odnosima. Rad VNM zasniva se na paralelnom izvršavanju velikog broja prostih aritmetičkih operacija. Neuronska mreža (NM) sastoji se od jednog ulaznog, jednog izlaznog i jednog ili više skrivenih nivoa neurona. Primer NM koja služi za proračunavanje koraka i brzine rezanja za zadate vrednosti dubine rezanja i tvrdoće obratka data je na *Slici 4* [3]. Premali broj neurona ne dovodi do željenog konvergiranja mreže, dok sa druge strane preveliki broj neurona dovodi do povećanja potrebne memorije za rad mreže odn. poskupljenja mreže itd.

NM sa prostiranjem greške unazad (engl. BP – Backpropagation) predstavlja mrežu bez povratnih sprega, koja može da reši problem nelinearnog preslikavanja iz ulaznog u izlazni prostor. BP mreže sa više nivoa su prilično moćne. Mreža sa dva nivoa kod koje je prvi nivo sa sigmoidnom aktivacionom funkcijom a drugi nivo sa linearnom aktivacionom funkcijom, može se obučiti da aproksimira bilo koju funkciju pri čemu su neslaganja sa tačnim rezultatima veoma mala [4]. Ovakav tip NM iskorišten je za proračunavanje tehnoloških parametara obrade rezanjem (*Slika 4*).



Slika 4: Konfiguracija BP neuro mreže koja proračunava tehnološke parametre obrade

niz pravila (oblika AKO-ONDA) koja se nazivaju fazi pravilima (ili lingvističkim pravilima). Dva su osnovna tipa fazi sistema i to: Mamdani i Sugeno fazi sistemi [6], [7]. Fazi sistemi zajedno sa neuronskim mrežama i genetičkim algoritimima predstavljaju osnovu takozvanog mekog računarstva (engl. “soft computing”).

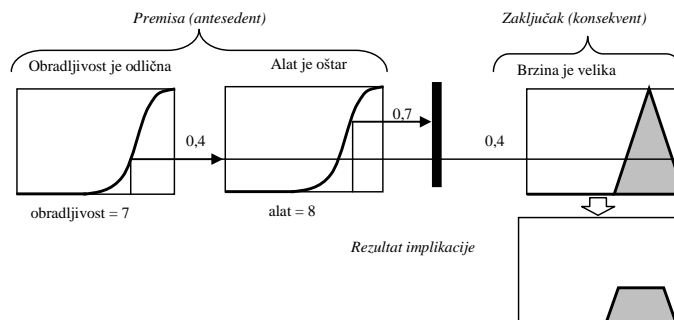
U osnovi, fazi sistem se sastoji od pet funkcionalnih celina: baza pravila, koja sadrži veći broj AKO – ONDA fazi pravila, baza podataka koja definiše funkcije pripadnosti fazi skupova koje se koriste u fazi pravilima, jedinica za zaključivanje koja operiše fazi pravilima, interfejs za fazifikaciju koji “prevodi” ulazne veličine u stepen saglasnosti sa lingvističkim skupom i interfejs za defazifikaciju koji “prevodi” dobijeni rezultat u izlaznu veličinu

Primer jednog pravila fazi sistema koji služi za određivanje brzine rezanja pri mašinskoj obradi rezanjem, u slučajevima gde su date samo orijentacione vrednosti ulaznih podataka (u ovom slučaju obradljivosti i stanja alata) dat je na *Slici 5*.

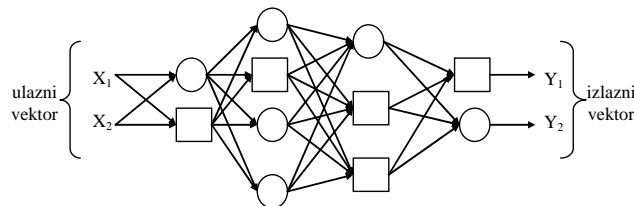
Adaptivni neuro-fazi sistemi predstavljaju specifičnu kombinaciju VNM i fazi logike. Adaptivna mreža predstavlja superskup svih vrsti NM bez povratnih sprega sa sposobnošću obučavanja sa nadgledanjem [8]. Ovakva mreža sastoji se od većeg broja međusobno povezanih čvorova, pri čemu su neki od čvorova adaptibilni, što znači da svaki od izlaza iz ovih čvorova zavisi od parametara koji su u direktnoj vezi sa ovim čvorom, a pravilom obučavanja specifikuje se kako treba da se pomenuti parametri menjaju da bi se minimizovala ukupna greška. Osnovno pravilo obučavanja adaptivnih mreža zasniva se na gradijentnoj metodi koju je još sedamdesetih godina prošlog veka predložio Werbos [9]. U cilju poboljšanja karakteristika i bržeg konvergiranja ka generalnom minimumu funkcije mogu se u cilju obučavanja koristiti i hibridni algoritmi obučavanja.

Jedna adaptivna neuro-fazi mreža prikazana je na *Slici 6*. Ona se sastoji od više slojeva neurona a svaki od njih izvršava određenu funkciju nad ulaznim. Da bi se predstavile različite adaptibilne sposobnosti na slici su prikazani okrugli i kvadratni neuroni (čvorovi). Kvadratni čvor (adaptibilni) poseduje određene parametre, dok ih okrugli čvorovi (fiksni) nemaju. Skup parametara adaptivne mreže predstavlja ustvari uniju skupova parametara svakog adaptivnog čvora. U cilju obezbeđivanja odgovarajućeg preslikavanja ulaznih u izlazne veličine, parametri čvorova se modifikuju i to u skladu sa podacima koji služe za obučavanje mreže i procedurom obučavanja zasnovanoj na gradijentnoj metodi.

Fazi tehnologije predstavljaju pokušaj da se neprecizne informacije predstavljaju i obrađuju pomoću računara, čime bi se obezbedila prisnija veza između čoveka, koji po prirodi ovakve informacije koristi, i računara, koji manipuliše isključivo brojevima i fiksnim simbolima. Zbog toga su fazi tehnologije orijentisane ka čoveku, i često se nazivaju humanim tehnologijama [5]. U svom radu sistemi sa fazi logikom koriste



Slici 5: Fazi pravilo i način zaključivanja



Slika 6: Adaptivna neuro-fazi mreža

5. PRIMENA SISTEMA KOJI KORISTE VEŠTAČKU INTELIGENCIJU U PROIZVODNJI

Značajnija primena VNM i fazi sistema u proizvodnim procesima krenula je krajem 80-tih godina. Polje primene je veoma široko, praktično pokriva sve oblasti proizvodnje, počevši od dizajniranja proizvoda, preko planiranja procesa, terminiranja i monitoringa proizvodnog procesa, sve do primene u svrhu kontrole kvaliteta gotovog proizvoda.

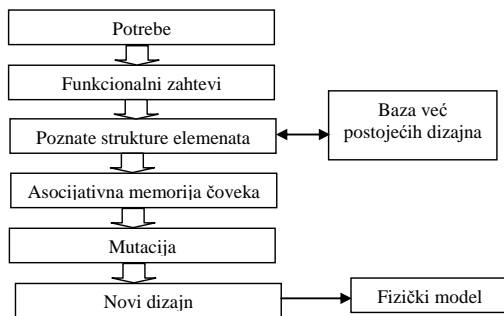
5.1 Dizajnrnje proizvoda

U velikom broju slučajeva postoji jedan broj geometrijskih i/ili tehnoloških karakteristika starog proizvoda koje bi na novom proizvodu trebalo zadržati. Venugopal i Narendran [10] razvili su model na bazi asocijativne memorije koji koristi Hopfieldovu NM. Sistem je testiran, i pokazao je veoma dobre rezultate kako za rotacione, tako i za nerotacione delove. Kamarthi je razvio sličan sistem [11] koji umesto Hopfieldove koristi VNM zasnovanu na propagaciji greške unazad. Kumara [12] u svom radu predstavlja primenu VNM pri konceptualnom dizajniranju proizvoda. Kreirani model prikazan je na Slici 7.

Rešavanje problema vezanih za optimizaciju u fazi dizajniranja proizvoda takođe je moguće izvršiti primenom VNM što su u svom radu pokazali Dhingra i Rao [13].

5.2 Planiranje procesa

Prvi pokušaji implementacije VNM pri planiranju procesa zabeleženi su kod Osakade [14]. VNM, radeći u sprezi sa odgovarajućim ekspertskim sistemom imala je zadatak da unapredi proces kovanja na hladno. VNM sa tri sloja neurona imala je za cilj



Slika 7: Model baziran na asocijativnoj memoriji

da poveže određeni broj rotacionih osnosimetričnih oblika sa načinom njihove izrade, predikciju broja operacija pri kovanju, predikciju loma i površinskih defekata, koristeći rezultate MKE analize. Hwang i Henderson [15] primenili su perceptron NM za inteligentno prepoznavanje oblika (odnosno prepoznavanje oblika iz CAD modela), što predstavlja prvi korak automatizovanog planiranja procesa. Knapp i Wang [16], iskoristili su sistem od dve međusobno povezane NM za automatsku akviziciju znanja o planiranju procesa. Deo se u prvom koraku dekomponuje na niz osnovnih rotacionih oblika, kojima se zatim pridružuju podaci o dimenzijama materijalu i sl. Zatim se ovako vektorizovani podaci dovode na ulaz VNM, koja kao izlaz daje moguće načine izrade određene rotacione površine. Za konačnu odluku o tome kojom će operacijom površina biti dobijena stara se druga NM. Primer automatskog izbora reznih alata u mašinskoj obradi struganjem dali su M. Santochi i G. Dini [17]. U svom radu oni su razmotrili mogućnost primene VNM za automatizovani izbor tehnoloških parametara reznog alata.

5.3 Terminiranje

VNM mogu se koristiti i u ovom domenu proizvodnje (Foo i Takefuji [18]). Prilikom rešavanja problema vezanih za terminiranje treba imati u vidu da mašine predstavljaju resurse proizvodnje na kojima se po utvrđenom redosledu izvršavaju pojedine operacije. Dakle radi se o problemima vezanim za maksimizaciju i minimizaciju nekih funkcija uz veći ili manji broj ograničavajućih faktora. Na ovom polju nalčešće su korištene Hopfield-ove mreže, kao i NM bez povratnih sprega sa prostiranjem greške unazad.

5.4 Modeliranje i kontrola procesa

Rangwala i Dornfeld [19] predlažu model procesa obrade zasnovan na VNM, koji koristi adaptivnu kontrolu (upoređivanjem trenutnih vrednosti parametara NM sa trenutnim optimalnim vrednostima procesa koji se dobijaju u modulu za sintezu). Ovo je tipičan primer upravljanja procesom obrade u realnom vremenu.

Gingrich [20] predstavlja metodologiju koja koristi principe VNM za predstavljanje ljudskog znanja. Ispitivanja su pokazala da sistemi zasnovani na NM mogu da „nauče“ akcije koje operator za mašinom peduzima u cilju kontrole sistema, ograničavajući se na neke jednostavnije primere. Prilaz ovom problemu sa strane VNM ima niz prednosti u poređenju sa heurističkim prilazom, a najznačajnije su:

- Nema potrebe za eksplicitnom formulacijom znanja od strane operatera
- Obučavanje NM znatno je jednostavnije od dizajniranja, kreiranja i eksploatacije ekspertnog sistema

NM takođe su uspešno primenjene pri električnom zavarivanju [21].

Y. S. Tarng, T. C. Wang, W. N. Chen, B. Y. Lee su projektovale NM za predikciju (predviđanje) sila rezanja pri obradi struganjem [22], kada su poznati napon tečenja, termalne karakteristike radnog komada i uslovi pod kojima se obrada vrši.

Rukovodeći se idejom da inženjeri zaposleni direktno u proizvodnji nemaju dovoljno vremena i podataka za detaljno proučavanje i analiziranje tabela, dijagrama i ostale raspoložive literature u cilju određivanja parametara proizvodnje, V. Narayanan je predložio koncept NM sa propagacijom greške unazad za proračunavanje parametara procesa [23], dajući istovremeno i osvrt na prednosti i nedostatke tradicionalnih empirijskih modela i ekspertnih sistema koji se već koriste za ovu svrhu.

Primenu veštačke inteligencije pri proračunu parametara obrade na CNC mašinama alatima dali su i Kyung Sam Park i Soung Hie Kim, pri čemu su razmotrili mogućnosti primene na znanju zasnovanih ekspertnih sistema i NM [24]. Modeliranje proizvodnih procesa za inteligentnu proizvodnju rešili su donekle, K. Hans Raj, Rahul Swarup Sharma, Sanjay Srivastava i C. Patvardhan [25]. Oni su izveli integraciju metoda konačnih elemenata (MKE) i NM pri obradi deformisanjem. Adaptivno i dinamičko planiranje procesa primenom NM kao i dinamički model planiranja za definisanje tehnoloških parametara procesa rezanja primenom NM mogu se naći u [26] i [27] autora Jaekoo Joo, Yong-Sun Choi, Gwang-Rim Yi i Hyunbo Cho. Prema predloženom rešenju, model dinamičkog planiranja, na bazi NM, izvršava se direktno u proizvodnji, čime se postiže dobijanje rezultata koji su aktuelni u datom.

5.5 Monitoring i dijagnostika procesa

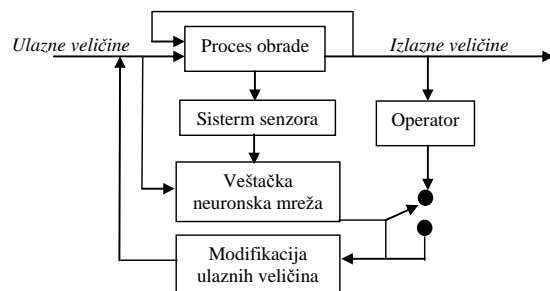
Primena VNM sa prostiranjem greške unazad (BP mreže) u funkciji monitoringa procesa obrade bušenjem (Govekar [28]), može se smatrati jednim od pionirskih radova. Rezultati ovog rada pokazuju da se uz pomoć jednog signala sa senzora za akviziciju akustične emisije koji se propušta kroz VNM mogu prepoznati slobodni hod alata, bušenje pod različitim uslovima, bušenje tupim alatom itd...

Koristeći signale sa senzora za merenje sile i vibracija i kombinujući ih na odgovarajući način, Kamarthi [29] je postavio osnove novog modela (zasnovanog na samoorganizujućim mapama) koji je u mogućnosti da uspostavi dijagnostiku zatupljenosti alata.

Monitoring procesa obrade rezanjem uz pomoć većeg broja senzora izveo je Masory [30], *Slika 8*.

Sistem od više međusobno povezanih NM, pri čemu izlaz iz jedne NM predstavlja ulaz u drugu mrežu postavili su L. H. S. Luong i T. A. Spedding [31]. Svoj pristup oni objašnjavaju činjenicom da se u postupku izbora tehnoloških parametara procesa radi o međusobno zavisnim podacima. Korišćenje NM za procenu pohabanosti alata, direktno na radnom mestu dali su J. H. Lee i S. J. Lee [32], kao i Santanu Das, A. B. Chattopadhyay i A. S. R. Murthy [33]. U ovim radovima su korišćene izmerene vrednosti sila rezanja, ali i međusobni odnosi rezultujućih sila rezanja. S. C. Lin i R. J. Lin iskoristili su vrednost izmerene sile rezanja pri čeonom glodanju za monitoring pohabanosti alata [34]. Oni su napravili niz eksperimenata u kojima je vršena obrada aluminijuma višesečnim alatima, a zatim dobijene rezultate analizirali uz pomoć dobijenog regresionog modela i obučene neuronske mreže. Optimizaciju uslova rezanja primenom NM izveli su T. Obikawa, C. Kaseda, T. Matsumura, W. G. Gong i T. Shirakashi [35]. Problem održavanja konstantne sile rezanja i predviđene tačnosti primenom neuronskih mreža pokušali su da reše Tao Luo, Wen Lu, K. Krishnamurthy i

B. McMillin [36]. R. J. Kuo i P. H. Cohen prikazali su mogućnost integrisanja NM i fazi logike pri rešavanju pitanja kontrole pohabanosti alata [37].



Slika 8: Monitoring procesa obrade rezanjem uz pomoć većeg broja senzora

Motoaki Takahara i Sawai Sukvittayawong dali su veliki doprinos razvoju NM i njihovoj implementaciji u mašinstvu. Oni su dali niz rešenja zasnovanih na NM u oblasti brušenja i glodanja i to merenjem i analiziranjem signala akustične emisije za vreme obrade [41, 42].

U narednim radovima, merenjem sile izvršena je optimizacija procesa obrade (primenom veštačkih neuronskih mreža) [43]. Takođe je dat primer detekcije BUE (Built – Up Edge) u procesu struganja metala uz pomoć neuronskih mreža [44].

5.6 Grupna tehnologija

Formiranje familije delova koristeći VNM predmet su istraživanja velikog broja istraživača. Kaparthy i Suresh [45], predložili su sistem zasnovan na VNM koji služi za klasifikaciju i kodiranje rotacionih delova. Na osnovu digitalizovane slike određenog dela ova mreža je u stanju da generiše kod na osnovu prepoznatih rotacionih površina. Nafis Ahmad i A. F. M. Anwarul Haque prikazali su mogućnost primene neuronskih mreža pri izboru procesa za obradu rotacionih delova [46]. U ovom slučaju, neuronske mreže igraju ulogu klasifikatora, koji tokom vremena uči pravilo preslikavanja ulaznih u izlazne veličine.

5.7 Robotika

Problemi koji su u robotici najrasprostranjeniji vezani su za kinematiku, dinamiku, projektovanje putanje, kontrolu i adaptibilno upravljanje na osnovu signala dobijenih sa većeg broja senzora [47]. U toku poslednjih desetak godina je pokazano da su VNM veoma upotrebljive kod prepoznavanja različitih oblika uzoraka, tako da su često korišćene za upravljanje nelinearnim dinamičkim sistemima. Nguyen [48], je dizajnirao veći broj VNM koje veoma uspešno rešavaju kinematičke probleme kod robota sa dva stepena slobode kretanja. Za kontrolu robota, odn. rešavanje direktnog i indirektnog kinematičkog problema, Miljković [47] je iskoristio takođe BP mrežu, sa algoritmom učenja zasnovanom na generalisanom delta pravilu.

Potočnik i Grabec [38, 39], prikazali su mogućnost spreznja genetičkih algoritama i NM. Optimizaciju parametara rezanja za vreme rezanja dali su Zuperl i Cus [40]. Oni su prikazali multiobjektivnu tehniku optimizacije koja razmatra tehnološka, ekonomska i organizaciona ograničenja. Manabu Wakuda, Ichiro Inazaki, Koji Ogawa,

6. ZAKLJUČAK

Iako su tokom poslednjih nekoliko decenija uloženi ogromni napori u iznalaženje univerzalnog sistema koji bi u potpunosti bio u stanju da kontroliše složene proizvodne procese ne može se još uvek reći da je rešenje problema blizu. U suštini, računarom podržano rešavanje ovog problema može se razložiti na dve komponente: hardverska i softverska [49]. Trenutno je hardverska komponenta znatno razvijenija, pa se kao rezultat ovoga u industriji već uveliko primenjuju senzori, pretvarači, kontroleri i slične komponente. U pogledu rešavanja problema vezanih za softversku komponentu postoji još uvek veliki broj problema koje treba na neki način rešiti.

Ovaj rad daje pregled najčešće korišćenih metoda veštačke inteligencije koji se za svrhu upravljanja proizvodnim procesima koriste. Sistemi koji u svom radu koriste VNM, fazi logiku, kao i kombinaciju ovih dveju tehnika danas su sve češće u upotrebi, a razlozi su mnogobrojni. Kao prvo, ovakvi sistemi koriste relativno jednostavan matematički aparat, sa velikim brojem matematičkih operacija koje se paralelno izvršavaju, a sa poboljšanjem performansi savremenih računara vreme potrebno za ova proračunavanja svedeno je na minimum. Drugo, i kod neuro i kod fazi, a i kod hibridnih sistema jasno su definisane ulazne i njima odgovarajuće izlazne veličine, pomoću kojih se vrši obučavanje sistema, lako je maipulisati bazom pravila, a poznavanje programiranja i odgovarajućeg matematičkog aparata nije neophodan preduslov za njihovo korišćenje. Treće, ako se ovakvi sistemi koriste u cilju predikcije pojedinih parametara nekog kompleksnog procesa (a najčešće se upravo za tu svrhu i koriste), nije potrebno nikakvo matematičko modeliranje ovog procesa, već samo odgovarajući parovi ulaznih i izlaznih veličina koji služe za obučavanje. Konačno simulacija ovakvih sistema može se izvesti na klasičnim računarskim platformama, pa ulaganja u neku dodatnu opremu nisu neophodna.

Međutim, iako se pomenuti sistemi stalno razvijaju (a neki od njih već i uspešno primenjuju u industriji) ne može se još uvek govoriti o generalnom rešenju inteligentnog projektovanja, modeliranja, simulacije i monitoringa proizvodnih procesa. Razlog leži u činjenici što su ovakvi procesi vrlo kompleksni, zavise od velikog broja faktora koje je potrebno na izvestan način uzeti u obzir pri proračunu (a koje je u izvesnim slučajevima i nemoguće definisati). Činjenica je da veštačke neuronske mreže, fazi sistemi i hibridni neuro-fazni sistemi predstavljaju pokušaj simulacije rada ljudskog mozga, ali je to još uvek na nedovoljno visokom nivou da bi se moglo razmišljati o sistemu koji bi ulogu čoveka u upravljanju industrijskim procesima u potpunosti zamenio.

LITERATURA

- [1] *Huang, S. H., Zhan, H. C.*, Artificial Neural Networks in Manufacturing: Concepts, Applications, and Perspectives, IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology – Part A, Vol. 17, No 2, June 1994, s.212-228
- [2] *Park, K. S., Kim, S. H.*, Artificial intelligence approaches to determination of CNC machining parameters in manufacturing: a review, Artificial intelligence in Engineering 12, 1998.
- [3] *Tanikić, D.*, Primena veštačkih neuronskih mreža za određivanje parametara procesa obrade rezanjem, magistarski rad, Niš, 2004.
- [4] *Grupa autora*, Neural Network Toolbox User's Guide – Copyright 1992-2000 by The MathWorks, Inc.

- [5] *Subašić, P.*, Fazi logika i neuronske mreže, Tehnička knjiga, 1997.
- [6] *Mamdani, E. H., Assilian, S.*, An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, *International Journal of Man-Machine Studies*, vol.7, no.1, 1975.
- [7] *Sugeno M.*, Industrial applications of fuzzy control, Elsevier Science Pub. Co., 1985.
- [8] *Jang, J. S. R.*, ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, *IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics*, vol.23, no.3, 1993., s.665-685
- [9] *Werbos, P.*, Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences, PhD thesis, Harvard University, 1974.
- [10] *Venugopal, V., Narendran, T. T.*, Neural network model for design retrieval in manufacturing systems, *Computers in industry*, vol.20, 1992., s.11-23
- [11] *Kamarthy, S. V., Kumara, S. T., Yu, F. T. S., Ham, I.*, Neural networks and their applications in component design data retrieval, *J. Intelligent Manufacturing*, vol.1, no.2, 1990., s.125-140
- [12] *Kumara, S. T., Kamarthy, S. V.*, Function-to-structure transformation in conceptual design: An associative memory based paradigm, *J. Intelligent Manufacturing*, vol.2, no.5, 1991.
- [13] *Dhingra, A. K., Rao, S. S.*, A neural network based approach to mechanical design optimization, *Engineering Optimization*, vol.20, 1992., s.187-203
- [14] *Osakada, K., Yang, G. B.*, Neural networks for process planning of cold forging, *Int. J. Machine Tools and Manufacture*, vol.31, no.4, 1991., s.577-587
- [15] *Hwang, J. L., Henderson, M. R.*, Applying the perceptron to three-dimensional feature recognition, *J. Design and Manufacturing*, vol.2, no.4, 1992., s.187-198
- [16] *Knapp, G. M., Wang, H. P.*, Neural networks in acquisition of manufacturing knowledge, *Intelligent Design and Manufacturing*, New York, John Wiley & Sons, 1992., s.723-744
- [17] *Santochi, M., Dini, G.*, Use of neural networks in automated selection of technological parameters of cutting tools, *Computer Integrated Manufacturing Systems*, vol.9, no.3, 1996.
- [18] *Foo, Y. P. S., Takefuji, Y.*, Integer linear programming neural networks for job-shop scheduling, *Proc. 1988 Int. IEEE Conf. Neural Networks*, vol.2, 1988.
- [19] *Rangwala, S. S., Dornfeld, D. A.*, Learning and optimization of machining operations using computing abilities of neural networks, *IEEE Trans. Syst. Man. and Cybern.* vol.19, no.2, 1989., s.299-314
- [20] *Gingrich, C. G.*, Modelling human operators using neural networks, *ISA Transactions*, vol.31, no.3, 1992., s.81-90
- [21] *Anderson, K., Cook, G. E., Springfield, J. F., Barnett, R. J.*, Applications of artificial neural networks for arc welding, *Intelligent Engineering Systems Through Artificial Neural Networks*, New York, ASME Press, s.717-728
- [22] *Tarn, Y. S., Wang, T. C., Chen, W. N., Lee, B. Y.*, The Use of Neural Networks in predicting Turning Forces, *Journal of Materials Processing Technology*, vol.47, 1995.
- [23] *Narayanan, V.*, Systems for the Prediction of Process Parameters, *Journal of Materials Processing Technology*, vol.54, 1995., s. 64-69
- [24] *Park, K. S., Kim, S. H.*, Artificial Intelligence Approach to Determination of CNC Machining Parameters in manufacturing: a Review, *Artificial Intelligence in Engineering*, vol.12, 1998., s.127-134
- [25] *Raj, K. H., Sharma, R. S., Srivastava, S., Patvardhan, C.*, Modeling of Manufacturing Processes with ANNs for Intelligent Manufacturing, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol.40, 2000., s.851-868
- [26] *Joo, J., Choi, Y. S.*, Adaptive and Dynamic Process Planning Using Neural Networks, *EDA Conference '99*, 1999., s.74-81
- [27] *Joo, J., Yi, G. R., Cho, H., Choi, Y. S.*, Dynamic Planning Model for Determining Cutting Parameters Using Neural Networks in Feature-Based Process Planning, *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol.12, 2001., s. 13-29

- [28] *Govekar, E., Grabec, I., Peklenik, J.*, Monitoring of a drilling process by a neural network, The 21st CIRP Int. Seminar on Manufacturing Systems, Stockholm, Sweden, 1989.
- [29] *Kamarthi, S. V., Cohen, G. H., Kumara, S. R. T.*, On-line tool wear monitoring using a Kohonens feature map, Intelligent Engineering Systems Through Artificial Neural Networks, New York, ASME Press, 1991., s.639-644
- [30] *Masory, O.*, Monitoring machining process using multi-sensor readings fused by artificial neural network, J. Materials Processing Technology, vol.20, no.1&2, 1991.
- [31] *Luong, L. H. S., Spedding, T. A.*, A Neural Network System for Predicting Machining Behaviour, Journal of Materials Processing Technology, vol.52, 1995.
- [32] *Lee, J. H., Lee, S. J.*, One-step-ahead Prediction of Flank Wear Using Cutting Force, International Journal of Machine Tools & Manufacture, vol.39, 1999.
- [33] *Das, S., Chattopadhyay, A. B., Murthy, A. S. R.*, Force Parameters for On-line Tool Wear Estimation: A Neural Network Approach, Neural Networks, vol.9, no.9, 1996.
- [34] *Lin, S. C., Lin, R. J.*, Tool Wear Monitoring in Face Milling Using Force Signals, Wear, vol.198, 1996., s.136-142
- [35] *Obikawa, T., Kaseda, C., Matsumura, T., Gong, W. G., Shirakashi, T.*, Tool Wearing Monitoring for Optimizing Cutting Conditions, Journal of Materials Processing Technology, vol.62, 1996., s. 374-379
- [36] *Luo, T., Lu, W., Krishnamurthy, K., McMillin, B.*, A Neural Network Approach for Force and Contour Error Control in Multi-dimensional End Milling Operations, International Journal of Machine Tools & Manufacture, vol.38, 1998., s.1343-1359
- [37] *Kuo, R. J., Cohen, P. H.*, Intelligent Tool Wear Estimation System Through Artificial Neural Networks and Fuzzy Modeling, Artificial Intelligence in Engineering, vol.12, 1998.
- [38] *Potočnik, P., Grabec, I.*, Nonlinear Model Predictive Control of a Cutting Process, Neurocomputing, vol.43, 2002., s.107-126
- [39] *Potočnik, P., Grabec, I.*, Adaptive Self-Tuning Neurocontrol, Mathematics and Computers in Simulation, vol.51, 2000., s.201-207
- [40] *Zuperl, U., Cus, F.*, Optimization of Cutting Conditions During Cutting by Using Neural Networks, Robotics and Computer Integrated Manufacturing, vol.19, 2003.
- [41] *Wakuda, M., Inazaki, I., Ogawa, K., Takahara, M.*, Monitoring of the Grinding Process with an AE Sensor Integrated CBN Wheel, Journal of Advanced Automation Technology, vol.5, no.4, 1993., s.179-184
- [42] *Sukvittayawong, S., Inasaki, I.*, Identification of Chip Form in Turning Process, JSME International Journal, series III, vol.34, no.4, 1991., s. 553-560
- [43] *Sukvittayawong, S., Inasaki, I.*, Optimization of Turning Process by Cutting Force Measurement, JSME International Journal, series III, vol.34, no.4, 1991., s.546-552
- [44] *Sukvittayawong, S., Inasaki, I.*, Detection of Built – Up Edge in Turning Process, Int. J. Mach. Tools Manufact., vol.34, no.6, 1994., s.829-840
- [45] *Kaparthi, S., Suresh, N. C.*, A neural network system for shape-based classification and coding of rotational parts, Int. J. Production Research, vol.29, no.9, 1991.
- [46] *Ahmad, N., Haque, A. F. M. A.*, Artificial Neural Network Based Process Selection for Cylindrical Surface Machining, Proceedings of the Int. Conf. on Manufacturing, ICM 2002, Dhaka, 2002., s.321-326
- [47] *Nguyen, L., Patel, R. V., Knorasani, K.*, Neural networks architectures for the forward kinematics problem in robotics, Proc. Joint IEEE Int. Neural Networks Conf., vol.3, 1990.
- [48] *Miljković, Z.*, Sistemi veštačkih neuronskih mreža u proizvodnim tehnologijama, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2003.
- [49] *Sick, B.*, On-line and indirect tool wear monitoring in turning with artificial neural networks: a review of more than a decade of research, Mechanical Systems and Signal Processing, vol.16, no.4, 2002., s.487-546

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

RAD PO POZIVU

ISKUSTVA U BRZOJ IZRADI PROTOTIPOVA TEHNOLOGIJOM 3D ŠTAMPE

N. Grujović¹⁾, N. Milivojević²⁾, V. Milivojević³⁾, V. Dimitrijević⁴⁾,
D. Grujović⁵⁾

Rezime: Ovaj rad je nastao kao rezultat upotrebe 3D štampača u Centru za informacione tehnologije na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu za brzu izradu prototipova. Kako je ovo relativno nova tehnologija i jedinstvena oprema u regionu, u radu su date osnove tehnologije, kao i iskustva u procesu izrade. Naznačeni su mogući problemi u izradi prototipova tehnologijom 3D štampe i date su preporuke za rešavanje ovih problema.

Ključne reči: 3D štampa, brza izrada prototipova, razvoj proizvoda

EXPERIENCES IN RAPID PROTOTYPING WITH 3D PRINTING TECHNOLOGY

Abstract: This paper is a result of constant use of 3D printer in Centre for information technologies at Faculty of Mechanical Engineering of Kragujevac for rapid prototyping. Since this is rather new technology, and unique piece of equipment in region, this paper presents its basics, and experiences in actual prototyping. Possible problems in rapid prototyping with 3D printing technology are emphasized, and solutions to these problems are proposed.

Key words: 3D printing, rapid prototyping, product development

1. UVOD

Brza izrada prototipova (engl. *Rapid Prototyping* - RP) je relativno nova pojava u industriji koja treba da reši probleme i ograničenja tradicionalnih metoda izrade prototipova. Postoje razne metode brze izrade prototipova i sve one imaju jednu zajedničku osobinu: kratko vreme proizvodnje prototipa. Umesto da se određeni delovi izrađuju nedeljama, sada je potrebno par dana, u nekim slučajevima i nekoliko sati, da se dobije gotov deo. Pa ipak, nedostatak svih ovih metoda je izrada delova od materijala koji se ne koristi za krajnji proizvod. Tako su veoma ograničene mogućnosti primene ovakvih prototipova za funkcionalna ispitivanja.

¹⁾ Prof. Dr Nenad Grujović, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, mfg@kg.ac.yu

²⁾ Nikola Milivojević, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, mfg@kg.ac.yu

³⁾ Vladimir Milivojević, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, mfg@kg.ac.yu

⁴⁾ Vladimir Dimitrijević, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, mfg@kg.ac.yu

⁵⁾ Đorđe Grujović, IBM United Kingdom Limited, London, Velika Britanija

I pored značajnih nedostataka, tehnologija brze izrade prototipova iz osnova menja shvatanje procesa razvoja proizvoda, omogućujući svim učesnicima razvojnog ciklusa konkretnu razmenu ideja i blagovremenu optimizaciju dizajna i tehnologije, pre nego što se uđe u skupe procese izrade alata i nultih serija.

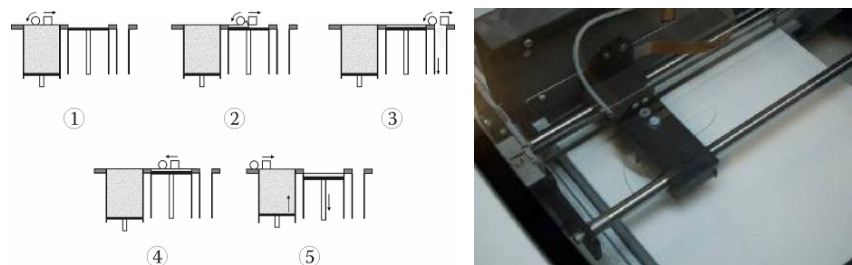
2. TEHNOLOGIJA 3D ŠTAMPE

Kompanija ZCorporation je osnovana 1994. godine u Masačusetsu, SAD. Na osnovu patentirane tehnologije, koja je razvijena na Institutu za tehnologiju, Masačusets (MIT), ova kompanija je razvila i komercijalizovala 1997. godine svoj prvi 3D štampač, Z402 sistem. Ova tehnologija spada u postupke sa praškastim materijalom, a koristi princip vezivanja čestica praha adhezivima.

Vezivno sredstvo nanosi se na prah kroz glavu za štampanje. Sitne kapljice veziva se izbacuju kroz otvore glave termalnim inkdžet postupkom. To postavlja određena ograničenja u izboru vezivnih sredstava, ali sam princip izrade je dovoljno svestran da se nove primene stalno pojavljuju. Sa druge strane, analogno 2D inkdžet štampačima, ovakav sistem može izrađivati i predmete u boji. Ovo je jedinstvena mogućnost u svetu RP tehnika.

Na slici 1. prikazan je postupak štampanja jednog sloja. Na šematskom prikazu treba uočiti sledeće delove: sa leve strane je spremište praha i klip za dodavanje materijala, valjak je prikazan kao krug pored koga je kvadratom prikazan pokretni most, u sredini je radna komora sa platformom, a sa desne strane je otvor za prihvatanje viška materijala. Most može da se kreće u oba smera, a glava se kreće duž mosta, tako da je omogućeno nanošenje veziva u horizontalnoj ravni.

U prvoj operaciji pokretni most koji nosi valjak i glavu za štampanje kreće se sa leva na desno. Valjak se okreće u smeru prikazanom na slici i odnosi određenu količinu praha. Zatim taj prah u drugom koraku razvlači u tanak sloj preko prethodno izrađenog sloja na platformi radne komore. Na kraju hoda udesno, valjak odnosi višak praha do otvora koji ga prihvata i sprovodi u spremište. U sledećem koraku, most se kreće sa desna na levo, a pritom glava štampa aktuelni poprečni presek. Pri dolasku mosta u krajnji levi položaj, klip za dodavanje materijala se podiže za jedan korak, dok se platforma spušta za debljinu sloja, i sve je spremno za ponovni ciklus.



Slika 1. Postupak 3D štampe

Prah na koji nije naneto vezivno sredstvo služi ujedno kao oslonac. Kada je postupak gotov, izrađeni deo se nalazi u nevezanom prahu. Platforma radne zapremine se podiže, i deo se vadi iz suvišnog praha. Višak materijala se usisava i prosejava i ponovo upotrebljava za sledeći model. Za određene primene, takav deo može se upotrebiti uz kraće sušenje. Za upotrebe dela u svrhe provere dizajna i funkcionalnosti, potrebno je postprocesiranje. Ono se svodi na infiltriranje modela cijanoakrilatnim

lepkom, ili za izdržljivije modele, epoksi lepkom. Tako ojačani delovi mogu se peskariti, bojiti ili metalizirati radi boljeg vizuelnog efekta. Kombinacijom osnovnog materijala i infiltranta u vidu uretana mogu se dobiti i savitljivi delovi.

2.1 Primene

Primene delova izrađenih 3D štampom su brojne, i stalno se umnožavaju. S obzirom na raznovrsne mogućnosti postprocesiranja, lako je modelu dati željeni izgled i karakteristike. Neke od primena su: izrada konceptijskih i funkcionalnih modela i prototipova, šablona za livenje, direktno livenje obojenih metala i izrada kalupa za RTV formiranje.

Na sledećim slikama su prikazani neki od prototipova izrađenih u Centru za informacione tehnologije Mašinskog fakulteta u Kragujevcu.



a) kućište za elektronski uređaj



b) ručica brave



c) prototip - automobilska industrija



d) inhalator – medicinska oprema

Slika 3. Primeri izrađenih prototipova.

2.2 Komercijalni sistemi za 3D štampu

Sisteme za 3D štampu ekskluzivno pod zaštićenim imenom proizvodi kompanija ZCorporation. U njihovoj aktuelnoj ponudi se nalaze tri 3D štampača. Tabela 1. sadrži osnovne karakteristike ovih modela.

Tabela 1. Komercijalni sistemi za 3D štampu kompanije ZCorporation

Model	ZPrinter 310 System	Spectrum Z510	Z810 System
Maksimalne dimenzije dela	203x254x203 mm	254x356x203 mm	500x600x400 mm
Brzina izrade sloja	2 sloja/min	Kolor: 2 sloja/min Jednobojni: 6 sl./min	Kolor: 2 sloja/min Jednobojni: 6 sl./min
Debljina sloja	0,089 – 0,203 mm	0,089 – 0,203 mm	0,089 – 0,203 mm
Rezolucija u horizontalnoj ravni	300x300 dpi	600x540 dpi	300x300 dpi
Boja	Ne	Da	Da
Broj glava	1	4	4

2.3 Istraživanje i razvoj

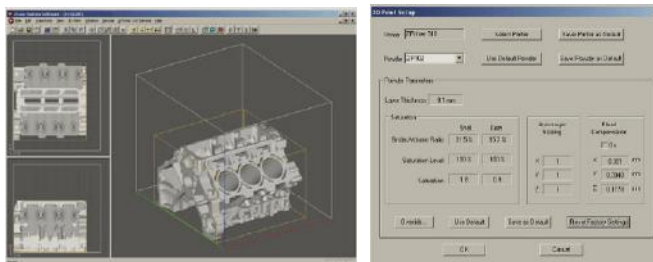
Kompanija ZCorporation stalno radi na novim materijalima i usavršavanju postupka 3D štampe. Nedavno se pojavio materijal koji nakon izrade ne zahteva dodatno očvršćavanje infiltracijom, jer su mu mehaničke karakteristike zadovoljavajuće. Takođe, u najavi je i materijal za izradu kalupa i jezgara za direktno livenje železnih livova. Što se razvoja novih sistema tiče, dobar primer je najnoviji 3D štampač Spectrum 510, koji je ujedno i najbrži RP sistem današnjice. On ima povećanu rezoluciju u horizontalnoj ravni, a time je obezbeđen bolji kvalitet površine i finiji detalji na izrađenim delovima.



Slika 4. ZCorporation ZPrinter 310 System u prostorijama Centra za informacione tehnologije Mašinskog fakulteta u Kragujevcu

3. POSTUPAK IZRADE PROTOTIPOVA NA 3D ŠTAMPAČU

Izradom prototipova na 3D štampaču se upravlja uz pomoć namenske aplikacije ZPrint Software.



Slika 5. Izgled ZPrint Software (levo) i dijaloga parametara procesa 3D štampe (desno)

ZPrint softver podržava više formata fajlova 3D modela za štampanje, od kojih je najpoznatiji STL format. Mogući su problemi pri uvozu STL fajlova, pošto ovaj format ima nedostataka usled kojih može doći do grešaka u izradi. Otklanjanje grešaka u STL fajlu je moguće u ZPrint softveru samo kroz jednostavne operacije, dok se ozbiljniji problemi moraju rešavati uz pomoć specijalnih aplikacija. Važni parametri procesa koji se mogu podesiti su: „Layer Thickness“ – debljina sloja, „Saturation“ – parametri vezani za količinu veziva, anizotropno skaliranje i kompenzacija razlivanja veziva.

Osnovno postprocesiranje sastoji se u uklanjanju viška praha sa odštampanog dela i pažljivog vađenja iz radne komore, zatim odstranjivanje ostatka praha sa dela u komori za izduvavanje, sušenje (slobodno ili u pećnici na temperaturi od 90°C) i ojačavanje odštampanog dela upotrebom odgovarajućeg sredstva za infiltraciju.

3.1 Mogući problemi u izradi i preporuke za njihovo rešavanje

Podešavanja dela, orijentacija i parametri štampanja mogu bitno uticati na geometriju i tačnost dimenzija. Delovi koji se štampaju ne smeju se raspoređivati blizu jedni drugih. Potrebno je između delova ostaviti onoliko mesta koliko je potrebno da se usisa prah i da se pojedinačni delovi prihvate prstima. Delove je potrebno orijentisati tako da osetljivi detalji budu raspoređeni u vertikalnom pravcu. Ukoliko se ispod osetljivih detalja objekta koji se štampa nalazi samo neupotrebljeni prah znatno se povećava mogućnost lomljenja osetljivih detalja pri vađenju dela iz praha. Pri štampanju osetljivih delova koristi se funkcija «*Fixture*» kako bi se kreirao čvrst oslonac. Time se deo podiže za 6,4 mm, a ispod dela se formira postolja koje osigurava lakše rukovanje. Korišćenje *Bleed Compensation* opcije može dovesti do smanjenja veličine detalja. Zato se ova opcija ne koristi za delove sa detaljima manjim od 1,27 mm. Tankozidni delovi se ojačavaju smanjivanjem debljine sloja na 0,089 mm i podešavanjem vrednosti zasićenja na one koje odgovaraju štampanju sloja od 0,102 mm. Ovo će povećati učešće veziva u odnosu na prah i povećati okvašenost praha. Ojačavanjem dela na ovaj način povećava se vreme sušenja odštampanog dela.



a) deo oštećen pri grubom odstranjivanju



b) deo oštećen pri finom odstranjivanju



c) pukotine nastale usled naglog sušenja



d) nepravilno nanošenje infiltranta

Slika 6. Primeri izrađenih prototipova.

Uvek je potrebno poznavati položaj i orijentaciju delova unutar radne komore, da se ne bi oštetili delovi tokom odstranjivanja praha. Pri grubom odstranjivanju praha (odstranjivanje viška praha unutar radne komore) mora se izbegavati postavljanje vakumskog usisnika direktno u prah. Usisavanje neupotrebljenog praha se započinje sa spoljne ivice radne komore, i usisanje se vrši lagano prema odštampanom predmetu. Vrh vakumskog usisnika drži se na razdaljini od približno 6 mm od slobodnog praha.

Slično tome, prilikom finog odstranjivanja praha u namenskoj komori, zbog pritiska koji vrši vazduh iz mlaznice mora se voditi računa da ne dođe do oštećenja dela. Zato je potrebno izabrati mlaznicu koja odgovara debljini zida dela koji se obrađuje i, uz to, strogo paziti da mlaznica ne bude preblizu osetljivih detalja. Takođe, kod

tankozidnih delova poželjno je da nakon štampe deo ostane u prahu 30 minuta pre grubog i finog odstranjivanja praha, jer su mu tada mehaničke karakteristike bolje.

U toku sušenja može doći do mehaničkog oštećenja ili promene geometrije. Ukoliko se vrši sušenje na temperaturi većoj od preporučenih 90°C, može doći do pojave pukotina usled naglog isparavanja veziva. Delove koji imaju duge prepuste ili tanke zidove potrebno je osloniti tokom sušenja. Neoslonjeni delovi će promeniti geometriju usled sopstvene težine, jer vlažan deo ima slabe mehaničke karakteristike.

Pri nanošenju infiltranta može doći do oštećenja dela ili do promene izgleda spoljne površine. Posebno je izražena kod cijano-akrilatnih infiltranata pojava termičkih napona u delu, jer je polimerizacija cijano-akrilata egzotermni hemijski proces. Voda koja se nalazi u vezivu dodatno ubrzava polimerizaciju, pa je stoga neophodno pre primene ovih infiltranata odstraniti vodu sušenjem na preporučenoj temperaturi. Takođe, količina nanetog infiltranta, kao i njegov kvalitet, mogu pogoršati mehaničke karakteristike, kao što je prikazano na slici 6.d, gde je došlo do loma dela usled prevelike količine infiltranta koji nije mogao da polimerizuje u potpunosti. Ukoliko se, sa druge strane, infiltrant nanosi naglo u većim količinama, moguća je pojava barica koje sporo otvrdnjavaju i pogoršavaju izgled dela. Zato se preporučuje ravnomerno nanošenje infiltranta, ili upotreba specijalnih raspršivača.

4. ZAKLJUČAK

Prototipovi izrađeni tehnologijom 3D štampe često imaju slabije mehaničke karakteristike u odnosu na finalne proizvode. Da bi se poboljšale karakteristike, potrebno je pridržavati se preporuka proizvođača (*ZCorporation*), ali i preporuka izloženih u ovom radu. Time se obezbeđuje maksimalni kvalitet izrađenog prototipa. Dalja istraživanja će biti usmerena ka konkretnim ispitivanjima mehaničkih karakteristika u zavisnosti od primenjenog infiltranta i parametara procesa izrade.

LITERATURA

- [1] *Venuvinod P.K., Ma W.*, Rapid Prototyping – Laser-based and Other Technologies, Kluwer Academic Publishers, (ISBN 1-4020-7577-4), Norwell, MA, USA, 2004.
- [2] *Gebhart A.*, Rapid Prototyping, Hanser, (ISBN 3-446-21259-0), München, Germany, 2003., s. 178-183
- [3] *Jacobs P.F.*, Rapid Prototyping & Manufacturing – Fundamentals of StereoLithography, Society of Manufacturing Engineers, (ISBN 0-87263-425-6), Dearborn, MI, USA, 1992., s. 4-23
- [4] ZPrinter 310 User Manual, ZCorporation, September 2003.
- [5] *Lauder A., Cima M.J., Sachs E., Fan T.*, Three Dimensional Printing: Surface Finish and Microstructure of Rapid Prototyped Components, Synthesis and Processing of Ceramics: Scientific Issues, Boston, MA, USA, 2-6 Dec. 1991., s. 331-336.
- [6] *Pham D.T., Gault R.S.*, A comparison of rapid prototyping technologies, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Elsevier Science, (ISSN 0890-6955), Volume 38, Number 10, October 1998, s. 1257-1287
- [7] *Grujović N.*, Brza izrada prototipova – Rapid Prototyping, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2005., s. 53-60
- [8] *Filetin T., Kramer I., Šercer M.*, Brza izrada konstrukcijskih dijelova i alata, Studija - analiza unutar tehnološkog projekta "SUMAT - Razvoj i primjena suvremenih materijala" financiranog od MZOS Republike Hrvatske, Srpanj 2004, s. 9-12

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

RAD PO POZIVU

RAZVOJ I CAD/CAM PROJEKTOVANJE ALATA ZA "FORM" AMBALAŽU

Lj. Lukić ¹⁾, S. Ivanović ²⁾

Rezime: Danas je "form" ambalaža najrasprostranjeniji način savremenog pakovanja proizvoda u oblasti elektronike, računarske opreme, radio, tv i telefonskih aparata, kao i niza drugih proizvoda u oblasti prehrambene i hemijske industrije. Tehnologija proizvodnje "form" ambalaže ispunjava ekološke zahteve i zasniva se na reciklaži starog papira. U radu se prikazuje metodologija CAD/CAM projektovanja "form" alata na jednom primeru iz proizvodne prakse, od geometrijskog modeliranja do generisanja NC koda i simulacije. Model 3D radne površine alata se koristi za projektovanje donjeg "form" i termo alata, a preslikana površina se koristi za gornji transfer i termo alat.

Ključne reči: Alati, CAD/CAM projektovanje, "form" ambalaža

DEVELOPMENT AND CAD/CAM DESIGN OF TOOLS FOR PAPER PULP MOULDS PACKS

Abstract: Today is paper pulp moulds pack very rife way of modern product packing in area of electronics, computer equipment, radio, tv and telephone gadgets, and many other products in area of food and chemical industry. Production technology for paper moulds fullfills ecological requests and is based on recycling old paper. This paper presents methodology of CAD/CAM design of pulp moulding tools on one example from production practice, from geometrical modelling to NC code creating and simulation. Model of 3D work surface tools is used for lower form and termo tools design, and copying surface is used for upper transfer and termo tools.

Key words: Tools, CAD/CAM design, paper pulp moulds packs

1. UVOD

Savremeni način pakovanja industrijskih proizvoda zahteva apsolutnu zaštitu proizvoda na liniji proizvođač - korisnik, adekvatan dizajn elemenata za pakovanje proizvoda, nisku cenu i malu težinu ambalaže, mali prostor za ambalažne elemente koji moraju biti od reciklirajućih i razgradivih materijala. Sve ove zahteve ispunjava tzv. "form" ambalaža koja se izrađuje od otpadnog papira i pretstavlja danas jedan od veoma važnih ekoloških i tehničko tehnoloških pravaca istraživanja i razvoja u svetu. "Form" ambalaža se primenjuje u pakovanju računarske opreme, širokog spektra

¹⁾ Ljubomir S. Lukić, Mašinski fakultet, Kraljevo, Srbija, lukic.lj@maskv.edu.yu

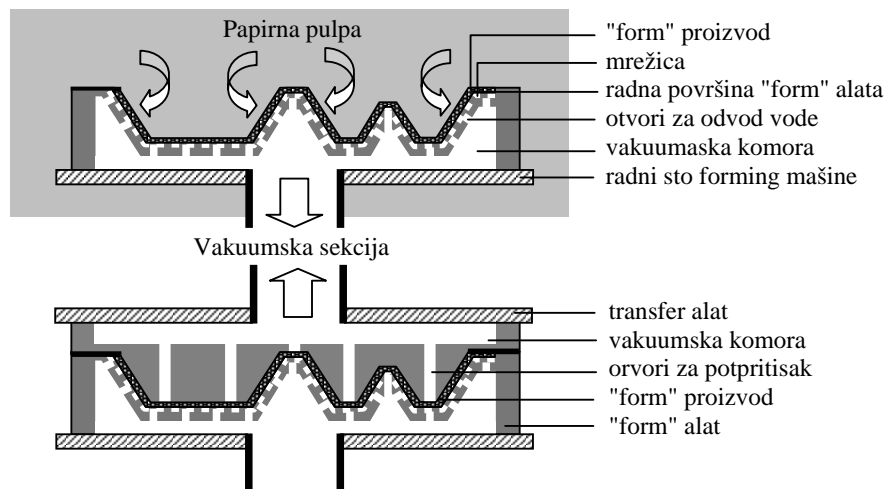
²⁾ Slobodan Lj. Ivanović, Mašinski fakultet, Kraljevo, Srbija, ivanovic.s@maskv.edu.yu

elektronskih komponenti, radio i tv aparata, telefona, hemijskih proizvoda u staklenim bocama, prehrambenih i niza drugih industrijskih proizvoda. Optimalan način pakovanja zahteva da svaki tip proizvoda ima specijalno oblikovano sopstveno "form" kućište, što podrazumeva intenzivnu primenu najnovije metodologije automatizovanog CAD/CAM projektovanja alata za svako kućište.

2. KARAKTERISTIKE ALATA ZA "FORM" AMBALAŽU

Da bi se proizvelo "form" kućište potrebne su dve vrste kompleta alata. Najpre je potreban komplet alata za izradu mokre forme, a zatim komplet termo alata za konačno oblikovanje površina suve forme kućišta. Komplet alata za mokru formu se sastoji od donjeg "form" alata koji služi za formiranje mokre forme i gornjeg - transfer alata koji služi za preuzimanje mokre forme sa "form" alata i automatsko prenošenje na transportnu traku sušare. Kao i "form", tako i termo alati imaju gornji i donji deo izmedju kojih se postavlja suva forma kućišta na konačno oblikovanje geometrije pod pritiskom i visokom temperaturom.

Alat se projektuje prema funkcionalnom principu stvaranja "form" kućišta od vlakana na potopljenom alatu u papirnoj pulpi. Osnovni funkcionalni princip rada se zasniva na potapanju "form" alata u papirnu pulpu, koja se sastoji od 1.0-1.5% koncentracije papirnih vlakana u industrijskoj vodi (slika 1). Papirna pulpa se priprema u posebnoj sekciji tehnološkog postrojenja, i dovodi u rezervoar forming mašine na koju se postavljaju "form" alati.

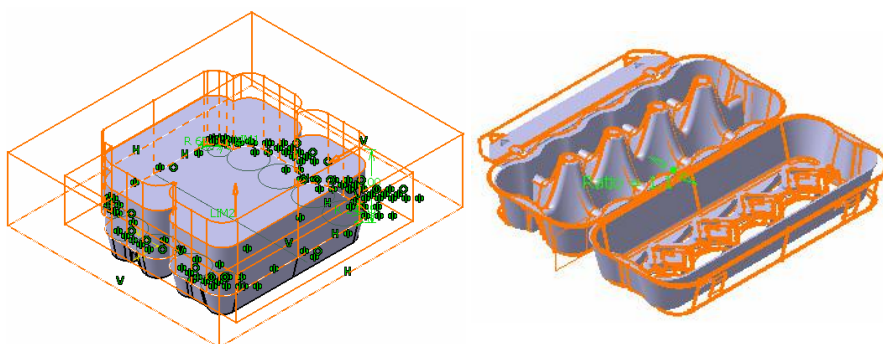


Slika 1. Funkcionalni princip rada "form" alata

Kada je alat potopljen, vakuumska sekcija forming mašine povlači papirnu pulpu kroz alat, pri čemu se papirna vlakna zadržavaju na mrežici alata a kroz mrežicu i otvore se odvodi voda u sekciju za separaciju. Pri vakuumu od 0.08 MPa za "form" proizvod mokre težine 250 grama, pri gustini pulpe od 1.0%, dovoljan je ciklus usisavanja od 2 sekunde. Za te 2 sekunde kroz mrežicu i odvodne otvore na "form" alatu odvede se 25 litara vode. Pri proračunu i projektovanju "form" alata mora se ispuniti ovaj funkcionalni uslov, a glavna razvojna aktivnost je u dizajnu i modeliranju radne površine alata, koja je najčešće veoma složenog prostornog oblika.

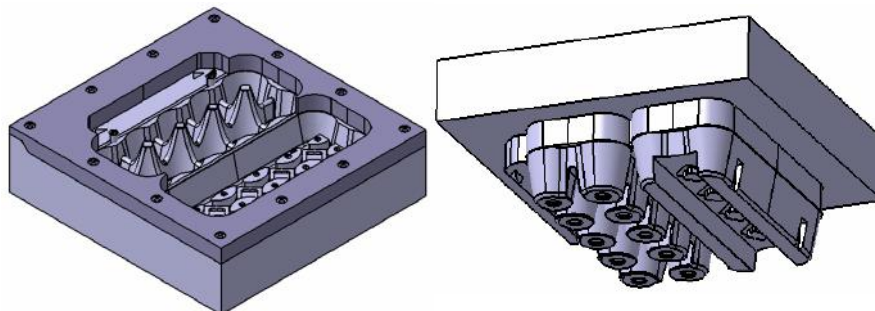
3. CAD/CAM PROJEKTOVANJE "FORM" ALATA

Složenost modeliranja radnih površina alata za "form" ambalažu se značajno pojednostavljuje primenom CAD/CAM sistema, gde funkcije preslikavanja omogućuju da se jedan 3D model koristi za sve radne površine na "form" i termo alatima. Na primeru kutije za pakovanje jaja (slika 2), čija se radna površina modelira po gnezdima, moguće je vrlo jednostavno dodavanjem, projektovati alate sa različitim brojem gnezda. Primer kutije za pakovanje jaja je veoma složen, karakterističan i reprezentativan za tehnologiju "form" ambalaže, zbog toga što je proizvod koji se pakuje veoma osetljiv na mehanička dejstva, zahteva strujanje vazduha da bi se što duže zadržala svežina i ima veoma nisku cenu pa samim tim zahteva i ekstremno niske troškove pakovanja.



Slika 2. Geometrijsko 3D modeliranje radne površine kutije (CATIA)

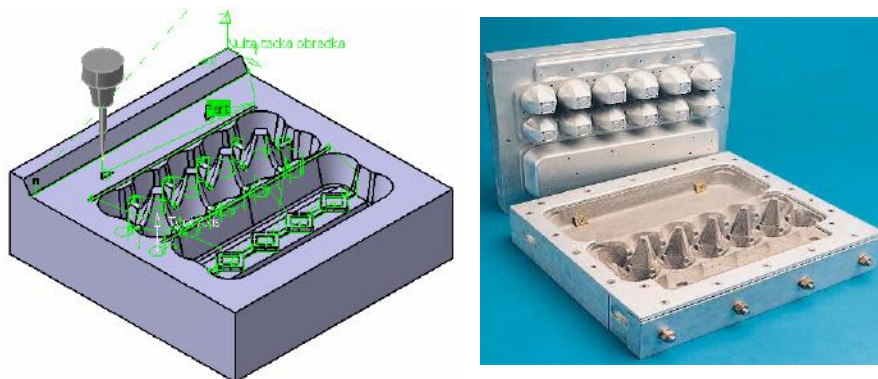
Geometrijski 3D model radne površine "form" alata (slika 3) odgovara površini kutije za pakovanje, dok se umanjnjem za veličinu debljine kutije po vertikalnoj osi dobija radna površina transfer alata, da bi se obezbedio potreban prostor, jer se mokra forma kutije mora naći između "form" i transfer alata kada su oni spojeni u momentu prenošenja forme sa donjeg na gornji alat.



Slika 3. CAD dizajn gornjeg i donjeg alata za "form" ambalažu

Jednostavnim uvećanjem modela radne površine projektuju se alati za različite veličine kutija (za pakovanje jaja veličine 15, 17, 20 ili 22 libre). Radna površina donjeg termo alata odgovara površini "form" alata, pri čemu je fino obradjena i ima funkciju završnog geometrijskog oblikovanja kutije. Radna površina gornjeg termo alata

odgovara 3D modelu površine transfer alata, da bi pri toplom presovanju bile oblikovane funkcionalne površine kutije koje se deformišu u procesu sušenja (slika 4).



Slika 4. Simulacija NC koda i izgled finalno izradjenog alata

Mogućnost automatskog generisanja NC koda iz 3D modela za obradu na mašinama sa CNC upravljanjem i simulacija putanje alata sa animacijom, omogućava konačnu proveru ispravnosti projektovanog tehnološkog postupka. Primenjena metodologija CAD/CAM projektovanja obezbeđuje visoku pouzdanost i efikasnost u razvoju "form" alata, a istovremeno garantuje visok kvalitet i tržišnu konkurentnost u odnosu na poznate svetske proizvođače.

4. ZAKLJUČAK

Značaj CAD/CAM projektovanja alata za "form" ambalažu se ogleda najpre u razvoju i primeni savremenih metoda projektovanja novih proizvoda i tehnologija, koje predstavljaju supstituciju uvoza. Razvoj ekoloških proizvodnih sistema na bazi prerade otpadnog papira i proizvoda koji se takodje mogu reciklirati u skladu je sa savremenim tehnološkim trendovima u svetu. Razvoj velikog broja alata različitog oblika radnih površina uskladenih prema proizvodu koji se pakuje, iziskuje primenu metoda efikasnog CAD/CAM dizajna. Alati za "form" ambalažu su glavna funkcionalna i tehnološka celina proizvodne linije, koja je veoma interesantna za razvoj malih i srednjih preduzeća u Srbiji. Tržišna potreba za proizvodima "form" ambalaže će značajno biti povećana u narednom periodu kada se završe tranzicioni procesi u privredi i kada se u Srbiji intenzivira industrijska proizvodnja.

LITERATURA

- [1] Lukić, Lj., Krgović, M., Jaraković, I., Pulp Moulding Machines for Production of Packing Paper Elements, Proc. X International Symposium in the Field of Pulp, Paper, Packaging and Graphics, Zlatibor (2004), pp. 58-63.
- [2] Lukić, Lj., Krgović, M., Jaraković, I., Pulp Moulding Machines for the Production of Packing paper Elements, Chemical Industry, Vol. 59 (2005) 7-8, pp.181-184.
- [3] Lukić, Lj., Jaraković, I., Razvoj forming mašina sa mikroprocesorskim upravljanjem, 32. JUPITER konferencija, 28. Simpozijum "NU-Roboti-FTS", Zlatibor, 9.-11. maj (2006), rad na CD medijumu № 302.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

CAx TEHNOLOGIJA MREŽNOM KOMUNIKACIJOM „P2P“ U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI

D. Krstić¹⁾

Rezime: Internet je novi trend u digitalnom načinu poslovanja gde se virtuelno na jednom mestu susreću menadžeri automobilske industrije.

P2P komunikacija je internetski sistem brze i direktne razmene informacija, koji omogućava veću interaktivnost, fleksibilnost, bolju povezanost, brže i jeftinije poslovanje u poređenju sa tradicionalnim načinom poslovanja.

CAx tehnologija u P2P okruženje je najbolji način poslovanja, koji ne poznaje granice između udaljenih partnera u automobilske industriji u njihovoj međusobnoj interakciji. Ovaj novi organizacijski pristup i komunikacijska tehnologija omogućava izgradnju nove strategije automobilske industrije i u opšte, stvaranje novih umreženih globalnih korporacija.

Ključne reči: Internet, P2P komunikacijska tehnologija, CAx tehnologija, fleksibilnost, interaktivnost, strategija poslovanja, globalizacija

CAx TECHNOLOGY VIA PEER-TO-PEER COMMUNICATION IN THE AUTOMOTIVES INDUSTRY

Abstract: The Internet implies the new trends in a digital business transaction mode whereby the international managers of automotives industry are virtually met at one place.

When compared to a traditional business, the Peer-To-Peer communication internet system is a rapid and direct information exchange system, who is facilitate an increased interactivity, flexibility, an improved interconnection as well as an accelerated and cheaper business transaction.

The CAx technological via peer-to-peer communication system is the best business transaction mode who does not have the boundaries between longaway partners in the industry of automobile and an international interaction of its participants. This new organizational access and communication technology insures the construction of new strategy in the industry of automobile, and in the end construction of a new globalizates cooperation.

Key Words: Internet, Peer-To-Peer communication technology, CAx technology, flexibility, interactivity, strategy of business, globalisation

¹⁾ Dejan Krstić, dipl.maš.ing, Grupa Zastava vozila, krstic.dejan@zastava.net

1. UVOD

Novi globalni tokovi automobilske industrije zahtevaju permanentnu eksploataciju novih poslovnih strategija, reorganizaciju poslovanja, kao i samih kompanija. Svi ovi tokovi promena imaju veoma dinamički karakter, i iz tog razloga današnja autodindustrija ima sve manju perspektivu bez korišćenja elektronskog poslovanja i elektronsko-komunikacijskog povezivanja svih poslovnih subjekata. Komunikacijska povezanost se mora odnositi na sve interakcije (korelacije, kordinacije, subordinacije i dr.), bilo da su internog ili eksternog karaktera. Drugim rečima, komunikacijska povezanost treba da objedini rukovođenje, planiranje, zadovoljavanje potreba za informacijama, razvoj proizvoda, inovacije i njihovo implementiranje u proizvodnju i proizvode, upravljanje lancem nabavke i prodaje, internetski marketing, planiranje poslovnih resursa, automatizaciju proizvodnje i proizvoda, optimizaciju prodaje i naplate, sigurne metode pristupa i drugo.

Primena CAx tehnologije mrežnim konceptom Peer-To-Peer, daje šansu rešavanja ovih kompleksnih poslovnih odnosa i omogućava takve odnose u kojima troškovi poslovanja i potencijalni rizici koje oni nose sa sobom, nikada nisu bili manji, a poslovne analize nikad nisu bile egzaktnije.

Ovakvo interaktivno proizvodno, poslovno i uslužno okruženje i nova generacija sveopšte informacijsko-komunikacijsko-organizacijske podrške realizacije operativnih, rutinskih i upravnih delatnosti, dramatično doprinosi sveopštem poboljšavanju i unapređenju poslovanja. Vizije, koje su do pre kratkog vremena pružale samo ohrabrujuće perspektive, danas su realnost.

Perspektive novih poslovnih poduhvata, realizacije novih projekata i nova šansa za razvitak automobilske industrije uopšte, utemeljen je na pojavi „P2P” mreže i razvojem kompatibilnosti raspoloživih softverskih aplikacija za parametarsko programiranje (CATIA, Pro/ENGINEER i dr.), koji omogućavaju obavljanje svih poslova (tehničkih, ekonomskih, propagandnih, finansijskih i dr.) u optimalnom vremenu. Ovo je veoma značajno za autoindustriju, jer se dramatično skraćuje vreme razvoja novih idejnih i konceptnih rešenja, razvoj i primena novih materijala, ugradnih delova, redizajna i dizajna, razvoj novih tehnologija i proizvoda, kao i njihovo usaglašavanje, krš testovi, laboratorijska ispitivanja, ekonomsko finansijske analize i drugo. Ako se zna da je finansijsko poslovanje u autoindustriji veoma osetljivo na vreme, a uz to, da je konstantno izložena zahtevima brzih promena, može se sagledati kapitalni značaj primene CAx tehnologije u P2P okruženju i shvatiti zašto je to trenutno najbolji način poslovanja. Bolji poznavaci i analitičari globalnih tokova i strateških prilika u automobilskoj industriji, iz ovog rada mogu shvatiti da primena CAx tehnologije i P2P mrežne komunikacije može za mnoge današnje proizvođače automobila u budućnosti predstavljati jedinu šansu za opstanak.

2. MREŽNA KOMUNIKACIJA P2P (Peer-To-Peer)

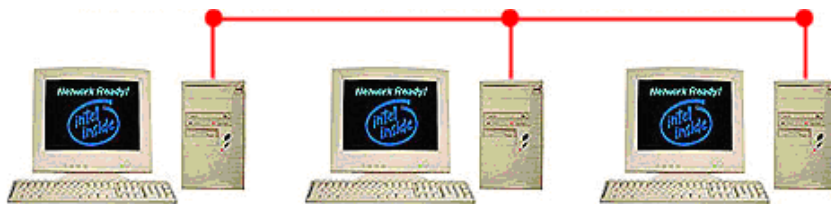
Širok spektar promena u automobilskoj industriji upravo predvode komunikaciono - informacione tehnologije i genetski inženjering. Jedna od njih je i P2P (Peer-to-Peer) komunikacijska mreža.

P2P (Peer-to-Peer) komunikacijska mreža predstavlja mrežu koja koristi određeni server da bi se računari korisnika ovog programa spojili na jednom mestu. Server ne sadrži nikakvu bazu podataka i na sebi nema nikakvih fajlova ili programa. Programi se razmenjuju direktno sa korisničkih računara i tako se ostvaruje veoma brza i direktna komunikacija, što u neku ruku zaobilazi zakone o korisničkim pravima.

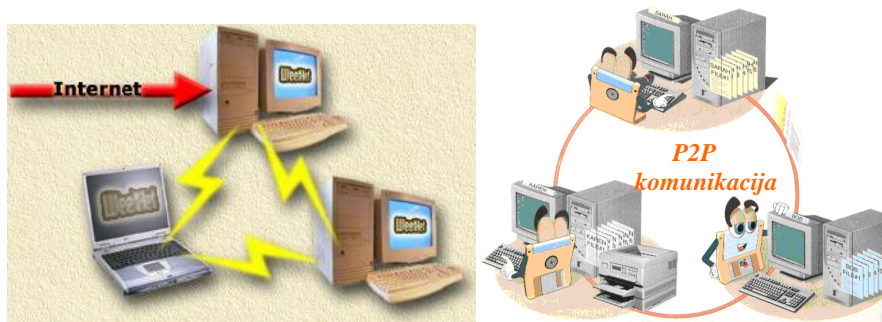
Moguće je odrediti na koji server želite da se spojite, što se radi iz liste servera gde imate podatke o broju korisnika i o broju fajlova za razmenu. Takođe, moguće je odrediti direktorijum u kojem se nalaze fajlovi koje želite da razmenjujete.

Ovo je veoma pogodno za neophodne komunikacije i razmenu informacija u automobilske industriji, ali i za konkretnu razmenu dokumentacije (operativne, tehničke, konstruktivne i druge). Tematski, ovaj rad fokusira samo CAx tehnologiju u P2P okruženju i interakciju između subjekata u automobilske industriji, koji svoje povezane aktivnosti realizuju u softverskim paketima namenjenim za parametarsko programiranje.

Koncept P2P mreže prikazan je na slici 1, a tok P2P mrežne komunikacije na slici 2.



Slika 1. P2P (Peer-To-Peer) mrežni koncept



Slika 2. Tok P2P (Peer-To-Peer) mrežnih komunikacija

P2P mrežna komunikacija i CAx tehnologije povećavaju konkurentske sposobnosti i sopstvene snage proizvođačima automobila, iz razloga iskorišćenja prednosti digitalnih podataka na samom izvoru njihovog nastajanja u obliku događaja ili kontinuelnog ili diskontinuelnog procesa.

3. ZAŠTITA KORIŠĆENJA PODATAKA U P2P MREŽNOM OKRUŽENJU

3.1 Zaštita korisničkim imenom i lozinkom

Korišćenje i prenos podataka sa P2P mreže se interno može zaštititi korisničkim imenom i lozinkom. Naime, svaka softverska aplikacija, pri arhiviranju (čuvanju) sopstvenih fajlova ima mogućnost iste zaštititi nekom šifrom. To omogućava da vaše fajlove mogu koristiti samo oni kojima su namenjeni, odnosno onima kojima ste dostavili vašu šifru za konkretne fajlove.



3.2 Zakonska zaštita zakonom o korisničkim pravima

Kao što je pomenuto, razmena programa u P2P okruženju se obavlja direktno sa korisničkih računara, što u neku ruku zaobilazi zakone o korisničkim pravima. Iz tog razloga se nacrtima zakona o autorskim pravima i intelektualnoj svojini, ažuriraju odnosi u P2P mrežnim komunikacijama.

Jedan od primera zakonskih nacrti je CNN-ov nacrt novog zakona kojim se može povećati potencijalna kazna za korisnike P2P (Peer-To-Peer) razmene fajlova. Ovim zakonom se pod P2P razmenom zaštićenih fajlova podrazumeva krivično delo, pa je predviđena i zatvorska kazna.

Predlog "Conyers-Bermanov"-og zakona nudi regulisanje ovih odnosa po osnovi da je svako registrovano i zaštićeno delo koje se nađe na mreži kopirano bar deset puta, odnosno totalne vrednosti od bar 2500 dolara. Ovo povećava ozbiljnost tužbe pa ovakav postupak više ne spada pod "loše ponašanje", već pod "krivično delo", što se zakonski kažnjava sa do 5 godina zatvora."

Piraterija načelno i jeste krivično delo, tako da je zaštita prava vlasnika neophodna, iako se čini da je ovaj nacrt malo radikalniji. Pri tome treba rešiti i tehnički problem, jer dokazati da je nešto kopirano „n” puta, je sasvim različit problem od definisanja da je svaki fajl kopiran bar deset puta, odnosno u vrednosti od bar 2500 dolara. U svakom slučaju, ako se ovaj nacrt zakona prihvati i naša zemlja će morati isti uskoro da usvoji.

4. CAx TEHNOLOGIJA U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI

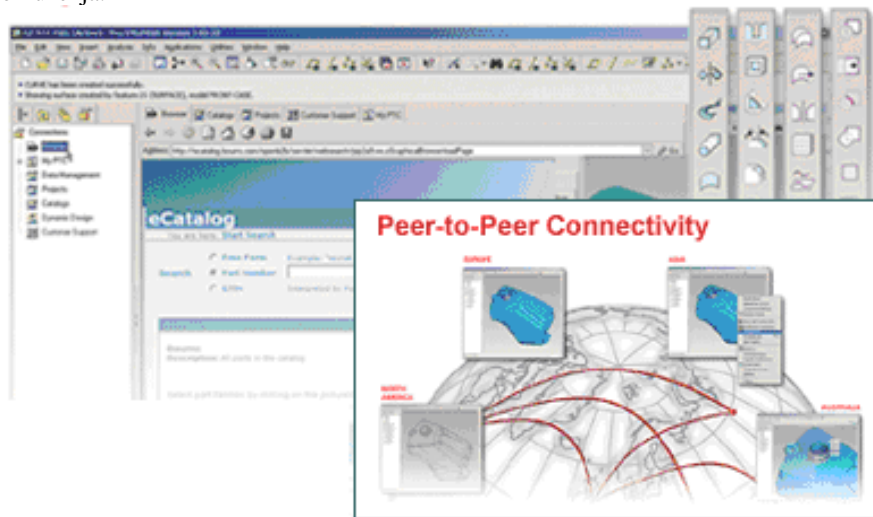
CAx kompjuterski integrisane tehnologije su predstavljale koncept totalne integracije svih kompjuterskih aktivnosti preduzeća. Danas u automobilske industriji CAx je kompleksniji sistem, kojim se vrši integrisano upravljanje svim aktivnostima u poslovnom sistemu, vezanog za razvoj, proizvodnju i distribuciju jednog proizvoda, odnosno upravljanje životnim ciklusom projekta nekog kompleksnog proizvoda. U CAx sistemu je realizovana fleksibilna automatizacija svih aktivnosti čime se obezbeđuje koordinacija i optimizacija celokupnog sistema. Kompjuterski integrisane tehnologije omogućavaju niz prednosti:

- brz odziv na tržišne zahteve, modifikaciju proizvoda i smanjenje proizvodnog ciklusa
- visok kvalitet proizvoda i niska cena proizvodnje
- bolje iskorišćenje materijala, proizvodne opreme, radne snage i sl.

Ključ uspešne primene CAx koncepta je u integraciji različitih komponenti sistema (CAD, CAPP, CAM, CAE). Svaka od komponenti treba da bude integralni deo sistema. Takođe se treba obezbediti fleksibilna komunikacija svih aktera u poslovnom sistemu realizacije projekta konkretnog vozila, koja zahteva kompatibilnost. Da bi se eliminisao problem u razmeni podataka između različitih sistema usled nekompatibilnosti između programskih paketa potrebno je uvesti jedinstveni standard za razmenu podataka. Na taj način se obezbeđuje povezivanje programskih paketa različitih proizvođača koji se koriste u odgovarajućim CAx podsistemima. Većina savremenih programskih paketa imaju odgovarajuće podprograme za direktnu vezu jednog sa drugim.

Jedan od takvih softverskih paketa je i Pro/ENGINEER, koji zbog kompleksnosti autoindustrije i današnje strateške dislociranosti subjekata koji u njoj učestvuju, se skoro u vodećim svetskim autoindustrijama sve manje može zamisliti bez P2P mrežnog okruženja.

Na slici br. 3. dat je ekranski prikaz „help“ menija softverskog paketa Pro/ENGINEER koji detaljnije objašnjava (uz „demo“ vizuelne smernice) značaj i mogućnosti razmene podataka, putem interaktivne veze P2P (Peer-To-Peer) mrežnog okruženja.



Slika3. P2P (Peer-To-Peer) mrežna komunikacija softverskog paketa Pro/ENGINEER

5. ZAKLJUČAK

Automobil je proizvod velike složenosti i odgovornosti u koga je implementiran veliki broj raznorodnih materijala, proizvedenih i sklopljenih korišćenjem više stotina različitih tehnologija.

Asortiman tehnologija, materijala, konstruktivnih koncepta, koji su danas dostupni auto dizajnerima, pored toga što brzo raste, ima tendenciju i brzih promena. Iz tog razloga, da bi se održala konkurentnost, koja je jedan od ključnih kriterijuma za definisanje strategije kompanija, neophodno je akumulirati i eksploatisati ogroman broj potrebnih informacija iz okruženja, svih onih koje mogu biti relevantne i to u pravom trenutku, jer su iste u automobilskoj industriji veoma osetljive na pravovremenost i imaju osobinu veoma brzog zastarevanja. S druge strane, obezbedenje konkurentnosti podrazumeva zadovoljenje zahteva međunarodnih i nacionalnih propisa, koji se rapidno menjaju i pooštavaju. Takođe je relevantna za konkurentnost autoindustrije i težnja izlaska u susret i najvišim zahtevima kupaca. Sve ovo inicira proizvođače automobila u potrazi za optimalnim konceptom poslovanja u cilju efikasnog ažuriranja kompleksnosti uticaja na rentabilnost i likvidnost njihovih kompanija.

Mogućnost rešenja kompleksnog poslovanja automobilske industrije može dati novi trend u digitalnom načinu poslovanja gde se virtuelno na jednom mestu susreću menadžeri automobilske industrije, odnosno ostvaruje P2P mrežna komunikacija u Internet okruženju.

P2P komunikacija, kao sistem brze i direktne razmene informacija, omogućava akumulaciju i eksploataciju velikog broja potrebnih informacija iz okruženja, čime pruža veću interaktivnost, fleksibilnost, bolju povezanost, brže i jeftinije poslovanje u poređenju sa tradicionalnim načinom poslovanja.

U ovom radu se konkretno internetsko poslovanje u automobilskoj industriji bazira na CAx tehnologiji, odnosno softverskom paketu poput Pro/ENGINEER-a, u cilju prevazilaženja jezičkih barijera i barijera neusaglašenosti regionalnih i nacionalnih standarda.

Novi globalni tokovi automobilske industrije su praćeni brzim i dinamičnim promenama i konstantno zahtevaju eksploataciju novih informacija iz svih krajeva sveta i od svih raspoloživih subjekata, i to ne samo iz izvora autoindustrije, već i univerziteta, laboratorija, razvojnih i stilskih centara, naučnika, stručnjaka, inovatora i običnih pojedinaca, jer svaka nezapažena ili ignorisana informacija i ideja iz bilo kog izvora, koja je relevantna za autoindustriju, može prouzrokovati i te kakvo gubljenje koraka u tržišnoj borbi za opstankom na sceni proizvodnje automobila.

LITERATURA

1. Zora Arsovski, CIM centar, Mašinski fakultet u Kragujevcu: „Informacioni Sistemi“ - Cim tehnike i tehnologije, III izdanje, Kragujevac, 2004.
2. Živadin Stefanović, Ekonomski fakultet u Kragujevcu, III izdanje: „Menadžment“, Kragujevac, 2003.
3. Rečnik tehničkih termina u evropskim direktivama novog pristupa i globalnog pristupa, Beograd, mart 2006.



KONCEPT VR-CAD RADNE STANICE ZA PROJEKTOVANJE U POLUIMERZIVNOM OKRUŽENJU

O. Lužanin ¹⁾, M. Plančak ²⁾, D. Vilotić ³⁾

Rezime: U radu je predstavljena koncepcija VR-CAD radne stanice koja, sa stanovišta softverske i hardverske opremljenosti treba da omogući rad u poluimerzivnom okruženju. Pored diskusije o hardverskim pretpostavkama koje su od značaja za praktičnu realizaciju, takođe su dati tok operacija za manipulaciju obeležjima, kao i principijelna arhitektura predloženog VR-CAD sistema.

Ključne reči: Virtuelna stvarnost, virtuelna proizvodnja, imerzija, CAD, instrument rukavica

CONCEPT OF A SEMI-IMMERSIVE VR-CAD WORKSTATION

Abstract: The paper reviews a concept of a semi-immersive VR-CAD workstation. Beside presenting basic hardware requirements which are essential to practical realization of the project, the paper also discusses the flow of feature-manipulation operations as well as the principal architecture of the proposed VR-CAD system.

Key words: Virtual Reality, Virtual Manufacturing, immersion, CAD, Data Glove

1. UVOD

Računarom podržano modeliranje i različite vrste simulacija, prisutni su u nauci i industriji više od dve decenije. Međutim, klasičan vid korišćenja računara u radu sa trodimenzionalnom grafikom, još uvek bazira na dvodimenzionalnoj paradigmi, kako u pogledu zadavanja ulaznih informacija, tako i u pogledu izlaznih medija. Neadekvatnost dvodimenzionalne paradigme još više dolazi do izražaja usled konstantnog povećanja složenosti i multidimenzionalnosti problema sa kojima se suočava savremeni inženjer. Aktuelni prilazi u projektovanju i proizvodnji, zasnovani na principima simultanog inženjeringa, zahtevaju saradnju multidisciplinarnih timova, od formulisanja početnih zahteva, do izlaska proizvoda na tržište. S druge strane, efikasno korišćenje konvencionalnih računarskih sistema u realizaciji složenih zadataka, poput površinskog modeliranja ili simulacije procesa montaže, da spomenemo samo neke, iziskuje obučenosť i rutinu, a neretko i razvijenu sposobnost za apstraktno razmišljanje.

¹⁾ Ognjan Lužanin, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, luzanin@uns.ns.ac.yu

²⁾ Miroslav Plančak, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

³⁾ Dragiša Vilotić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Iz ovih razloga, savremena industrija sve više se okreće prirodnijem i intuitivnijem interfejsu, kakav omogućavaju virtuelne tehnologije (eng. **VR** - *Virtual Reality*), primenjujući ih u svim fazama životnog veka proizvoda.

2. PRIMENA TEHNOLOGIJA VIRTUELNE STVARNOSTI U OKVIRU ŽIVOTNOG VEKA PROIZVODA

Zahvaljujući svom sazrevanju, neprekidnom rastu procesorske moći novih generacija mikroprocesora, te konstantnom padu cena računarske opreme, tehnologije virtuelne stvarnosti danas nalaze široku primenu u industrijama razvijenih zemalja. Primenom su obuhvaćene gotovo sve faze životnog veka proizvoda (slika 1).



Slika 1. Životni vek proizvoda

U delu životnog veka proizvoda koji se, u širem smislu, naziva *proizvodnja*, različite primene tehnologije virtuelne stvarnosti svrstavaju se pod zajednički imenitelj *virtuelna proizvodnja*. Zbog izuzetne složenosti i mnoštva aplikacija, nauka pravi podelu primene tehnologija virtuelne stvarnosti u virtuelnoj proizvodnji na tri ključna domena [2,4,7]: (i) projektovanje proizvoda, (ii) proizvodne procese i (iii) upravljanje operacijama.

Osnovni zadatak primene VR u projektovanju proizvoda, jeste da, polazeći od idejnog rešenja – koncepta proizvoda, dođe do optimalnog projektnog rešenja za proizvod i da generiše osnovnu varijantu tehnološkog postupka za njegovu izradu.

Zadatak primene VR u proizvodnim procesima, jeste da omogući optimalno korišćenje proizvodnih resursa (mašina alatki, alata, pribora, itd.) kao i da, kroz simulacije, omogući vrednovanje alternativnih tehnoloških postupaka pre nego što se odobri započinjanje fizičke proizvodnje.

Primena VR u upravljanju operacijama ima zadatak da, na osnovu tehnoloških postupaka i modela proizvoda (koji su izlazni rezultati prethodnih faza), omogući

optimalno upravljanje tokovima materijala na nivou pogona, kao i optimalno upravljanje procesom proizvodnje. Ova faza virtuelne proizvodnje omogućava inženjerima da kroz simulacije dođu do optimalnog procesa proizvodnje i do optimalnog proizvodnog sistema.

3. SPECIFIČNOSTI PRIMENE TEHNOLOGIJA VIRTUELNE STVARNOSTI U PROJEKTOVANJU PROIZVODA

U primeni tehnologija virtuelne stvarnosti u domenu projektovanja proizvoda, aktivnosti se odvijaju na planu: (i) konceptualnog i detaljnog projektovanja proizvoda i (ii) izrade prototipova.

Kada je u pitanju projektovanje proizvoda, i pored niza naprednih tehnika za geometrijsko modeliranje, koje omogućavaju savremeni CAD sistemi, korisnik uspeva da ostvari samo ograničenu interakciju sa modelom. Njegovo viđenje modela svedeno je na sliku koja se projektuje na monitoru, dok je zadavanje ulaznih informacija ograničeno na upotrebu jednog ili dva tastera na pokazivačkom uređaju (najčešće je reč o mišu).

Sa druge strane, rad u virtuelnom okruženju omogućava niz prednosti. Zahvaljujući stereoskopskoj projekciji i osećaju imerzije, projektant ostvaruje prirodniju interakciju sa modelom, što se ogleda u većoj slobodi i kreativnosti u radu. Druga značajna prednost u odnosu na konvencionalni prilaz projektovanju, ogleda se u mogućnosti da projektant, još u ranoj fazi projektovanja, posmatra proizvod sa stanovišta krajnjeg korisnika.

3.1 Podela VR sistema na osnovu stepena imerzije koji omogućavaju korisniku

Prethodno je napomenuto da osećaj imerzije – uranjanja u neku vrstu artificialnog okruženja, pruža određene pogodnosti u realizaciji inženjerskih zadataka. U idealnom slučaju, korisnik VR sistema stiče utisak da su, računarski generisani, virtuelni objekti zaista sastavni deo njegovog okruženja i u mogućnosti je ne samo da tim objektima definiše položaj u prostoru, u odnosu na sopstveno telo, već i da s njima stupa u interakciju, kao da su stvarni.

U praksi se, međutim, VR sistemi razlikuju po stepenu imerzije koji omogućavaju korisniku, pa tako razlikujemo neimerzivne, poluimerzivne i imerzivne VR sisteme (tabela 1). Radi ilustracije, na slici 2 su prikazani tipični predstavnici sve tri kategorije sistema.



Slika 2: Ilustracije neimerzivnog, poluimerzivnog i imerzivnog VR sistema

Tabela 1. Podela VR sistema na osnovu stepena imerzije koji omogućavaju korisniku

Tip VR sistema	Karakteristike	Primer konfiguracije
Imerzivni	<ul style="list-style-type: none"> - Korisnik nema vizuelni kontakt sa stvarnim okruženjem. - Virtuelna scena odgovara na svaku reakciju korisnika. - Korisnik nije u mogućnosti da obavlja operacije u stvarnom okruženju. 	<ul style="list-style-type: none"> - HMD uređaj, 3D pokazivački uređaj/ haptička rukavica - CAVE sistem, LCD stereoskopske naočari, 3D pokazivački uređaj/ haptička rukavica
Poluimerzivni	<ul style="list-style-type: none"> - Korisnik može da obavlja operacije i u stvarnom i u virtuelnom okruženju. - Postoji izražen osećaj prisutnosti u virtuelnom okruženju. - Ograničene su mogućnosti za izvođenje operacija u stvarnom okruženju. 	<ul style="list-style-type: none"> - CAD radna stanica opremljena stereo grafičkim adapterom i monitorom, LCD stereoskopske naočari - Sistem za superponiranu stvarnost (AR) sa HMD uređajem sa providnim zaslonom - Aktivni i pasivni sistemi za zidne projekcije
Neimerzivni	<ul style="list-style-type: none"> - Korisnik doživljava virtuelnu 3D scenu kao deo stvarnog okruženja. - Korisnik u celosti može da obavlja operacije u stvarnom okruženju. - Umanjen osećaj prisutnosti u virtuelnom okruženju. 	<ul style="list-style-type: none"> - CAD radna stanica sa klasičnim ili 3D pokazivačkim uređajem, VRML pretraživač (<i>browser</i>)

4. KONCEPCIJA VR RADNE STANICE ZA PROJEKTOVANJE PROIZVODA U POLUIMERZIVNOM OKRUŽENJU

4.1 Polazne pretpostavke

Cilj istraživanja je softverska i hardverska realizacija virtuelnog korisničkog interfejsa koji projektantu treba da omogući rad u poluimerzivnom virtuelnom okruženju. Ovakvo radno okruženje omogućiće prevazilaženje klasične paradigme, na osnovu koje je projektant ograničen na posmatranje ravanske slike 3D modela na monitoru, dok se zadavanje ulaznih informacija svodi na jedan ili dva tastera na pokazivačkom uređaju (mišu). Rad u poluimerzivnom radnom okruženju treba da omogući dve ključne prednosti: (i) prirodnu interakciju sa modelom – što omogućava veću slobodu i kreativnost u radu i (ii) mogućnost da, u ranoj fazi razvoja, projektant posmatra proizvod sa stanovišta krajnjeg korisnika.

Istraživanje će biti realizovano u tri faze. Na osnovu raspoložive literature, u prvoj fazi je neophodno detaljno ispitati dosadašnje rezultate u razvoju i primeni niskobudžetnih, poluimerzivnih virtuelnih okruženja u projektovanju delova i tehnologije, u oblasti proizvodnog mašinstva. Poseban akcenat treba staviti na

istraživanje rezultata primene instrument rukavice kao primarnog ulaznog uređaja u radu sa CAD sistemima, tj. na mogućnosti za primenu gestova u cilju zadavanja ulaznih informacija u postupku 3D modeliranja [1,5,8].

Druga faza obuhvatiće detaljno upoznavanje sa osnovnim funkcijama aplikacijskog programskog interfejsa (API) koje omogućavaju proširenje mogućnosti komercijalnog CAD softvera, kao i detaljno upoznavanje sa mogućnostima softverskog razvojnog okruženja (SDK) koje omogućava pisanje softverskih aplikacija za podršku u radu sa instrument rukavicom.

Na osnovu rezultata iz prve i druge faze istraživanja, u trećoj, finalnoj fazi, biće izvršena integracija funkcija instrument rukavice u korisnički interfejs komercijalnog CAD sistema. Time će, uz korišćenje prednosti stereoskopske vizije koju omogućavaju LCD naočari (za koje već postoji razvijena softverska podrška) biti realizovano poluimersivno CAD radno okruženje koje (u poređenju sa nekim drugim komercijalnim rešenjima) ne zahteva znatnija početna ulaganja.

4.2 Hardverski zahtevi

Za potrebe opremanja VR-CAD radne stanice, *Laboratorija za tehnologije plastičnog deformisanja* već raspolaže sledećim hardverskim komponentama: instrument rukavicom, trekbol uređajem, stereo grafičkim adapterom, stereoskopskim LCD naočarima za profesionalnu primenu, i CRT monitorom sa 19" ekranom koji zadovoljava tehničke zahteve za rad sa stereo-adapterom i stereoskopskim naočarima. U nastavku je dat sažet opis instrument-rukavice i stereoskopskih naočara, kao komponenti koje su specifične za VR primenu.

Instrument rukavica 5DT Ultra 5 - je napravljena od likre i u osnovnoj konfiguraciji raspolaže sa 5 senzora, što omogućava merenje savijanja svih 5 prstiju ruke. Zahvaljujući primeni optičke tehnologije, rukavica je kompaktna, lagana i udobna za nošenje. Softverski drajver, koji se izvršava na host računaru, razlikuje ukupno 16 (2⁴) različitih konfiguracija (opruženih/savijenih) prstiju, što znači da korisnik treba da savlada svega 16 gestova kako bi mogao da koristi rukavicu.

Izgled rukavice i osnovni tehnički podaci dati su na slici 3, a detaljniji opis se navodi u [4, 6].



Instrument-rukavica 5DT Ultra 5	
Materijal rukavice	Streč likra
Tip senzora	Optički (opt.vlakno)
Broj senzora	5
Rezolucija senzora	12 bit A/D
Učest. Ažuriranja	Min. 75Hz

Slika 3: Instrument rukavica 5DT Ultra 5

Stereoskopske LCD naočari *CrystalEyes* - omogućavaju posmatranje ravanske projekcije slike na ekranu CRT monitora, pri tom stvarajući doživljaj prostorne dubine, tj. „treće dimenzije”. Realistična vizuelna prezentacija kompleksnih digitalnih modela korisniku omogućava znatno bolje razumevanje trodimenzionalnih informacija, čineći ga tehnički kompetentnijim u odnosu na primenu klasične prezentacijske paradigme.

Za stvaranje stereoskopskog efekta neopodno je da CRT monitor osvežava sliku sa dvostrukom učestanosti (eng. *refresh rate*), dok naočari naizmenično blokiraju vid levom i desnom oku. Budući da se korisniku zasebno dovode slike na levo i desno oko, stvara se stereoskopski efekat i korisnik vidi trodimenzionalni prikaz na ekranu monitora.

Za sinhronizaciju rada naočara i monitora koristi se infracrveni emiter, čiji je zadatak da uskladi emitovanje RGB signala na monitoru i blokadu/deblokadu vida na zaslonu za levo i desno oko. Pri tom jedan emiter može da sinhronizuje nekoliko pari naočara.

Na slici 4 prikazane su LCD naočari sa tabelom u kojoj su date osnovne tehničke karakteristike.



Stereoskopske LCD naočari <i>Crystal Eyes</i> [®]	
Masa	93 gr.
Dinamički opseg	1500:1
Učestanost prikaza	80/-160 polja/s
Svetl.propustljivost	32%

Slika 4: Stereoskopske LCD naočari *Crystal Eyes*

4.3 Tok operacija i šema konfiguracije VR-CAD radne stanice

Na slici 5 prikazan je principijelan tok operacija za manipulaciju obeležjima u okviru predložene konfiguracije VR-CAD sistema. Radi se o jednosmernom toku koji srećemo kod konvencionalnih CAD sistema. Značajne su, međutim, razlike u tipu ulaznih uređaja i načinu njihove upotrebe.

U fazi definisanja – selekcije konstruktivne ravni, može biti iskorišćena prednost programabilnih tastera trekbol uređaja. Ukoliko je reč o jednoj od indeksnih ravni (xy, yz, xz), konstruktivna ravan se zadaje aktiviranjem tastera kojem je ta funkcija prethodno dodeljena kao makro funkcija. U slučaju kada treba odabrati konstrukcionu ravan proizvoljne orijentacije, selekcija se mora obavljati na klasičan način – klikom.

U konfiguraciji sistema bez uređaja za praćenje kretanja, mogućnosti za definisanje skice (eng. *sketch*) primenom instrument rukavice vrlo su ograničene. Primena gestova, međutim, može biti iskorišćena za kreiranje ravanskih geometrijskih primitiva, npr. kruga i pravougaonika, kao i za kreiranje 3D primitiva: kvadra, valjka,

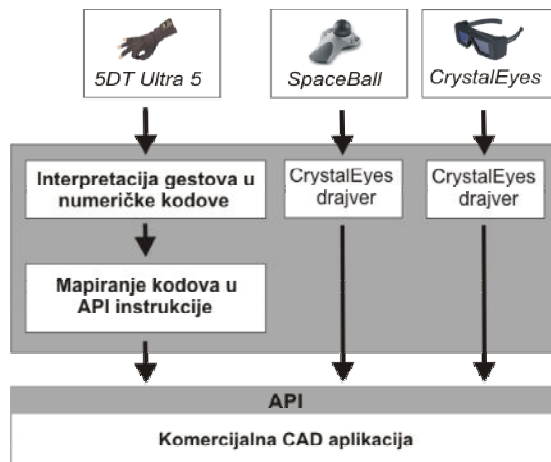
kupe, lopte i torusa, pri čemu se svakom predefinisanim gestu dodeljuje odgovarajuća makro funkcija.

Definisanje tipa obeležja, kreiranje obeležja i ažuriranje modela takođe se mogu realizovati primenom instrument-rukavice, dok se, u nedostatku uređaja za praćenje kretanja, parametarske vrednosti obeležja moraju zadavati unosom sa tastature.



Slika 5: Tok operacija za manipulaciju obeležjima predložene VR-CAD koncepcije

Kako je prikazano na slici 6, osnovu sistema čini komercijalna CAD aplikacija u čije korisničko okruženje treba integrisati dva ulazna uređaja (instrument-rukavica i trekbol uređaj) i jedan izlazni VR uređaj (stereoskopske naočari). Integracija trekbol uređaja i stereoskopskih naočara moguća je primenom komercijalnih drajvera koji se isporučuju uz te uređaje, dok je za integraciju instrument-rukavice, pored komercijalnog drajvera koji se uz nju isporučuje, neophodno stvoriti i specijalnu softversku podršku za mapiranje gestovnih kodova u API instrukcije CAD aplikacije, što će i predstavljati jedan od ciljeva daljeg istraživanja.



Slika 6: Principijelna arhitektura predloženog VR-CAD sistema

5. ZAKLJUČAK

Praktična realizacija koncepta VR-CAD stanice za rad u poluimersivnom okruženju omogućila bi niz prednosti u odnosu na klasično okruženje inženjera projektanta, pri čemu se pre svega imaju u vidu prirodnija interakcija sa modelom, kao i mogućnost da se još u ranoj fazi razvoja, proizvod posmatra sa stanovišta krajnjeg korisnika. Za njenu realizaciju neophodno je ostvariti hardverske i softverske preduslove. Minimum hardverskih preduslova već je obezbeđen nabavkom prethodno opisane opreme, dok će softverski preduslovi biti ispunjeni primenom komercijalno raspoloživih rešenja i razvojem sopstvenih softverskih aplikacija specijalne namene.

LITERATURA

- [1] Arangarasan, R., Gadh, R.: Geometric Modeling and Collaborative Design in a Multi-Modal Multi-Sensory Virtual Environment, Proceedings of DETC'00, ASME 2000 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Baltimore, Maryland, September 10-13, 2000
- [2] Beier, K.P.: Web-Based Virtual Reality in Design and Manufacturing Applications, 1st International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries, Potsdam, Germany, March 29 - April 4, 2000
- [3] Berta, J.: Integrating VR and CAD, IEEE Computer Graphics and Applications, September/October, 1999, pp.14-19
- [4] Burdea, G.C., Coiffet, P.: Virtual Reality Technology, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2003, ISBN: 0-471-36089-9
- [5] Fabre, A. et al.: Constrained Gesture Interaction in 3D Geometric Constructions In: Gibet, Sylvie / Courty, Nicolas / Kamp, Jean-François (eds): Gesture in human-computer interaction and simulation: 6th International Gesture Workshop, GW 2005, Berder Island, France, May 18-20, 2005, Revised Selected Papers. (Lecture Notes in Computer Science; 3881) Berlin [u.a.] : Springer (2006), pp. 324 - 334
- [6] Fifth Dimension Technologies, 5DT Data Glove Ultra Manual, 2005
<http://www.5dt.com/downloads/dataglove/ultra/5DTDataGloveUltra-Manual.pdf>
- [7] Lee, W.B., Cheung, C.F., Li, J.G.: Applications of virtual manufacturing in materials processing, Journal of Materials Processing Technology, 113 (2001), pp.416-423
- [8] Sturman, D.J., Zeltzer, D.: A survey of glove-based input, IEEE Comput. Graphics and Application, vol.14, no.1, 1994, pp.30-39

Rezultati prikazani u ovom radu deo su regionalnog projekta „Projektovanje tehnologije primenom niskobudžetskih tehnologija virtuelne stvarnosti“, finansiranog od strane Pokrajinskog sekretarijata za nauku i tehnološki razvoj, br.114-451-01267/2006-02.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

PREDNOSTI I NEDOSTACI SLM TEHNOLOGIJE NA PRIMERU IZRADA ALATA ZA VULKANIZACIJU PNEUMATIKA

J. Milovanović¹⁾, M. Trajanović²⁾, M. Stojković³⁾

Rezime: Obzirom na globalnu konkurenciju u industriji koja zahteva neprekidno poboljšanje procesa proizvodnje i ubrzavanje razvojnog ciklusa proizvoda, u toku zadnje decenije razvijeno je niz tehnologija (RP, RT) među kojima je i SLM pomoću koje je moguće izrađivati metalne delove direktno iz CAD digitalnog modela korišćenjem metalnog praha.

Cilj ovog rada je istraživanje prednosti i nedostataka korišćenja SLM tehnologije u proizvodnji veoma kompleksnih delova kao što je alat za vulkanizaciju pneumatika, a u cilju ispitivanja realnih mogućnosti primene SLM tehnologije u industriji.

Ključne reči: Brza izrada alata, Selektivno lasersko topljenje - SLM, alat za vulkanizaciju pneumatika

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF SLM TECHNOLOGY IN MANUFACTURING COMPLEX PART SUCH AS TYRE MOLD

Abstract: According to global competition in industry which requires constant improving of manufacturing processes and speeding up the product development cycle, many RP and RT technologies have been developed during the last decade. Among them is SLM technology which enables producing metallic parts directly from CAD digital model using metallic powder.

The aim of this paper is to explore advantages and disadvantages of using SLM technology in manufacturing very complex parts with many small and complicate details such as tyre mold.

Key words: Rapid Tooling, Selective Laser Melting - SLM, Tyre mold manufacturing

1. UVOD

Kao rezultat potrebe za skraćanjem vremena do pojave određenog proizvoda na tržištu u svetu su se pojavile, a u zadnjih nekoliko godina i doživele pravu ekspanziju tehnologije za brzu izradu prototipa (Rapid Prototyping) i alata (Rapid Tooling).

¹⁾ J. Milovanović, Mašinski fakultet Niš, Niš, Srbija, www.masfak.ni.ac.yu

²⁾ M. Trajanović, Mašinski fakultet Niš, Niš, Srbija, www.masfak.ni.ac.yu

³⁾ M. Stojković, Mašinski fakultet Niš, Niš, Srbija, www.masfak.ni.ac.yu

Kao što je poznato brza izrada prototipa je termin koji se koristi za više različitih proizvodnih tehnologija kojima je zajedničko da se prototip proizvoda izrađuje direktno na osnovu 3D digitalnog geometrijskog modela, najčešće slaganjem slojeva nekog materijala po visini.

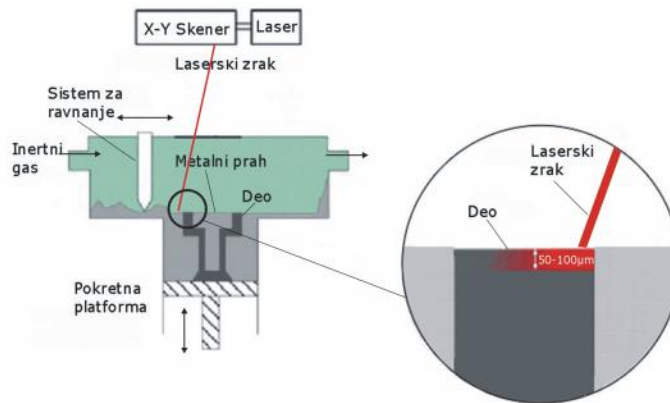
U cilju proizvodnje metalnih delova i alata iz metalnog praha pomoću RP tehnologije razvijen je SLM proces tj. proces selektivnog laserskog topljenja. Tokom ovog procesa vrši se selektivno topljenje jednokomponentnog metalnog praha po dubini u mikroskopskoj zoni pomoću energije lasera i njegovo očvršćavanje, pri čemu se dobija deo gotovo bez ikakve poroznosti.

Iz široke palete materijala koje nudi ovaj proces, za izradu segmenta alata za vulkanizaciju pneumatika korišćen je materijal nerđajući čelik oznake **DIN 1.4404 / 316L**.

2. SELEKTIVNO LASERSKO TOPLJENJE - SLM

SLM tehnologija direktne izrade alata razvijena je 1995. godine. Ovo je prva tehnologija direktne izrade alata koji koristi jednokomponentni metalni prah veličine zrna između 10 - 30 μm za izradu delova gustine približno 100 %.

Proces SLM počinje tako što se praškasti materijal nanosi u tankom sloju na ravnu površinu koja je pričvršćena za pokretni klip. Pomoću jakog infracrvenog laserskog zraka prečnika samo 30 μm selektivno se vrši topljenje čestica jednokomponentnog metalnog praha u mikroskopskoj zoni i to samo u tačkama koje odgovaraju poprečnom preseku modela na visini koja se trenutno izrađuje, slika 1.



Slika 1. Proces selektivnog laserskog topljenja SLM

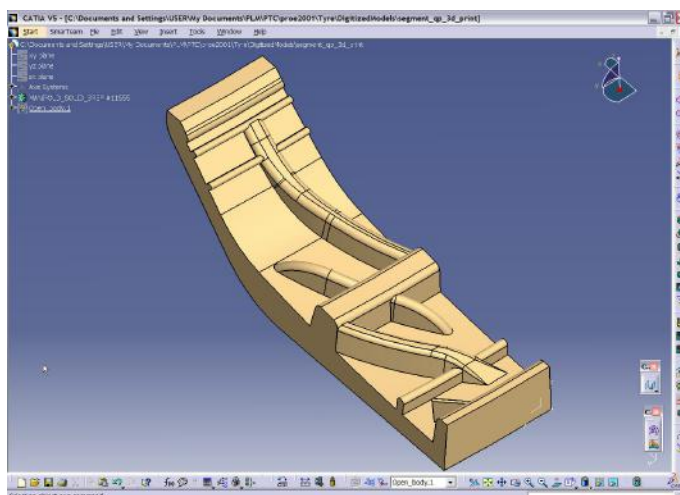
Ceo proces se odvija u komori sa neaktivnim gasom kao što su argon i azot da bi se izbegla oksidacija. Laser se navodi pomoću skenera. Energija laserskog zraka zavisi od praha koji se koristi za izgradnju, kao i od debljine sloja. Laserski zrak potpuno topi prah po dubini. Ostatak praha je nepovezan, ali se on ne uklanja nego služi kao oslonac za eventualne viseće delove modela. Zatim se radna platforma spušta za visinu sledećeg sloja i nanosi se naredni sloj praha. Ceo proces se ponavlja dok se ne izradi čitav model.

Post procesiranje se ogleda u uklanjanju neistopljenog praha, a po potrebi EDM, brušenju ili poliranju za visok kvalitet površina.

Kao materijali se mogu koristiti: MCP legure sa niskom tačkom topljenja, cink, bronza, nerđajući čelik, alatni čelik, titanijum, hrom-kobalt, silikon karbid i aluminijum oksid.

3. EKSPERIMENTALNA IZRADA SEGMENTA ALATA ZA VULKANIZACIJU PNEUMATIKA

3D CAD digitalni model, izrađen u programskom paketu CATIA, koji je predstavljao polaznu fazu samog procesa izrade segmenta alata za vulkanizaciju pneumatika, dat je na slici 2.



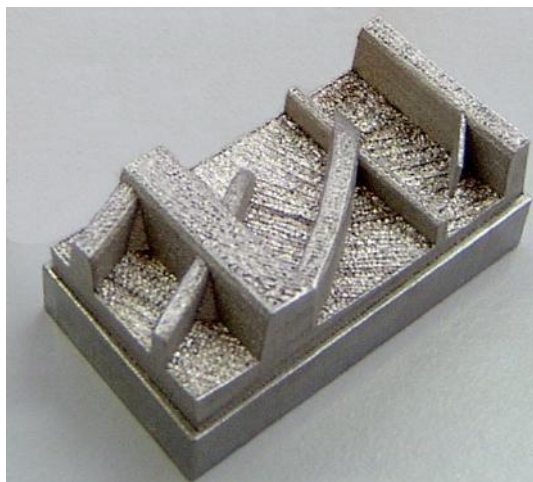
Slika 2. 3D geometrijski model

Izabrana mašina za izradu modela je MCP Realizer^{SLM} čije su najvažnije karakteristike date u tabeli 1.

Tabela 1. Osnovni parametri mašine MCP Realizer^{SLM}

Parametri mašine	Vrednosti
Brzina izgradnje (čelik/h)	5 cm ³ (prosečno)
Minimalna debljina sloja	50 μm
Maksimalna zapremina praha	15 dm ³ ≈ 120 kg čelika
Radni prostor (mm)	250 (x) x 250 (y) x 240(z)
Tačnost	± 0.10 mm
Laser	100 cW / TEM00 / IR / Ø 30 μm (0,03 mm) Laser Nd:YAG talasne dužine 1064 nm

Nakon izrade na SLM mašini izgled dela segmenta alata za vulkanizaciju pneumatika prikazan je na slici 3.



Slika 3. Deo segmenta izrađen SLM tehnologijom

4. ANALIZA IZRAĐENOG SEGMENTA

Analiza izrađenog segmenta obuhvata analizu sledećih parametara:

- gustine;
- kvaliteta površine;
- tvrdoće;
- tačnosti;
- vremena izrade;
- cene materijala.

4.1 Gustina

Gustina segmenta je računata preko istisnute zapremine vode na hidrostičkoj vagi koristeći Arhimedov zakon. Dobijeni rezultat potvrđuje da segment izrađen SLM tehnologijom ima gustinu oko 97 % odmah nakon izrade na mašini, bez ikakve potrebe za infiltracijom nekog drugog materijala. Ovo je jedna od najvažnijih prednosti SLM tehnologije.

4.2 Kvalitet površine

Kvalitet površine se određuje pomoću uređaja za merenje hrapavosti. Dobijene vrednosti na merenim površinama su sledeće:

- vrednosti Ra se kreću do 10 μm ;
- vrednosti Rz se kreću od 20 - 50 μm ;

- Rz na horizontalnim površinama, bez postprocesiranja, prelazi opseg merenja uređaja, što znači da je hrapavost dosta velika i da je neophodno postprocesiranje.

Važno je napomenuti da su ovo vrednosti hrapavosti izrađenog segmenta bez ikakve dodatne fine obrade.

Da bi se postigao kvalitet površine $Rz = 10 - 20 \mu\text{m}$, neophodno je najmanje nekoliko sati finog poliranja, a po potrebi i još neka dodatna obrada.

4.3 Tvrdoća

Merjenje tvrdoće je vršeno na više mesta tako da srednja vrednost tvrdoće po Rockwell B metodi za ovaj segment iznosi 72 HRB, što bi po Vickersu bilo oko 130 HV_{10} odnosno po Brinelu oko 130 HB, što odgovara tvrdoći čelika 316L.

Ako je potrebna veća tvrdoća izrađenog alata SLM tehnologijom moguće je izabrati materijal veće tvrdoće, koji se dodatno može kasnije termički obrađivati, u slučaju da su potrebne još veće vrednosti tvrdoće.

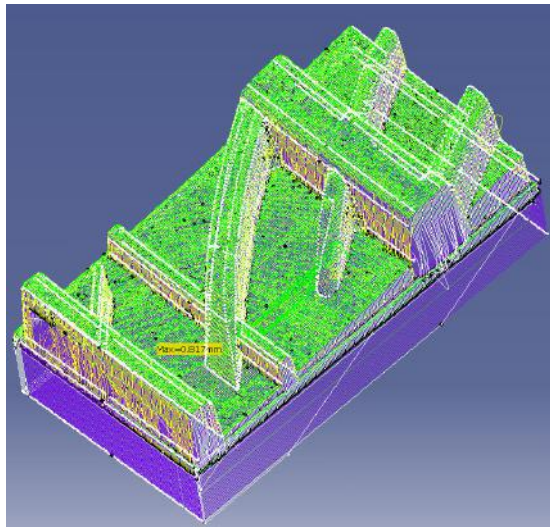
4.4 Geometrijska tačnost

Gabaritne dimenzije su merene pomičnim kljunastim merilom.

Za određivanje tačnosti dimenzija, koje nije bilo moguće drugačije izmeriti na izrađenom segmentu, neophodno je bilo vršiti upoređenje virtualnog STEP modela (koji je predstavljao ulaznu datoteku za SLM mašinu) sa modelom dobijenim izgradnjom krivih nad oblakom tačaka (koji je dobijen skeniranjem izrađenog SLM segmenta). Za skeniranje je korišćen 3D skener sa piezoelektričnim pipkom sa tačnošću od 0.05 mm.

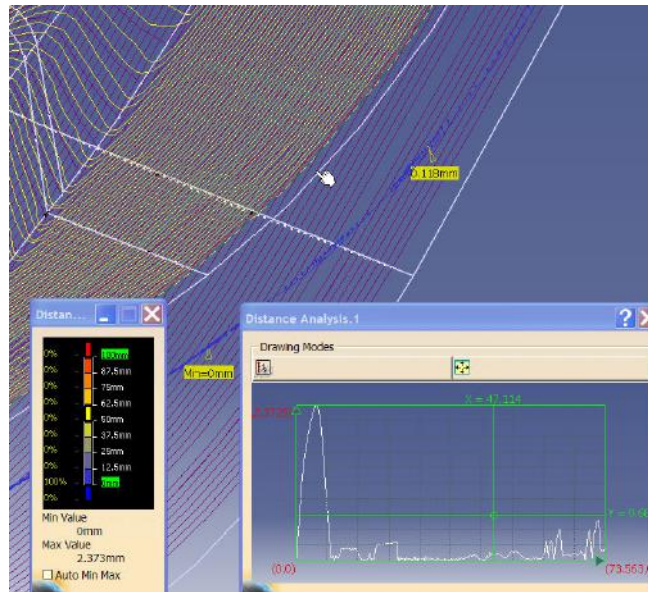
Njihova odstupanja će pokazati eventualne greške u tačnosti SLM segmenta.

Poklapanje krivih na ova dva modela prikazano je na slici 4.



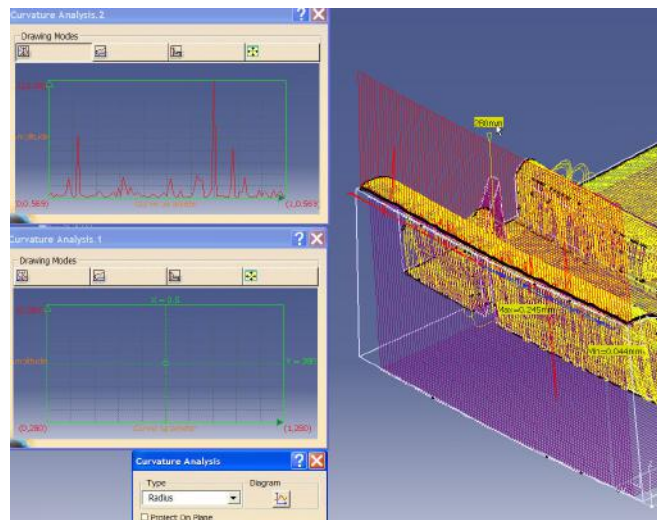
Slika 4. Poklapanja krivih na STEP virtualnom modelu i modelu koji je izrađen nad oblakom tačaka

Upoređenjem tačaka duž izabrane krive na oba modela može se uočiti da gotovo 100% tačaka ima odstupanja 0 mm, slika 5.



Slika 5. Upoređenje odstupanja tačaka duž izabrane krive na oba modela

Veoma važno je poklapanje vrednosti radijusa na glavnom cirkularnom grebenu što je prikazano je na slici 6, zbog eventualnih radijalnih bacanja alata.



Slika 6. Poklapanje radijusa na glavnom cirkularnom grebenu

Upoređivanjem tačaka duž ostalih važnih krivih na ova dva modela može se zaključiti da se tačnost metode kreće oko +/- 0.10 mm, što je zadovoljavajuća vrednost.

4.5 Vreme izrade

Potrebno vreme za izradu celog segmenta na SLM mašini je 15 h.

4.6 Cena materijala

Cena materijala čelika oznake DIN 1.4404 je ~ €157/kg

4.7 Osnovne karakteristike procesa

Tabela 1. Vrednosti parametara dobijene analizom SLM segmenta

<i>Karakteristike procesa</i>	<i>Vrednosti</i>
Zapremina celog modela	23 cm ³
Debljina sloja	75 μm
Tačnost	+/- 0.10 mm
Gustina	97 %
Kvalitet površine	Ra do 10 μm, na nekim površinama vrednost Rz ide i do 50 μm
Cena materijala	~€157/kg
Vreme izrade	15 h
Post procesiranje	Zahteva najmanje nekoliko sati finog poliranja

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu analize može se zaključiti da su prednosti SLM tehnologije:

- velika gustina delova približno 100 %;
- jedina RP metoda koja koristi jednokomponentne materijale;
- korišćenje komercijalno dostupnih materijala;
- topljenje po dubini, što gotovo eliminiše poroznost izrađenog segmenta i daje mu potrebnu tvrdoću;
- nema deformisanja dela prilikom, niti nakon izrade;
- odlična obradivost alata izrađenih ovom tehnologijom;
- široko polje primene: alata za livenje, kalupa za brizganje, gotovih metalnih i keramičkih delova;
- geometrijska tačnost zadovoljava zahteve konkretnog segmenta;
- mogućnost izrade detalja od 0.5 mm.

U slabosti SLM tehnologije mogu se ubrojiti:

- grublji kvalitet površine odmah nakon izrade (sa manjom debljinom sloja bi se postigli bolji rezultati ali bi se povećalo vreme izrade);
- neophodno je nekoliko sati finog poliranja do postizanja kvaliteta površina N9;
- gabaritno ograničenje delova koji se mogu izraditi na SLM mašini.

Na osnovu dobijenih vrednosti većine merenih parametra može se zaključiti da je ova tehnologija definitivno konkurentna konvencionalnim tehnologijama. Nedostatak SLM tehnologije jeste prilično gruba hrapavost površine, ali se dodatnom obradom može doći do željenog kvaliteta površine.

Što se tiče brzine izrade a samim tim i ekonomske opravdanosti korišćenja ove tehnologije u ovoj fazi njenog razvoja, ona je isplativa za izradu alata ili metalnih delova kompleksne geometrije ali malih gabarita.

LITERATURA

- [1] *Kruth, J-P., Mercelis, P., Van Vaerenbergh, J., Froyen L., Rombouts, M.*, Binding mechanisms in selective laser sintering and selective laser melting, Department of Mechanical Engineering, K.U. Leuven, Belgium, časopis Rapid Prototyping Journal, Volume 11, Number 1, Emerald, 2005, s. 26-36.
- [2] *Abe F., Osakada, K., Shiomi, M., Uematsu, K., Matsumoto, M.*, The manufacturing of hard tools from metallic powders by selective laser melting, časopis Journal of materials processing technology 111, Elsevier Science, 2001, s. 210-213.
- [3] *Milovanović, J.*, Mogućnost korišćenja tehnologija za brzu izradu prototipa u proizvodnji alata za vulkanizaciju pneumatika, magistarska teza, Niš, jun 2006.
- [4] *Williams, J.*, Rapid tooling applications: an overview and reality check. Rapid News, Time Compression Technologies 53, 1997, s. 48-54.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKE BAZE ZNANJA KAO DELA CAPP SISTEMA ZA TEHNOLOGIJE ELEKTROERODIRANJEM

D. Erić ¹⁾, Lj. Djordjević ²⁾, G. Miodragović ³⁾

Rezime: U ovom radu data je sinteza između tehnologije obrade elektroerodiranjem i računarskog projektovanja tehnoloških procesa (CAPP) za projektovanje ovih tehnologija. Svrha ovog kompromisa jeste definisanje inteligentne baze znanja za ovu vrstu mašinske obrade i potom definisanje tipa obrade, određivanje režima obrade, parametara obrade i ostalih elemenata ovog procesa.

Ključne reči: Tehnološka baza, EDM obrada, CAPP sistem

DESIGN OF TECHNOLOGICAL DATABASE AS A PART OF CAPP SYSTEM FOR EDM TECHNOLOGIES

Abstract: In this paper to give is synthesis between Electrical Discharge Machining Technology (EDM), and Computer Aided Process Planning systems for development this technology. Purpose this compromise is to define intelligent knowledge base and then defining the type of machining, determination of processing regime, machining parameters and other elements of this process.

Key words: Knowledge base, EDM machining, CAPP systems

1. UVOD

Proces elektroerozione obrade (EDM-Electrical Discharge Machining) spada u grupu veoma primenjivanih metoda nekonvencionalne obrade i u našoj firmi ova tehnologija je zastupljena poslednjih petnaest godina. U poslednje vreme, iz više razloga, primorani smo na podizanje efikasnosti, produktivnosti i eksploatacionog učinka ove tehnologije, ali u okvirima postojeće opreme. To direktno ukazuje na neophodnost definisanja jednog kompletnog, egzaktnog tehnološkog postupka sa svim potrebnim parametrima i režimima koje operativna upotreba ove opreme zahteva. Analizirajući metode projektovanja tehnoloških postupaka, došlo se do zaključka da bi računarsko projektovanje tehnološkog procesa (CAPP) na bazi znanja bilo najcelishodnije rešenje u ovoj situaciji, tim pre što je ovde reč o nekonvencionalnom mašinskom obradnom procesu. Ovakvi procesi podrazumevaju čitav niz uzročno-posledičnih znanja

¹⁾ Mr. Dragan M. Erić, Kompanija "SLOBODA", Čačak, ericmdragan@yahoo.com

²⁾ Prof. Dr. Ljubodrag Djordjević, Mašinski Fakultet Kraljevo, office@maskv.edu.yu

³⁾ Mr. Goran Miodragović, Mašinski Fakultet Kraljevo, miodragovic.g@yahoo.com

i njihovih relacija između svih elemenata koji su sastavni deo ovog tehnološkog procesa.

Upravo zbog toga, projektovanje odgovarajuće baze znanja, kao osnovnog dela CAPP sistema, predstavlja ključni zadatak u realizaciji kompletnog, računarski projektovanog tehnološkog postupka za EDM tehnologiju.

2. KONCEPT I STRUKTURA BAZE ZNANJA

U gradnji velikih baza znanja, kao i sistema na bazi znanja (ekspertnih sistema), prikupljanje znanja, kao i njihovo predstavljanje (prezentacija), povereni su inženjeru znanja (knowledge engineer). U našem projektu definisanja i na odgovarajući način prikazivanja znanja za elektroerozionu tehnologiju, koristimo proceduralna znanja vezana za ovaj proces, a koja uglavnom potiču iz nekoliko različitih izvora kao što su:

- opšta znanja iz ovih oblasti koja se nalaze u literaturi, objavljenim radovima, studijama, iskustvima drugih i.t.d.
- tehnološka znanja koja poseduje sam projektant tehnolog, a koja su dobijena ličnim iskustvom, edukacijom, usavršavanjem ili pak razmenom informacija,
- tehnološka znanja iz ovog područja koja poseduje naša firma, a koja su rezultat sopstvenog iskustva i tradicije.

Kao softversku podršku za projektovanje baze znanja koristimo "Visual FoxPro", a kao koncept predstavljanja znanja koristi se objektno-orijentisana struktura, koju ovaj softver podržava.

Na slici 1. prikazana je osnovna struktura projektovane baze znanja. Pošto je reč o objektno-orijentisanom modelu ova struktura je hijerarhijska sa objektima, odnosno klasama i podklasama u svojoj suštini.

Osnova (koren) ove objektno-orijentisane prezentacije jeste pojam (objekat) vezan za EDM tehnologiju. Sledeću klasu čine osnovni segmenti (objekti) čija znanja su neposredno vezana za ovu tehnološku aktivnost. To su opšta znanja i informacije vezane za:

- radni predmet,
- mašinu,
- alat i
- definisanje numeričkog programa.

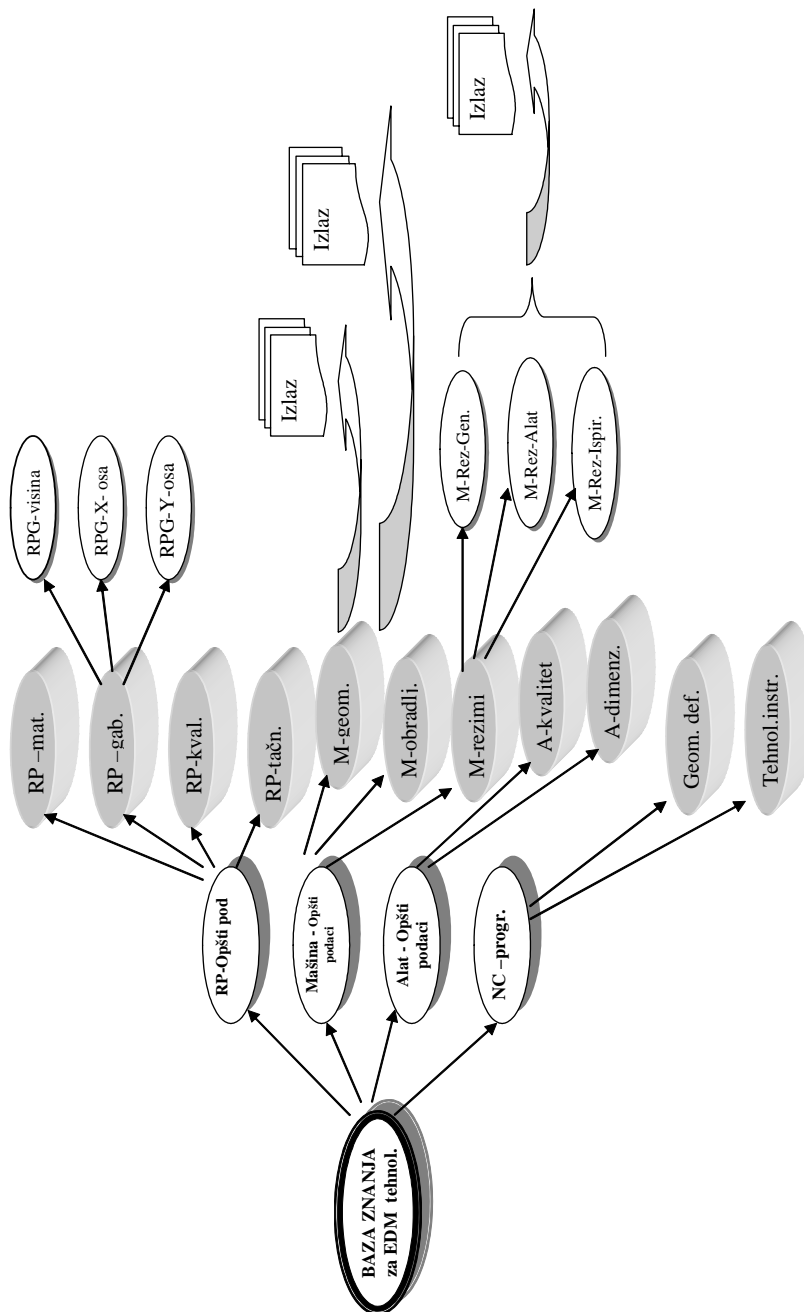
Svaki od ovih entiteta u objektno-orijentisanoj prezentaciji predstavlja pojedinačan objekt sa svim onim karakteristikama koje mu u ovoj metodologiji pripadaju. To su, pre svega, atributi i metode koje mogu biti pridružene svakom pojedinačnom objektu. Inače, međusobna orijentacija i relacije između objekata, odnosno klasa, čine suštinu prikaza jedne objektno-orijentisane strukture.

Sledeća klasa objekata koja je zapravo podklasa (izvedena klasa) prethodno navedene klase u našoj bazi znanja, predstavlja takodje skup objekata. Prvi skup izveden je iz objekta "opšte karakteristike radnog predmeta" i on sadrži nasledjene objekte koji se odnose na materijal radnog predmeta, na njegove gabarite i na kvalitet i tačnost izrade.

Upotrebom iste metodologije objekat koji predstavlja opšte podatke mašine, ima svoje naslednike u objektima koji sadrže karakteristike i metode vezane za geometriju, obradljivost i režime. Objekat koji predstavlja alat i njegove opšte podatke nasledjuju objekti sa karakteristikama kvaliteta i veličinama vezanim za dimenzije.

Na kraju, objektni prikaz NC-programa ima podklasu koja se sastoji iz objekata za geometrijsko definisanje (CAD-modeliranje) radnog predmeta, zatim objekat za

definisane tehnoloških i programskih instrukcija i objekat koji se odnosi na tip obrade (standardna obrada ili neka od verzija konike).

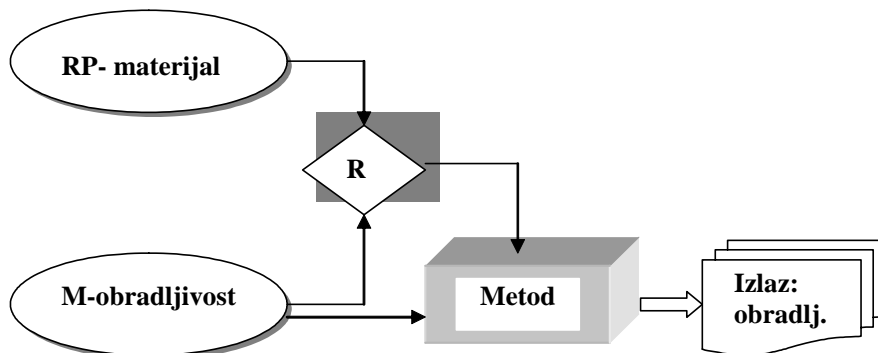


Slika 1. Objektno-orientisana struktura projektovane baze znanja

Veoma važan faktor funkcionisanja ove baze znanja jesu veze i komunikacije između objekata. To znači da između objekata koji sačinjavaju strukturu baze znanja, pored naslednih relacija postoje i druge relacije, koje se realizuju preko procedura i metoda.

U našoj bazi znanja za definisanje EDM tehnologija, postoji čitav niz odgovarajućih relacija između objekata. Mi ćemo ovde analizirati neke od njih. Tako naprimer, objekat koji se odnosi na materijal radnog predmeta ("RP_materijal") ima svoju relaciju sa objektom koji se odnosi obradljivost mašine-erozimetata ("M_obradljivost"). Pošto objekat "M-obradljivost" sadrži kao atribute spisak obradljivih materijala, kao i stepen njihove obradljivosti (kategorisan od 0 do 1), to će direktna komunikaciona relacija između ovog objekta i objekta "RP_materijal", biti uspostavljena preko metode (procedure) koja bi glasila:

"Ako je materijal obrade čelik, kakva je mogućnost obrade i koliki je stepen obradljivosti tog materijala". Grafički prikaz strukture povezanosti i relacija između ova dva objekta dat je na slici 2.



Slika 2. Objektne relacije u vezi obradljivosti materijala

Na slici 3 prikazane su veze koje se odnose na relacije između objekata koji kao izlaz imaju suštinski deo jednog tehnološkog postupka.

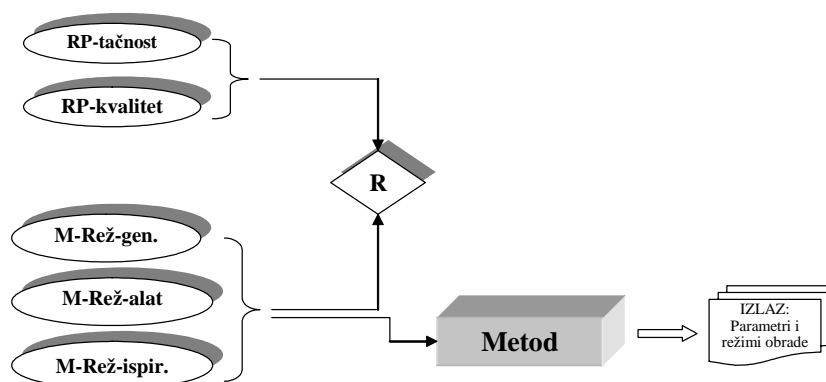
Veoma važne tehnološke karakteristike koje treba prilikom svake mašinske obrade postići, jesu:

- tačnost, koja je definisana veličinom dozvoljenog odsupanja, odnosno toleranciskog polja,
- kvalitet obrade, definisan srednjim stepenom hrapavosti obradjene površine.

U objektno-orijentisanoj strukturi baze znanja, ove karakteristike radnog predmeta predstavljene su objektima koji su u relaciji (uzročno-posledičnim) vezama sa objektom koji definiše veličine režima obrade na mašini. Tačnije, sa objektima koji se odnose na parametre i režime vezane za generator, za alat (žicu) i za proces ispiranja. Veličine ovih parametara direktno su zavisne od tačnosti, kvaliteta i visine radnog predmeta, pa zato i metod koji se koristi u ovoj medjuobjektnoj komunikaciji glasi:

"Ako je tačnost i kvalitet obrade tolika, a visina tolika, koliki su parametri i režimi obrade koje operator unosi u module za generator, za alat i za ispiranje".

Izlazne veličine ovih relacija jesu parametri koji se odnose na operativnost i efikasnost mašine, odnosno numeričkog erozimetata sa žicom tipa AGIE-100. Time i tehnološki postupak za ovu tehnologiju obrade dobija svoju konačnu formu.



Slika 3. Relacije između objekata jednog tehnološkog postupka

3. ZAKLJUČAK

Osnovna uloga projektovane baze znanja jeste da unapredi proces projektovanja tehnološkog postupka za tehnologiju elektroerodiranja na erozimatu AGIE-100. Upotrebom ovako projektovane baze znatno se prevazilaze problemi koji se javljaju u dosadašnjem načinu rada. Postignuti efekti ogledaju se pre svega u sledećem:

- tačnijem i kompletnijem definisanju svih potrebnih parametara i režima, što ima za posledicu podizaanje efikasnosti elektroerozione obrade,
- optimiziranje ovog procesa i realniju iskorišćenost jedne od najskupljih nekonvencionalnih tehnologija obrade,
- bržem definisanju tehnološkog postupka,
- unificiranom izgledu tehnološkog postupka,
- izbegavanju subjektivnih i ostalih grešaka,
- postizanju relanijih vremena obrade, a samim tim i podizanju nivoa konkurentnosti,
- pružanju mogućnosti da se na sličnim principima definišu baze znanja i za druge vrste tehnologija i uvedu kompletniji informativno-računarski procesi za sektor tehnološke pripreme.

Kako je jedan deo znanja koji se unosi u ove baze i iskustvenog karaktera, što znači da je podložan određenim korekcijama i dopunama u vremenu, potrebno je naglasiti da se potreba za prilagođavanjem u realnom vremenu može izvršiti u definisanoj bazi. To znači da se određene vrednosti, relacije i metode mogu prilagođavati tokom eksploatacije, shodno novim iskustvenim ili nekim drugim informacijama ili saznanjima.

LITERATURA

1. Eric, D., Definisanje tehnološke baze znanja kao segmenta za projektovanje tehnologija elektroerodiranjem, Magistarski rad, Mašinski Fakultet Kraljevo, 2006.
2. Babić, R. B., Projektovanje tehnoloških procesa, Univerzitet u Beogradu, Mašinski Fakultet, Beograd, 1999.
3. Scheer, W. A., CIM-Computer Integrated Manufacturing, Springer-Verlag, Berlin, 1988.
4. Long, J., Visual FoxPro 3, Developer's Guide, Third Edition, SAMS Publ., Indianop., 1995.



THE CONTACT PROBLEMS BASED ON THE PENALTY METHOD

S. Vulović¹⁾, M. Živković²⁾, N. Grujović³⁾, V. Mandić⁴⁾

Abstract: In this paper the contact problems including frictional effects are presented. The friction forces are assumed to follow the Coulomb law, with a slip criterion treated in the context of a standard return mapping algorithm. The algorithm is amenable to exact linearization and asymptotic quadratic rate of convergence can be achieved within a Newton-Raphson iterative solution scheme.

Solution results for verification example are presented at the end of this paper.

Key words: contact problem, penalty method, friction

1. INTRODUCTION

Numerical analysis of frictional contact problems has been one of the research topics of main interest in recent years. Frictional contact problems arise in many application fields such as metal forming processes, the impact of cars, etc.

The effective application of finite element contact solvers need a high degree of experience since the general robustness and stability cannot be guaranteed. For this reason the development of more efficient, fast and stable finite element contact discretizations is still a hot topic, especially due to the fact that engineering applications become more and more complex.

In this paper, framework for contact problems with friction is developed based on the penalty method. The penalty formulation has the advantage that it is purely geometrically based and therefore no additional degrees of freedom have to be activated or inactivated. Numerical example is shown to demonstrate that the presented algorithm can be successfully applied to contact problems.

2. CONTACT KINEMATICS

As the configurations of two bodies coming into the contact are not a priori known, contact represents a nonlinear problem even when the continuum behaves as a linear elastic material.

¹⁾ Snežana D. Vulović, Faculty of Mechanical engineering, Kragujevac, Serbia

²⁾ Miroslav M. Živković, Faculty of Mechanical engineering, Kragujevac, Serbia,
zile@kg.ac.yu

³⁾ Nenad A. Grujović, Faculty of Mechanical engineering, Kragujevac, Serbia

⁴⁾ Vesna Mandić, Faculty of Mechanical engineering, Kragujevac, Serbia

Using a standard notation in contact mechanics, for each pair of contact surfaces, involved in the problem, we will define slave ($\Gamma_C^{(1)}$) and master surfaces ($\Gamma_C^{(2)}$), Fig. 1. The condition which must be satisfied is that any slave particle cannot penetrate the master surface.

Let $\bar{\mathbf{x}}$ be the projection point of the current position of the slave node \mathbf{x}^k onto current position of the master surface $\Gamma_C^{(2)}$, defined as

$$\frac{\mathbf{x}^k - \bar{\mathbf{x}}(\bar{\xi}^1, \bar{\xi}^2)}{\|\mathbf{x}^k - \bar{\mathbf{x}}(\bar{\xi}^1, \bar{\xi}^2)\|} \cdot \bar{\mathbf{a}}_\alpha(\bar{\xi}^1, \bar{\xi}^2) = 0 \quad (1)$$

where $\alpha=1,2$ and $\bar{\mathbf{a}}_\alpha(\bar{\xi}^1, \bar{\xi}^2)$ are the tangent covariant base vectors at the point $\bar{\mathbf{x}}$. The normal gap or the penetration g_N for slave node k is defined as the distance between current positions of this node to the master surface $\Gamma_C^{(2)}$:

$$g_N = (\mathbf{x}^k - \bar{\mathbf{x}}) \cdot \bar{\mathbf{n}} \quad (2)$$

where $\bar{\mathbf{n}}$ refers to the normal to the master face $\Gamma_C^{(2)}$ at point $\bar{\mathbf{x}}$ (Fig. 1). Normal will be defined using tangent vectors at the point $\bar{\mathbf{x}}$

$$\bar{\mathbf{n}} = \frac{\bar{\mathbf{a}}_1 \times \bar{\mathbf{a}}_2}{\|\bar{\mathbf{a}}_1 \times \bar{\mathbf{a}}_2\|} \quad (3)$$

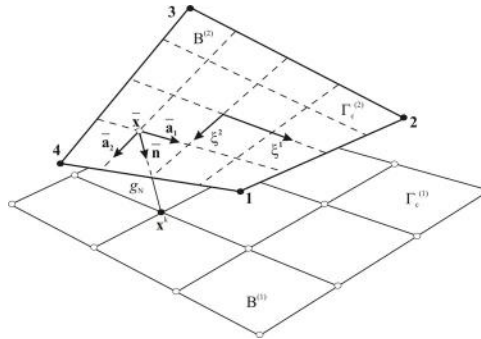


Figure 1. Geometry of the 3D node-to-segment contact element

This gap (2) gives the non-penetration conditions as follows

$$g_N = 0 \text{ perfect contact; } g_N > 0 \text{ no contact; } g_N < 0 \text{ penetration} \quad (4)$$

If the analyzed problem is frictionless, function (4) completely defines the contact kinematics. However, if friction is modeled, tangential relative displacement must be introduced. In that case, the sliding path of the node \mathbf{x}^k over the contact surface $\Gamma_C^{(2)}$ is described by total tangential relative displacement as

$$g_T = \int_{t_0}^t \|\dot{\mathbf{g}}_T\| dt = \int_{t_0}^t \left\| \frac{\dot{\bar{\xi}}^\alpha}{\bar{\xi}^\alpha} \bar{\mathbf{a}}_\alpha \right\| dt = \int_{t_0}^t \sqrt{\frac{\dot{\bar{\xi}}^\alpha \dot{\bar{\xi}}^\beta}{\bar{\xi}^\alpha \bar{\xi}^\beta} a_{\alpha\beta}} dt \quad (5)$$

in time interval from t_0 to t .

The time derivatives of parameter $\bar{\xi}^\alpha$ in equation (5) can be computed from (1), [7]. We obtain the following result

$$\bar{a}_{\beta\alpha} \dot{\bar{\zeta}}^\beta = [\dot{\mathbf{x}}^k - \dot{\bar{\mathbf{x}}}] \cdot \bar{\mathbf{a}}_\alpha = \dot{g}_{T\alpha} \quad (6)$$

where $\bar{a}_{\alpha\beta} = \bar{\mathbf{a}}_\alpha \cdot \bar{\mathbf{a}}_\beta$ is the metric tensor in point $\bar{\mathbf{x}}$ of the master surface $\Gamma_C^{(2)}$. From the equations (5) and (6) we can express the relative tangential velocity at the contact point

$$\dot{\mathbf{g}}_T = \dot{\bar{\zeta}}^\alpha \bar{\mathbf{a}}_\alpha = \dot{g}_{T\alpha} \bar{\mathbf{a}}^\alpha \quad (7)$$

3. CONSTITUTIVE EQUATIONS FOR CONTACT INTERFACE

A contact stress vector $\bar{\mathbf{t}}$ with respect to the current contact interface $\Gamma_C^{(2)}$ can be split into a normal and tangential part.

$$\bar{\mathbf{t}} = \bar{\mathbf{t}}_N + \bar{\mathbf{t}}_T = \bar{t}_N \bar{\mathbf{n}} + \bar{t}_{T\alpha} \bar{\mathbf{a}}^\alpha \quad (8)$$

where $\bar{\mathbf{a}}^\alpha$ is contravariant base vector. The stress acts on both surfaces according to the action-reaction principle: $\bar{\mathbf{t}}(\bar{\zeta}^1, \bar{\zeta}^2) = -\mathbf{t}$ in the contact point $\bar{\mathbf{x}}$. The tangential stress $\bar{t}_{T\alpha}$ is zero in the case of frictionless contact. In the case of contact there is condition $\bar{t}_N < 0$. If there is not penetration between the bodies, then relations $g_N > 0$ and $\bar{t}_N = 0$ hold. This leads to the statements

$$g_N \geq 0, \quad \bar{t}_N \leq 0, \quad \bar{t}_N g_N = 0 \quad (9)$$

which are known as Kuhn-Tucker conditions. Using the penalty method for normal stress, constitutive equation can be formulated as

$$t_N = \varepsilon_N g_N \quad (10)$$

where ε_N is the normal penalty parameter.

In tangential direction there is difference between stick and slip. As long as no sliding between two bodies occurs, the tangential relative velocity is zero. If the velocity is zero, also the tangential relative displacement (5) is zero. This state is called stick case with the following restriction:

$$\dot{\mathbf{g}}_T = \mathbf{0} \Leftrightarrow \mathbf{g}_T = \mathbf{0} \quad (11)$$

For stick a simple linear constitutive model can be used to describe the tangential stress.

$$t_{T\alpha}^{stick} = \varepsilon_T g_{T\alpha} \quad (12)$$

where ε_T is the tangential penalty parameter.

A relative movement between two bodies occurs if the static friction resistance is overcome and the loading is large enough such that the sliding process can be kept. The tangential stress vector is restricted as follows:

$$t_{T\alpha}^{sl} = -\mu \|\mathbf{t}_N\| \frac{\dot{g}_{T\alpha}^{sl}}{\|\dot{\mathbf{g}}_T^{sl}\|} \quad (13)$$

where μ is friction coefficient. In the simplest form of Coulomb's law (13), μ is constant so there is no difference between static and sliding friction.

After the introduction of the stick and slip constraints, we need to introduce indicator to define whether stick or slip actually take place. Therefore an indicator function

$$f = \|\mathbf{t}_T\| - \mu \|\mathbf{t}_N\| \quad (14)$$

is evaluated, which respect the Coulomb's model for frictional interface law. In the equation (14) the first term is $\|\mathbf{t}_T\| = \sqrt{t_{T\alpha} \bar{a}^{\alpha\beta} t_{T\beta}}$.

A backward Euler integration scheme and return mapping strategy are employed to integrate the friction equations (14). If a state of stick is assumed, the trial values of the tangential contact pressure vector $t_{T\alpha}$, and the indicator function f at load step $n+1$ can be expressed in terms of their values at load step n as follows

$$t_{T\alpha n+1}^{trial} = t_{T\alpha n} + \varepsilon_T \Delta g_{T\alpha n+1} = t_{T\alpha n} + \varepsilon_T \bar{a}_{\alpha\beta} \Delta \xi_{n+1}^{\beta} \quad (15)$$

$$f_{Tn+1}^{trial} = \|\mathbf{t}_{Tn+1}^{trial}\| - \mu |t_{Nn+1}| \quad (16)$$

The return mapping is completed by

$$t_{T\alpha n+1} = \begin{cases} t_{T\alpha n+1}^{trial} & \text{if } f \leq 0 \\ \mu |t_{Nn+1}| n_{T\alpha n+1}^{trial} & \text{if } f > 0 \end{cases} \quad (17)$$

with

$$n_{T\alpha n+1}^{trial} = \frac{t_{T\alpha n+1}^{trial}}{\|\mathbf{t}_{Tn+1}^{trial}\|} \quad (18)$$

For the both cases, the penalty method can be illustrated as a group of linear elastic springs that force the body back to the contact surface when overlapping or sliding occurs.

4. ALGORITHM FOR FRICTIONAL CONTACT

For solution a nonlinear equilibrium equation with inequality constraints (4) as a result of contact, we use a standard implicit method. In order to apply Newton's method for the solution system of equilibrium equation, a linearization of the contact contributions is necessary. In this paper, we do not state the linearization procedure for standard finite element formulation as well as the contact interface law for the normal and tangential part. It could be found in [7].

The tangent stiffness matrix for the normal contact is

$$\mathbf{K}_N = \varepsilon_N \mathbf{N} \mathbf{N}^T \quad (19)$$

The symmetric tangent stiffness matrix for stick condition is

$$\mathbf{K}_T^{stick} = \varepsilon_T \bar{a}_{\alpha\beta} \mathbf{D}^\alpha \mathbf{D}^{\beta T} \quad (20)$$

where

$$\mathbf{N} = \begin{Bmatrix} \bar{\mathbf{n}} \\ -H_1 \bar{\mathbf{n}} \\ -H_2 \bar{\mathbf{n}} \\ -H_3 \bar{\mathbf{n}} \\ -H_4 \bar{\mathbf{n}} \end{Bmatrix} \quad \mathbf{T}_\beta = \begin{Bmatrix} \bar{\mathbf{a}}_\beta \\ -H_1 \bar{\mathbf{a}}_\beta \\ -H_2 \bar{\mathbf{a}}_\beta \\ -H_3 \bar{\mathbf{a}}_\beta \\ -H_4 \bar{\mathbf{a}}_\beta \end{Bmatrix} \quad \mathbf{D}^\alpha = \bar{a}^{\alpha\beta} \mathbf{T}_\beta. \quad (21)$$

The linearization of $n_{T\alpha n+1}^{trial}$ gives (for details see [1])

$$\Delta \left(n_{T\alpha n+1}^{trial} \right) = \Delta \left(\frac{t_{T\alpha n+1}^{trial}}{\|\mathbf{t}_{Tn+1}^{trial}\|} \right) = \frac{1}{\|\mathbf{t}_{Tn+1}^{trial}\|} \left[\delta_\alpha^\beta - n_{T\alpha n+1}^{trial} n_{T\beta n+1}^{trial} \right] \Delta t_{T\beta n+1}^{trial} \quad (22)$$

The tangent stiffness matrix for slip condition is

$$\mathbf{K}_T^{slip} = \mu \varepsilon_N n_{T\alpha n+1}^{trial} \mathbf{D}^\alpha \mathbf{N}^T + \frac{\mu \varepsilon_N g_{Nn+1}}{\|\mathbf{t}_{Tn+1}^{trial}\|} \varepsilon_T \bar{a}_{\beta\gamma} \left[\delta_\alpha^\beta - n_{T\alpha n+1}^{trial} n_{T n+1}^{trial \beta} \right] \mathbf{D}^\alpha \mathbf{D}^{\gamma T} \quad (23)$$

The second term, the tangent matrix is non-symmetric, due to the Coulomb's friction can be viewed as a non-associative constitutive equation.

Frictional contact algorithm using penalty method is shown in Table 1.

Table 1. Frictional contact algorithm using the penalty method

<pre> LOOP over all contact segment k (check for contact (6)) IF $g_N \leq 0$ THEN (the first iteration) IF $i=1$ THEN set all active nodes to state stick, \mathbf{t}_{Tn+1} (18), compute matrix \mathbf{K}_T^{stick} ELSE Compute trial state: $t_{T\alpha n+1}^{trial}$ (19) and f_{Tn+1}^{trial} (20) IF $f_{Tn+1}^{trial} \leq 0$ THEN $t_{T\alpha n+1} = t_{T\alpha n+1}^{trial}$, compute matrix \mathbf{K}_T^{stick} (40) GO TO (a) ELSE $t_{T\alpha n+1} = \mu |t_{Nn+1}| n_{T\alpha n+1}^{trial}$, compute matrix \mathbf{K}_T^{slip} (43) ENDIF ENDIF ENDIF ENDIF (a) END LOOP </pre>
--

4. EXAMPLE

For purposes of comparison, numerical example is taken from [6]. Hence this example can be used to verify whether the developed algorithm is able to represent stick/slip behavior correctly. An elastic block is pressed against a rough rigid foundation. Simultaneously to the vertical loading the block is pulled at right side by a uniformly normal stress (see Fig. 2). Material constants are: $E = 1000$ per length square, $\nu = 0.3$. The properties of the contact surface have been chosen as follows: $\varepsilon_N = 10^8$, $\varepsilon_T = 10^4$, friction coefficient $\mu = 0.5$. The block is discretized using 200 four-node isoparametric elements. It should be noted that using developed algorithm the total load can be applied in only one step.

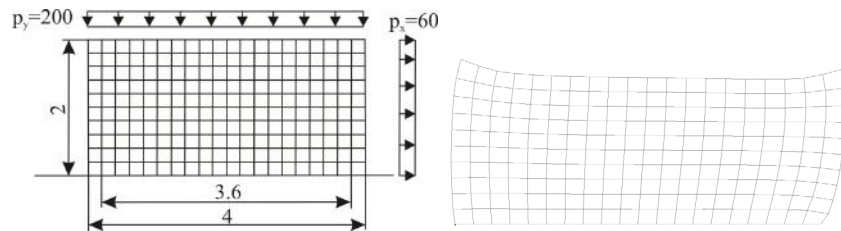


Fig. 2. Initial and deformed configuration

The computed normal contact pressure and tangential contact stress are shown in Fig. 3, and indicate good agreement between this solutions and the solutions shown in [6].

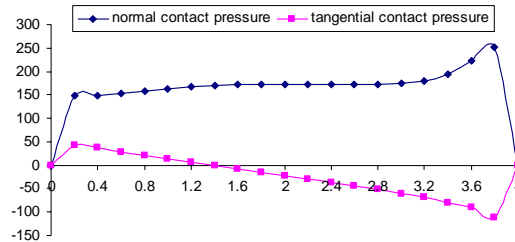


Fig. 3. Force – displacement relationship

3. CONCLUSIONS

A model for contact problem with friction, based on the penalty method, was presented. Due to the intrinsic similarity between friction and the classical elasto-plasticity [4], the constitutive model for friction can be constructed following the same formalism as in classical elasto-plasticity. The numerical example indicates a possibility of applying the developed method in the analysis of finite deformation problems.

REFERENCES

- [1] Fisher K.A., Mortal type methods applied to nonlinear contact mechanics, Ph.D. Thesis, Institut für Bumechanick und Numerische Mechanik Univ. of Hannover, Hannover, 2005.
- [2] Grujovic N., Contact problem solution by finite element methods, Ph.D. Thesis, Faculty of Mech. Eng. Univ. of Kragujevac, Kragujevac, 1996.
- [3] Kojic M., R. Slavkovic, M. Zivkovic, N. Grujovic, The software packages PAK, Faculty of Mechanical Engineering of Kragujevac, Serbia and Montenegro.
- [4] Kojic M., K. J. Bathe, Inelastic Analysis of Solids and Structures, Springer, Berlin-Heidelberg, 2005.
- [5] Laursen T.A., J.C. Simo, A continuum-based finite element formulation for the implicit solution of multibody, large deformation frictional contact problems, Inter. J. Num. Meth. Eng. 36 3451-3485, 1993.
- [6] Wriggers P., T.V. Van, E. Stein, Finite element formulation of large deformation impact-contact problems with friction, Computers and Structures. 37 319-333, 1990.
- [7] Wriggers P., Computational Contact Mechanics, J. Wiley & Sons Ltd, West Sussex, England, 2002.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

PRIMENA NAPREDNIH KONCEPCIJA RAZVOJA POSTPROCESORA ZA NUMERIČKI UPRAVLJANE MAŠINE ALATKE

S. Tabaković ¹⁾, M. Zeljković ²⁾, R. Gatalo ³⁾

Rezime: U savremenim uslovima mašingradnje, gde je neophodna primena principa rekonfigurabilnosti, elemenata paralelne kinematike i specijalizacije korisničkog interfejsa upravljačkih sistema prilikom projektovanja mašine alatke, razvoj i usavršavanje postprocesora predstavlja složenu aktivnost. U radu su prikazane mogućnosti razvoja kompleksnih postprocesorskih modula za savremene mašine alatke sa svim njihovim specifičnostima, u danas najčešće upotrebljavanim programskim sistemima za razvoj postprocesora.

Ključne reči: CAM, postprocesor, FIL, G-Post, IMSPost

APPLICATION OF ADVANCED CONCEPTION POSTPROCESSOR FOR MACHINE TOOLS WITH NUMERICAL CONTROL BUILDING

Abstract: Up-to-date approach to a machine tools building are often used reconfigurability principles, elements of parallel kinematics and specialization users interface of control systems. In this conditions activity on development of postprocessors is very complex. In this paper possibilities of the complex postprocessor modules for modern machine tools development in today most used programming systems for postprocessors development are presented.

Key words: CAM, Postprocessor, FIL, G-Post, IMSPost

1. UVODNA RAZMATRANJA

Kontinualni razvoj mašina alatki od njihovog nastanka do danas je polovinom prošlog veka rezultirao uvođenjem numeričkog upravljanja kao ključnog upravljačkog sistema. Uz to je započeo i intenzivan razvoj računarskih programskih sistema koji predstavljaju podršku za ekonomičnu eksploataciju tehnoloških sistema u svim segmentima pripreme proizvodnje. To se pre svega odnosi na programske sisteme za automatizovano programiranje numerički upravljanih mašina alatki (CAM programske

¹⁾ Slobodan Tabaković, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, tabak@uns.ns.ac.yu

²⁾ Prof. dr Milan Zeljković, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija,
milanz@uns.ns.ac.yu

³⁾ Prof. dr Ratko Gatalo, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija,
gatalora@uns.ns.ac.yu

sisteme). Zbog raznolikosti mašina alatki koja je izazvana njihovim koncepcionim i konstrukcionim specifičnostima i programski sistemi za automatizovano programiranje predstavljaju kompleksne celine. Pri tome je posebno prisutna kompleksnost postprocesorskih modula CAM programskih sistema. Njihova uloga u procesu definisanja upravljačkih programa odnosi se na transformaciju zapisa koji definiše putanju alata po određenim standardom definisanim pravilima (najčešće nazivan CL DATA* datoteka). Ovakvom transformacijom se datoteka CL DATA prevodi u oblik koji prepoznaje i može da izvršava upravljačka jedinica konkretne mašine alatke. Postprocesorska rešenja su razvijana od strane različitih proizvođača. Za njihov razvoj korišćeni su različiti prilazi. U vezi sa tim na Institutu za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka su u ranijem periodu stečena određena iskustva [2], [3], [4].

Danas su za razvoja postprocesora razvijene nove tehnike/metode/prilazi. U radu su prezentovane mogućnosti primene naprednih tehnika razvoja postprocesora u dva namenski orijentisana programska sistema. Rezultati koji se ovde izlažu su proizašli iz istraživanja koja čine podlogu za realizaciju pojedinih faza projekta TR6330A**. Cilj tih faza projekta je ispitivanje metoda i sredstava za realizaciju postprocesora za savremene numerički upravljane mašine alatke.

2. PRINCIPI DEFINISANJA POSTPROCESORA

Novije verzije programskih sistema za razvoj/generisanje postprocesora najčešće funkcionišu na dva načina:

- kao dodatni programski moduli, integrisani u kompleksne CAM sisteme ili
- kao nezavisni programski sistemi, koji imaju podsisteme za postprocesiranje, verifikaciju upravljačkih programa i sl.

U oba slučaja ovi sistemi principijelno imaju jedinstvenu metodologiju razvoja postprocesora. Ona se uglavnom bazira na interaktivnom formiranju informacionih podloga [2],[3] koje prvenstveno sadrže:

- informacije o karakteristikama mašine alatke (broj numerički upravljanih osa, karakteristike koordinatnih sistema i sl.)
- informacije o karakteristikama upravljačkog sistema (redosled vođenja pojedinih osa upravljanja, karakteristike memorijskih registara, ...), kao i sintaksu programskog jezika koji se koristi na konkretnom upravljačkom sistemu za datu mašinu (glavne funkcije, pomoćne funkcije, ...)
- napredne funkcije (mogućnosti unapređenja programa kroz definisane cikluse, jezik makroa, ...)

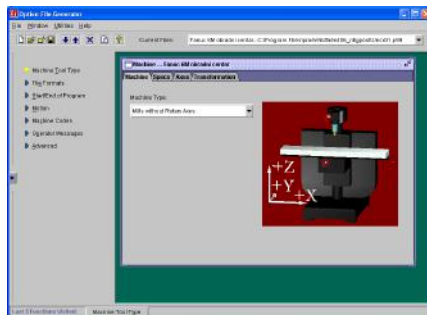
Osnovni elementi postprocesora koji su u vezi sa informacijama iz prve dve grupe se u većini takvih sistema definišu u komunikaciji sa korisnikom putem interaktivnog dijaloga.

Na slikama 1. a), b) i c) je prikazan izgled dijaloga za generisanje postprocesora u nekim od specijalizovanih sistema za tu namenu.

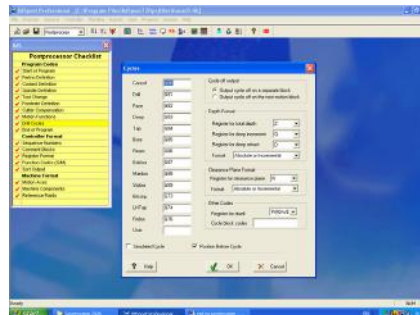
* CL DATA-Cutter Location Data

** TR 6330A - "Unapređenje sistema tehničke pripreme u uslovima maloserijske proizvodnje primenom savremenih programskih paketa univerzalne namene"

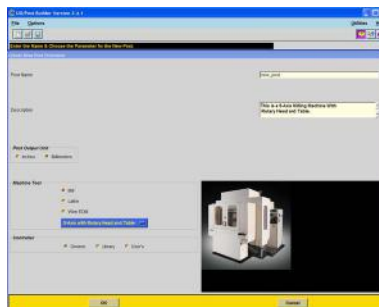
Ovakva koncepcija generisanja postprocesora zadovoljava kriterijume programiranja putanje alata po principu opisa obrade konture metodom „element po element putanje”. Na bazi ovakve koncepcije je na Institutu za proizvodno mašinstvo već razvijen određen broj postprocesora za različite vrste mašina alatki kao što su numerički upravljani obradni centri za glodanje (Heidenreich & Harbeck FM38) [7], numerički upravljane mašine za obradu lima (punch prese) i sl.



a) G-Post



b) IMSPost



c) Unigraphics UG/Post Builder

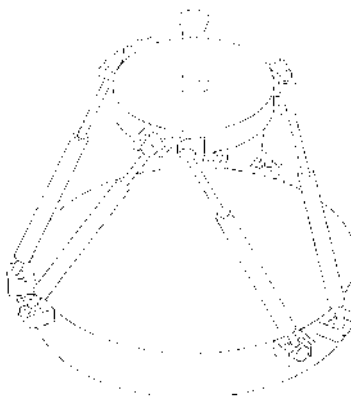
Slika 1: Izgled dijaloga za definisanje postprocesora

Ovakav prilaz u današnje vreme ne zadovoljava zahteve većine korisnika savremenih mašina alatki. Imajući u vidu predhodno, u procesu definisanja postprocesora treba koristiti napredne funkcije kojima je moguće prevazići te i druge nedostatke u cilju maksimalnog iskorišćenja mogućnosti savremenih mašina alatki i njihovih upravljačkih jedinica.

3. SPECIFIČNOSTI PROGRAMIRANJA SAVREMENIH NU MAŠINA ALATKI

Pojavom najnovijih koncepcija razvoja numerički upravljanih mašina alatki koje podrazumevaju primenu principa rekonfigurabilnosti pri njihovoj gradnji i primeni upravljačkih sistema baziranih na otvorenoj arhitekturi znatno su se izmenili i principi formiranja upravljačkih programa za takve mašine. Za potrebe uprošćenja procesa programiranja i smanjenja dužine upravljačkih programa u upravljačke jedinice, pri izradi mašina alatki, se memorišu (učitavaju) programski ciklusi za izvršavanje tipičnih zahvata kao npr.: grubo stuganje (ili glodanje), merenje obradaka (ukoliko mašina alatka ima odgovarajući merni sistem) i sl.

Osim toga u novije vreme su u eksploataciju ušle i mašne alatke bazirane na novim koncepcijama gradnje, kao što su mašine alatke sa paralelnom kinematikom gde se pomoćno kretanje u pojedinim pravcima dobija vektorskim sabiranjem kretanja koje realizuje više nezavisnih pogona u pravcu alternativnih (imaginarnih osa) kao što je prikazano na slici 2.



Slika 2: Šema paralelnog mehanizma

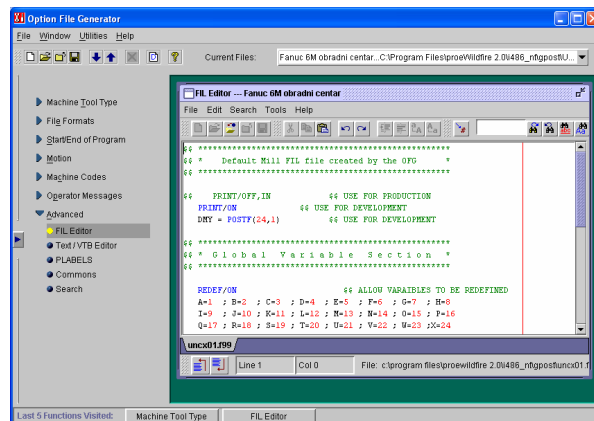
Principi opisivanja položaja vrha alata u procesu programiranja ovakvih mašina alatki podrazumevaju definisanje inverzne kinematike mehanizma što u ovom slučaju predstavlja složen matematički problem, a samim tim i postprocesore čini znatno drugačijim od konvencionalnih.

Upravo zbog toga programski sistemi za generisanje postprocesora novije generacije raspoložu čitavim nizom alata za njihovu modifikaciju i unapređenje.

4. MOGUĆNOSTI REALIZACIJE POSTPROCESORSKIH MODULA CAM PROGRAMSKIH SISTEMA PRIMENOM NAPRE-DNIH TEHNIKA PROGRAMIRANJA POSTPROCESORA

U praksi najrasprostranjeniji programski sistemi za generisanje postprocesora (među kojima i G-Post i IMSPost), predstavljaju kompleksne programske sisteme sa različitim metodama razvoja postprocesora koji se dele u dve grupe i to osnovne i napredne metode. Kod osnovnih metoda se postprocesori razvijaju u dijaloškoj komunikaciji sa korisnikom. Napredne metode se najčešće zasnivaju na primeni programskih jezika opšte namene i specijalno razvijenih programskih jezike. To podrazumeva korišćenje tzv. jezika makroa zasnovanih na kombinaciji naredbi iz simboličkog jezika APT i programskih jezika opšte namene.

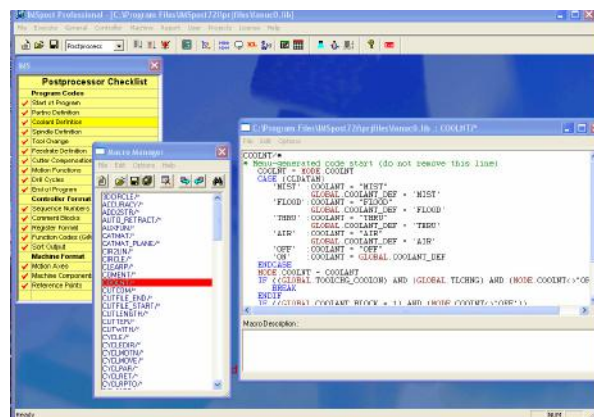
U programskom sistemu **G-Post** proizvođača Austin NC se za definisanje naprednih funkcija koristi *FIL (Factory Interface Language) programski jezik* [1]. Osnovna namena ovog jezika je da primenom standardnih operacija programiranja (kao što su uslovne i iteracione naredbe, petlje ili naredbe skoka) ostvari znatno unapređenje mogućnosti postprocesora u smislu modifikacije pojedinih elemenata. Takve komande se nadopunjuju APT naredbama generišući kompleksna postprocessorska rešenja. Na slici 3 je prikazan izgled FIL editora u programskom sistemu G-Post .



Slika 3: FIL editor

Važno je napomenuti da programski sistem G-Post poseduje dva podsistema za definisanje makroa primenom FIL jezika; interaktivni pregled polja registara i uvid u izvorni kod postprocesora što nije omogućeno kod većine srodnih sistema.

IMSPost (Intelligent Manufacturing Software) programski sistem istoimene kompanije je namenjen za definisanje postprocesora, i može funkcionisati samostalno postprocesirajući putanje alata ili omogućiti ugradnju realizovanih postprocesorskih modula u kompleksne CAD/CAM programske sisteme kao što su: CATIA, Cimatron, I-CAM i sl. Primena jezika makroa u ovom programskom sistemu podrazumeva upotrebu niza funkcija koje se ugrađuju u upravljački program pri postprocesiranju, čime se može upravljati tokom programa omogućujući dobijanje kvalitetnijeg i kraćeg upravljačkog programa. Prikaz korisničkog interfejsa ovog programskog sistema je dat na slici 4.



Slika 4.:Prikaz korisničkog interfejsa kod programskog sistema IMSPost

Formalno posmatrano ovaj programski sistem je u velikoj meri podređen korisniku što podrazumeva interaktivno formiranje naredbi makroa u vidu dijaloga uz mogućnost njihove korekcije u internom ili bilo kom konvencionalnom tekst editoru (Notepad, Wordpad i sl.) [5].

5. ZAVRŠNI OSVRT

Na osnovu dosadašnjih iskustava na polju razvoja postprocesora može se zaključiti da se u savremenim uslovima funkcionisanja tehnoloških sistema, uvođenjem novih fleksibilnih koncepcija upravljanja, mašine alatke veoma često specijalizuju za određene tipove obrade. To se najčešće postiže primenom tipičnih ciklusa programiranja. Za pravilnu eksploataciju takvih sistema neophodno je kontinuirano usavršavanje tehnika/ metoda/prilaza razvoja postprocesora, što u velikoj meri podrazumeva nadogradnju uvođenjem naprednih funkcija programiranja. Na taj način se postiže optimizacija poslednje faze definisanja upravljačkog programa što rezultira znatno boljim stepenom iskorišćenja upravljačkog sistema mašine alatke i programskog sistema za automatizovano programiranje datog upravljačkog sistema.

Zadatak istraživanja (predviđenog projektom TR 6330A), čiji su početni rezultati prikazani u ovom radu, obuhvata analizu, trenutno najnaprednijih, programskih sistema za razvoj postprocesora. Ona se realizuju u cilju razvoja postprocesora za više univerzalnih i specijalizovanih numerički upravljanih mašina alatki, maksimalno vodeći računa o njihovim specifičnostima (ugradjenim ciklusima obrade, manipulacije i merenja).

6. LITERATURA

1. *Austin NC: G-Post Reference Manual, Version 5.7, November 2002.*
2. *Hodolič, J., Milošević, V., Gatalo, R., Reček, J.: Sistemski postprocesor kao modul SAPOR-S sistema i baza za efikasnu primenu sistema u proizvodnim uslovima, Zbornik radova, XVI savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Mostar, str. 337-342, 1982.*
3. *Hodolič, J.: Integralni prilaz postprocesiranju upravljačkih informacija u sistemu za automatizovano programiranje fleksibilnih tehnoloških sistema za obradu rotacionih izradaka, doktorska disertacija, (621 : 681 . 5), Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, 1990.*
4. *Hodolič, J., Gatalo, R., Vasić, S.: Postprozessieren von Steuerinformationen im System für automatisierte Programmierung von Messmaschinen als FMS - komponenten, 3. International Symposium - DAAAM FLEXIBLE AUTOMATION, Zbornik radova, Budapest, 1992.*
5. <http://proe.ippd.ufl.edu/wildfire/html/usascii/proe/fil/filcompletefrm.html> : Intercim Factory Interface Language (FIL) Manual, 1999, Intercim
6. *Intelligent Manufacturing Software: IMSPost Version 7.2 Release Notes, January, 2004.*
7. *Tabaković, S., Zeljković, M., Gatalo, R., Pejić, V.: Prilog analizi i verifikaciji postprocesora savremenih CAM programskih sistema, Zbornik radova, IX međunarodna naučno-stručna konferencija MMA 2006 – FLEKSIBILNE TEHNOLOGIJE, (ISBN 86-85211-96-4), Novi Sad, str.127-128, 2006.*

Napomena:

Rad sadrži deo rezultata u okviru Programa istraživanja u oblasti tehnološkog razvoja na projektu "Unapređenje sistema tehničke pripreme u uslovima maloserijske proizvodnje primenom savremenih programskih paketa univerzalne namene", broj TR 6330A, koji finansira Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

PRIMER PROGRAMIRANJA TEHNOLOŠKIH OPERACIJA NA "HAAS" CNC GLODALICI

I. Maričić ¹⁾, R. Slavković ²⁾, S. Radonjić ³⁾

Rezime: Sinonimi moderne proizvodnje su: male serije, česta izmena dizajna, težnja ka povećanoj produktivnosti, smanjenje vremena od projektovanja do proizvodnje, kao i smanjenje troškova. U radu je dat jedan deo od CNC programa za „Obustep“. Ovaj radni deo se uspešno koristi za lako učenje i vežbanje pri CNC programiranju u firmi „nimico“ iz Čačka.

Ključne reči: CNC tehnologije, moderna proizvodnja

EXAMPLE OF PROGRAMMING TECHNOLOGY OPERATIONS ON "HAAS" CNC MILL

Abstract: Synonyms of modern manufacturing are: small assembly line production, frequently change design, persuit of increased productivity, reduced the design-to-manufacturing cycle time and costs. In the article is given one section of the CNC program for „Obustep“. At the „nimico“ company from Čačak, this part is successfully used for easy learn and training in CNC programming.

Key words: CNC technologies, modern manufacturing

1. UVOD

Priroda današnjeg tržišta i proizvodni procesi usloveli su, da savremenu proizvodnju u mašinogradnji i metaloprerađivačkoj industriji sve više karakterišu male serije, česta izmena dizajna proizvoda, težnja ka povećanoj produktivnosti i smanjenju vremena izrade. U finalnim proizvodima se sve više pojavljuju delovi vrlo složenog oblika, čija izrada na konvencionalnim mašinama postaje neekonomična i jako komplikovana.

Američka firma „HAAS“ danas u Evropi ima prodatih oko 50.000 mašina alatki sa primenjenom CNC tehnologijom upravljanja, radi zadovoljenja potreba savremenog tržišta. Sa jednom od ovih mašina („Toolroom Mill“), raspolaže firma „nimico“ iz Čačka.

¹⁾ Igor Maričić, Tehnički fakultet, Čačak, Srbija, igormaricic@ptt.yu

²⁾ Radomir Slavković, Tehnički fakultet, Čačak, Srbija, slavkovic@tfc.kg.ac.yu

³⁾ Snežana Radonjić, Tehnički fakultet, Čačak, Srbija, snezar@tfc.kg.ac.yu

2. TEHNIČKO-TEHNOLOŠKE KARAKTERISTIKE CNC GLODALICE „HAAS Toolroom Mill“

Korišćena glodalica je najmanja u nizu CNC glodalica ovog renomiranog proizvođača. Zbog svoje konfiguracije (nedovoljne krutosti, kao i relativno male snage), koristi se za izradu delova manjih dimenzija. Po mišljenju autora, idealna bi bila za obuku i vežbanje studenata. Prikaz mašine u pogonu dat je zajedno sa njenim tehničko-tehnološkim podacima na slici 1.



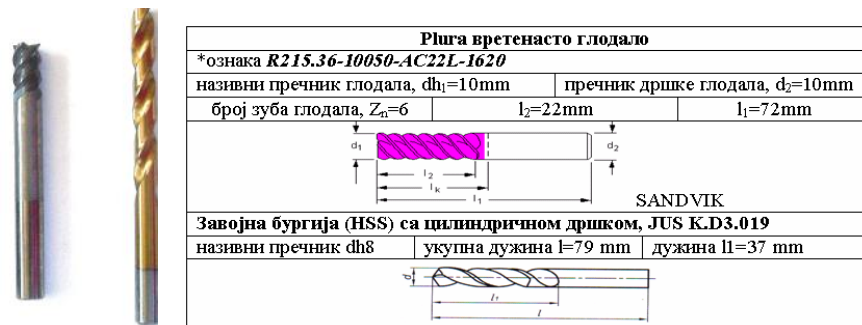
дужина хода X осе	762 mm
дужина хода Y осе	305 mm
дужина хода Z осе	406 mm
максимална снага главног вретена	5.6 kW
максимални број обрта главног вретена	4.000 o/min
димензије радног стола LxH [mm]	1213 x 268
габаритне мере машине LxBxH [mm]	2146 x 1626 x 2767

Slika 1. Izgled mašine (CNC glodalica) i njeni tehničko-tehnološki podaci

Prikazi savremenih reznih alata koji su korišćeni u tehnološkim operacijama, kao i njihove osnovne karakteristike, predstavljeni su slikama 2 i 3.



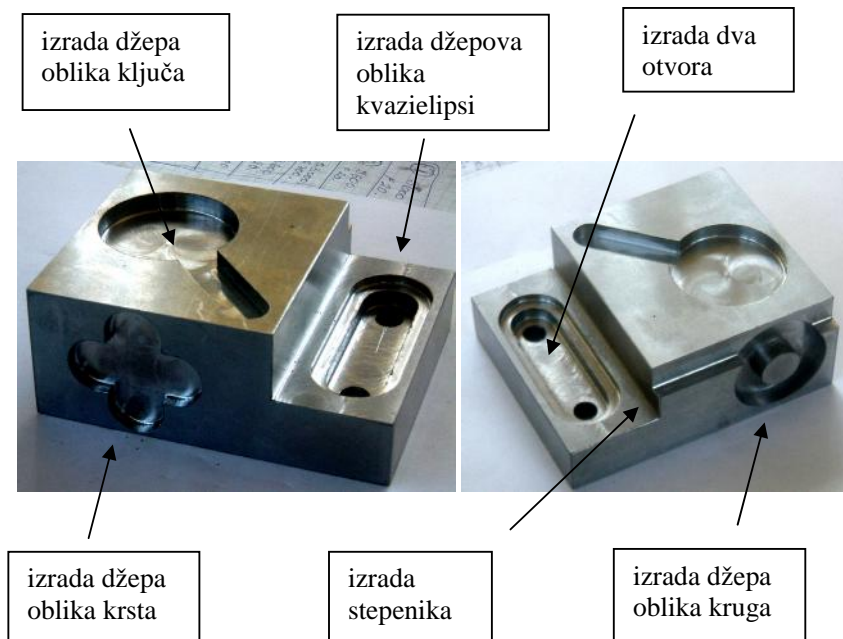
Slika 2. Izgled vretenastih glodala sa pločicama od tvrdog metala



Slika 3. Izgled vretenastog Plura glodala i zavojne burgije

3. PRIMER OBRADE DELA

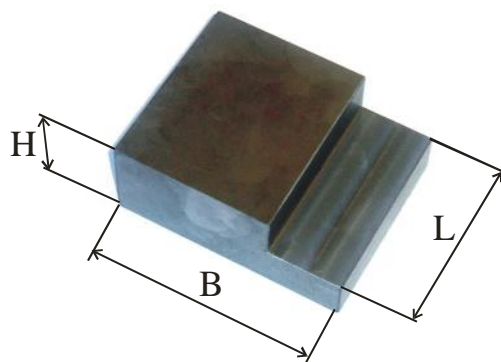
Deo („Obustep“), dat na slici 4, primenjuje se u obuci tehnologa koji programiraju „HAAS“ CNC glodalicu. Iz razloga brze izrade, postojanja dovoljnog broja različitih formi, niske cene i sl., vlasnici mašine ga u svojoj firmi smatraju edukativnim etalonom u tehnološkoj pripremi (programiranju) mašine.



Slika 4. Izgled gotovog dela („Obustep“)

4. TEHNOLOGIJA OBRADE DELA

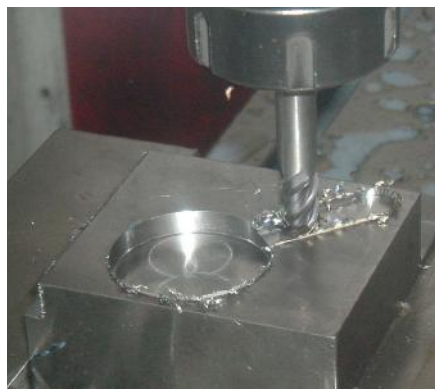
Deo sa slike 4, radi se na navedenoj mašini od pripremk (sl. 5), iz jedne operacije koju čine sedam zahvata. Tehnološki parametri obrade za karakteristična četiri zahvata dati su u tabeli 1, prema [3], a njihov izgled dat je na slici 6.



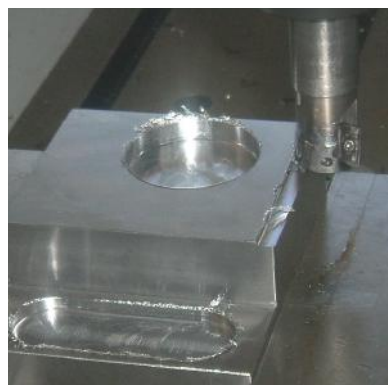
Slika 5. Pripremak (materijal: Č.0000, dimenzije: $B \times L \times H = 100 \times 80 \times 40$)

Tabela 1. Spisak karakterističnih zahvata sa odgovarajućim baznim elementima procesa rezanja

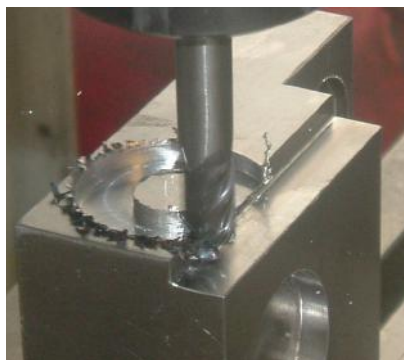
naziv zahvata	brzina pomoćnog kretanja V_s [mm/min]	brzina rezanja V [m/min]	glavno vreme rezanja t_g [min]	slike datog zahvata
čiono glodanje džepa oblika ključa na dubinu 6mm	800	125.7	1	6.a
čiono glodanje stepenika dubine 10mm	500	125.7	2.75	6.b
čiono glodanje džepa oblika kruga na dubinu 7mm	600	125.7	1.37	6.c
čiono glodanje džepa oblika krsta na dubinu 4mm	405	201	1.03	6.d



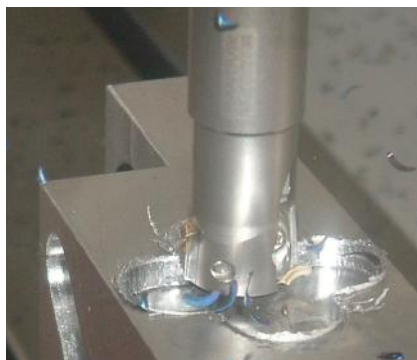
Slika 6. a



Slika 6. b



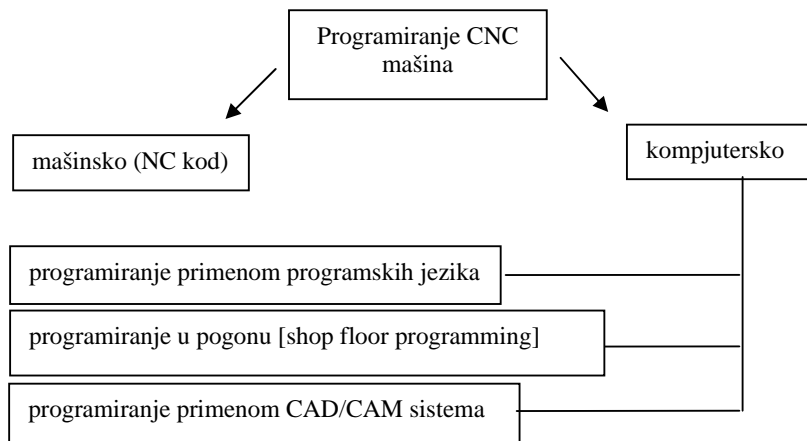
Slika 6. c



Slika 6. d

5. PROGRAMIRANJE PROCESA OBRADE U NC KODU

Uopšteno, programiranje mašina u zavisnosti od stepena automatizacije, može biti ručno (pisanje programa u NC kodu) i programiranje primenom računara (programiranje primenom programskih jezika, programiranje u pogonu [shop floor programming] i programiranje primenom CAD/CAM sistema), kao što je dato na slici 7, [1, 5].



Slika 7. Vrste programiranja CNC mašina

U okviru ovog rada dat je primer izrade programa u ISO-kodu za karakterističan zahvat izrade džepa oblika krsta (slika 6 d). U tabeli 1, dati su osnovni podaci za ovaj zahvat.

%	N85 G00 X30. Y-20.	N170 G01 Z-2. F405.
O00057 (program izrade)	N90 G01 Z-1. F405.	N175 G01 X41. Y-20.
N10 G40 G49 T1 M06	N95 G01 X19. Y-20.	N180 G00 X30. Y-20.
N15 G 129	N100 G00 X30. Y-20.	N185 G01 Z-3. F405.
N20 S4000 M03	N105 G01 Z-2. F405.	N190 G01 X41. Y-20.
N25 G00 X30. Y-9.	N110 G01 X19. Y-20.	N195 G00 X30. Y-20.
N30 G00 Z5.	N115 G00 X30. Y-20.	N200 G01 Z-4. F405.
N35 G01 Z0.5 F405.	N120 G01 Z-3. F405.	N205 G01 X41. Y-20.
N40 G01 X30. Y-31. Z-1.	N125 G01 X19. Y-20.	N210 G00 Z5.
N45 G01 X30. Y-9.	N130 G00 X30. Y-20.	N215 G00 X30. Y-20.
N50 G01 X30. Y-31. Z-2.	N135 G01 Z-4. F405.	N220 G00 Z100.
N55 G01 X30. Y-9.	N140 G01 X19. Y-2.0	N225 M05
N60 G01 X30. Y-31. Z-3.	N145 G00 Z5.	N230 G28
N65 G01 X30. Y-9.	N150 G00 X30. Y-20.	N235 M30
N70 G01 X30. Y-31. Z-4.	N155 G01 Z-1. F405.	%
N75 G01 X30. Y-9.	N160 G01 X41. Y-20.	
N80 G00 Z5.	N165 G00 X30. Y-20.	

6. UMEMSTO ZAKLJUČKA

Obzirom na još uvek nedovršenu transformaciju vlasništva firmi metaloprerađivačke industrije u Srbiji, usporen je transfer novih tehnologija u proizvodne procese. Ovim radom, dat je primer osvajanja tehnologije izrade primenom osnovnog načina programiranja (NC-kod). Danas je sve više u upotrebi programiranje primenom CAD/CAM sistema. Niz je softvera koji su namenjeni generisanju putanje alata (ISO-kod), [2, 4]. Neki od njih su: CATIA V5, PROE, MASTERCAM, LVD CADMAN, TopSolid i sl. Bilo da je reč o programiranju primenom računara ili ručnom programiranju, cilj je isti, generisati putanju alata. Da li se radi o alatima za obradu metala rezanjem, plastičnim deformisanjem ili nekom nekonvencionalnom (egzotičnom) metodom, to jednu metodu čini samo različitom od druge. Priroda programa ostaje neizmenjena, pri čemu se programi međusobno mogu razlikovati.

LITERATURA

- [1] *Slavković, R.*, Programsko upravljanje mašinama alatkama, Sistemi i tehnike, Tehnički fakultet, Čačak (2004).
- [2] *Bojanić, P., Puzović R.*, Proizvodni sistemi, Mašinski fakultet, Beograd (2002).
- [3] *Kalajdžić, M.*, Tehnologija mašinogradnje, Mašinski fakultet, Beograd (1998).
- [4] *Chang, T-C., Wysk, R. A., Wang, H-P.*, Computer Aided Manufacturing, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New, Jersey (1991).
- [5] *Haigh, M.*, An Introduction to Computer Aided Design and Manufacture, Blackwell Scientific Publication, Oxford (1985).



AUTOMATIZACIJA PROJEKTOVANJA TEHNOLOŠKIH PROCESA IZRADE TIPSkih DELOVA ALATA ZA BRIZGANJE PLASTIKE

Lukić Dejan ¹⁾, Velimir Todić ²⁾, Miodrag Milošević ³⁾

Rezime: *S obzirom da troškovi i vreme proizvodnje alata za brizganje plastike u velikoj meri utiču na cenu proizvoda od plastike i vreme njegovog plasmana na tržište, potrebno je proces proizvodnje alata učiniti što efikasnijim i racionalnijim.*

U radu će se prikazati deo sistema za automatizovano projektovanje tehnoloških procesa izrade delova alata za brizganje plastike, koji se odnosi na izradu tipskih pločastih delova alata.

Ključne reči: *alati za brizganje plastike, automatizacija projektovanja tehnoloških procesa*

AUTOMATION OF PROCESS PLANNING FOR MANUFACTURING OF TYPE PARTS FOR PLASTIC INJECTION MOLDS

Abstract: *Regarding that cost and time of plastic injection molds' production are of great influence on plastic products' prices as well as on time needed for its release on market, it is necessary to make mold production process more effective and rational.*

Within this paper, part of the developed system for automated process planning for a plastic injection molds' manufacturing has been shown. Presented part of the system is focused on manufacturing of type plate parts.

Key words: *plastic injection mold, automation process planning*

1. UVOD

Savremena proizvodnja uslovljena je zahtevima tržišta za sve većim brojem različitih vrsta proizvoda. Među proizvodima sa najvećom potražnjom ubrajaju se i proizvodi od plastike. U tabeli 1., predstavljena je primena pojedinih tehnologija izrade proizvoda od plastike s obzirom na cenu opreme, proizvodnost, cenu alata i obim proizvodnje. Brizganje ili injekciono presovanje pored ekstrudiranja predstavlja jedan od najzastupljenijih postupaka ili tehnologija izrade proizvoda od plastike. Kao što se vidi u tabeli 1. ova tehnologija zahteva primenu veoma skupe proizvodne opreme i alata za izradu proizvoda od plastike, zbog čega se uglavnom koristi u serijskoj proizvodnji.

¹⁾ Lukić Dejan, Fakultet tehničkih nauka, IPM, Novi Sad, lukicd@uns.ns.ac.yu

²⁾ Velimir Todić, Fakultet tehničkih nauka, IPM, Novi Sad, todvel@uns.ns.ac.yu

³⁾ Miodrag Milošević, Fakultet tehničkih nauka, IPM, Novi Sad, mido@uns.ns.ac.yu

Da bi proizvodnja plastičnih proizvoda brizganjem bila što rentabilnija, celokupan proizvodni proces izrade alata mora biti efikasan i racionalan.

Tabela 1. Poređenje pojedinih tehnologija izrade proizvoda od plastike [1]

Tehnologija izrade proizvoda od plastike	Cena opreme	Proizvodnost	Cena alata	Optimalna količina proizvodnje proizvoda od plastike (kom)							
				10	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	
Termoformir.	Niska	Niska	Niska								
Duvanje	Srednja	Srednja	Srednja								
Brizganje	Visoka	Visoka	Visoka								
Rotac. livenje	Niska	Niska	Niska								
Ekstrudiranje	Srednja	Visoka	Niska	Kontinualan proces							
Presovanje	Visoka	Srednja	Visoka								
Maš. obrada	Srednja	Srednja	Niska								

2. STANDARDIZACIJA ALATA ZA BRIZGANJE PLASTIKE

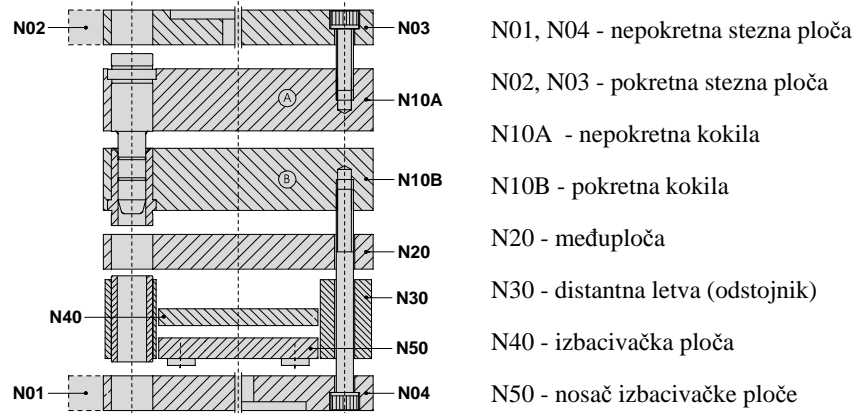
Iako troškovi izrade alata mogu imati veliki udeo u ukupnim troškovima proizvodnje plastičnih proizvoda, početak serijske proizvodnje najviše zavisi od vremena izrade i isporuke gotovog alata. Pravovremeni izlazak proizvoda na tržište značajno utiče na sniženje ukupnih troškova, pre svega zbog izlaska na tržište proizvoda pre konkurencije, čime se omogućuje stvaranje cene proizvoda, brži povratak sredstava, duži životni vek proizvoda i na kraju veća dobit.

Polazeći od prethodno navedenih zahteva kao i od činjenice da su alati za proizvodnju proizvoda od plastike veoma skupi, dovela je do ideje da se izvrši njihova standardizacija i prelazak njihove izrade sa pojedinačne na serijsku proizvodnju. Praktično, većina delova, odnosno pozicija alata za brizganje plastike se može standardizovati, odnosno tipizirati, osim delova koji neposredno zavise od oblika otpreska, kao što su kalupne šupljine, otvori za temperiranje, itd.

Prve pisane norme sistematizacije kalupa za injekciono presovanje polimera potiču iz 1942. godine (SAD, Detroit), a u Evropi iz 1959. godine (Wuppertal, Nemačka) kada je firma Norma predstavila ceo asortiman standardnih delova kućišta kalupa [5]. Godine 1960, Rolf Hasenclever alatničar iz Lüdenscheida (Nemačka) razvija metodu izrade delova kalupa po sistemu dograđenih jedinica i započinje prvu serijsku proizvodnju delova kalupa na principu modularnosti. Ova mala alatnica prerasla je u jednog od najvećih proizvođača standardnih delova alata i danas nosi ime HASCO. Usled velike potražnje proizvoda od plastike, a samim tim i alata za njihovu proizvodnju injekcionim presovanjem, veliki broj proizvodnih sistema poput D-M-E, HASCO, KERN, Misumi, i drugih, specijalizovao se za izradu standardizovanih alata, odnosno pojedinih tipskih delova alata.

Smatra se da zbog brzine, kvaliteta i troškova izrade alata nema opravdanja da svaka alatnica proizvodi standardne delove alata. Međutim, standardni delovi alata navedenih svetskih proizvođača imaju relativno visoku cenu u našim uslovima privređivanja. Usled toga mnoge alatnice koje imaju ustaljenu proizvodnju, uvode svoju internu standardizaciju delova alata na bazi poznatih standarda svetskih proizvođača, prvo zbog lake zamene delova koji se eksploataciji često zamenjuju a zatim i samostalne izrade kompletnih alata. Ovo predstavlja racionalan put za alatnice koje slede serijsku proizvodnju određenih alata za brizganje plastike [2].

U ovom radu posmatraće se delovi alata interne standardizacije koja je bazirana na D-M-E standardu. Posebna pažnja će se posvetiti delovima normalnog kućišta alata, odnosno sastavnim pločastim delovima alata (slika 1.).



Slika 1. Standardno normalno kućište alata za brizganje proizvoda od plastike sa oznakama pločastih delova

3. MODEL SISTEMA ZA AUTOMATIZOVANO PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA

Zbog raznovrsnosti proizvoda i nemogućnosti razvoja univerzalnog programskog sistema koji bi bio efikasan u projektovanju i planiranju velikog broja aktivnosti koji čine tehnološki proces, najčešće se pristupa razvoju specijalizovanih sistema za automatizovano projektovanje tehnoloških procesa izrade proizvoda, primenom odgovarajućih programskih sistema opšte i specijalne namene. Savremeni programski sistemi za automatizaciju projektovanja tehnoloških procesa izrade proizvoda zasnivaju se na integraciji CAD/CAPP/CAM sistema.

Kao polazna osnova za razvoj sistema za automatizovano projektovanje tehnoloških procesa izrade alata za brizganje plastike, predložen je model sistema, koji obuhvata sledeće faze ili podsisteme, prema slici 2:

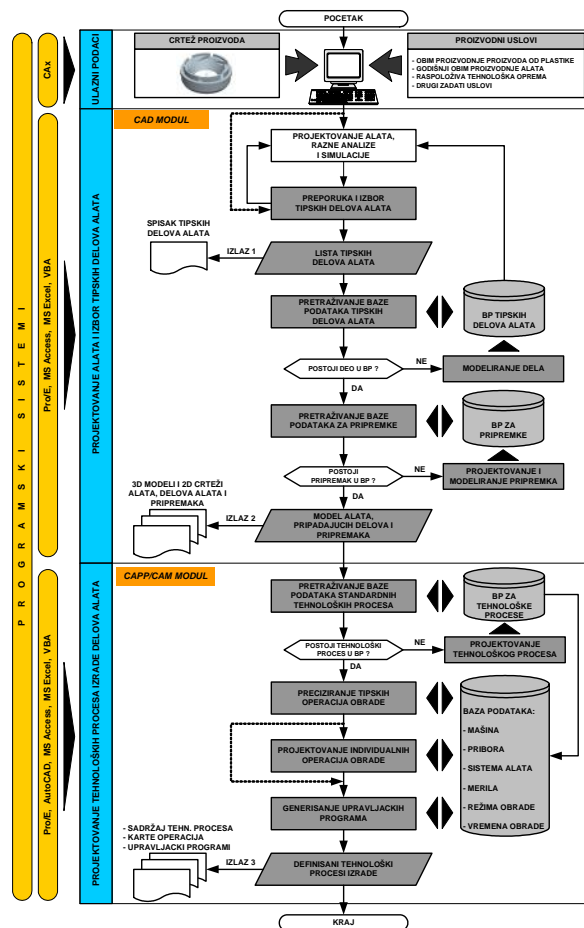
- Ulazni podaci,
- Projektovanje alata za brizganje plastike i izbor tipskih delova alata i
- Projektovanje tehnoloških procesa izrade delova alata.

Specijalizovano programsko rešenje koje će se razviti prema postavljenom modelu imaće za cilj:

1. projektovanje i izbor delova alata, odnosno
 - izbor tipskih delova alata
 - izbor vrste i materijala priprema
 - modeliranje alata, sastavnih delova i priprema
2. projektovanje tehnoloških procesa izrade:
 - tipskih delova alata (isprekidana linija)
 - finalnih delova alata

Ovo programsko rešenje će se realizovati primenom grupe programskih sistema opšte namene, od kojih su osnovni Pro/E, MS Access, VBA, koji se primenjuju u pojedinim fazama razvoja sistema.

U ovom radu orijentisaćemo se na deo sistema koji se odnosi na automatizaciju izbora i projektovanja tehnoloških procesa izrade tipskih pločastih delova alata.



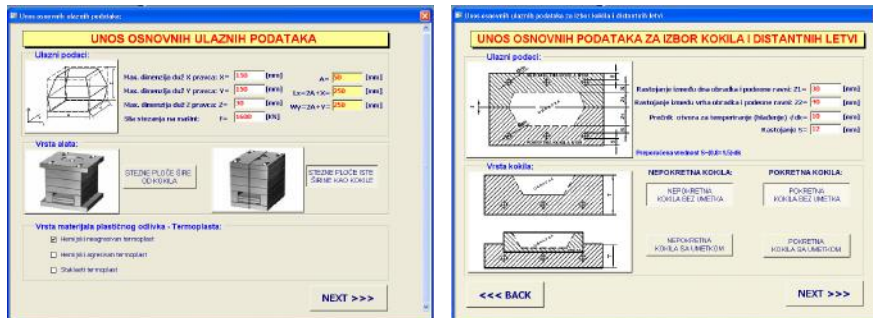
Slika 2. Osnovna algoritamska struktura sistema za atomizovano projektovanje tehnoloških procesa izrade alata za brizganje plastike [4]

4. AUTOMATIZACIJA IZBORA I PROJEKTOVANJA TEHNOLOŠKIH PROCESA IZRADE TIPSKIH DELOVA ALATA

Na osnovu ulaznih geometrijskih podataka proizvoda od plastike, odnosno osnovnih gabaritnih dimenzija i određenih proizvodnih uslova, poput sile stezanja na mašini, željenog oblika alata (pravougaoni ili kružni oblik), veličine radnog prostora mašine, itd. u CAD modulu se vrši preporučeni izbor tipskih delova kućišta alata, sa odgovarajućim pripadajućim oznakama. Tako na primer, kod izbora kokila potrebno je uneti i dodatne podatke, poput prečnika kanala za temperiranje (za slučaj da se nalaze na kokilama), dubine (visine) gravure kokila, podatak da li kokila ima umetak, itd.

Postojanost alata kao jedna od osnovnih mera kvaliteta alata u najvećoj meri zavisi od izbora kvalitetnih materijala određenih sastavnih delova. Zbog toga se pri izboru tipskih delova alata vrši i preporučeni izbor adekvatnih materijala od kojih se pojedini delovi izrađuju. U sistem su ugrađena određena znanja i pravila pomoću kojih se vrši preporučeni izbor optimalnog materijala za delove alata. Osnovni potrebni podaci su vrsta materijala termoplasta i oznaka tipskog dela za koji se želi definisati materijal. Na slici 3. prikazan je primer definisanja ulaznih parametara pomoću namenski razvijenog korisničkog interfejsa u okviru predstavljenog sistema.

Kao prvi izlaz iz ovog dela sistema dobija se spisak ili pregled izabranih tipskih delova alata sa adekvatnom oznakom (slika 4).



Slika 3. Primer definisanja ulaznih parametara

Nakon izbora tipskih delova alata vrši se automatizovani izbor odgovarajućih priprema. Za izradu pločastih delova alata uglavnom se koriste čelične ploče ili šipke pravougaonog i okruglog profila. Kao drugi izlaz iz ovog podsistema mogu se dobiti 3D modeli i 2D crteži alata, odgovarajućih delova i priprema, koji ujedno predstavljaju ulazne podatke u modul za automatizovano projektovanje tehnoloških procesa izrade delova alata.

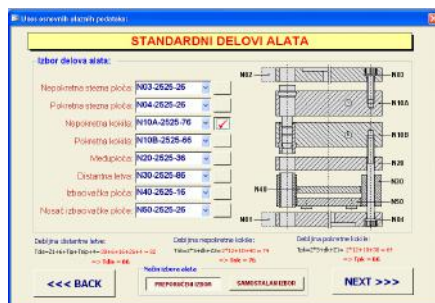
U drugom modulu vrši se automatizovano projektovanje tehnoloških procesa izrade delova alata za brizganje plastike, kao i generisanje NC programa za operacije obrade koje se realizuju na NC obradnim sistemima.

Organizovanje i upravljanje ogromnom količinom podataka u okviru sistema zahteva razvoj odgovarajuće baze podataka koja je u ovom slučaju zasnovana na relacionom principu i predstavlja jedan od ključnih elemenata specijalizovanog rešenja. U okviru ove integrisane baze podataka imamo bazu podataka za standardne tehnološke procese, kao i baze podataka za mašine, pribore, sistem reznih alata, merila, itd.

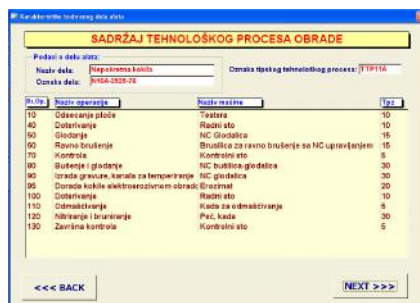
Baza znanja koja se koristi u okviru ovog sistema sastoji se od produkcionih pravila i činjenica za automatizovan izbor tehnološkog procesa kao i za njegovo potpuno definisanje, odnosno definisanje operacija u okviru procesa. Bazu znanja za tehnološke procese čine: tipski tehnološki procesi i pravila za njihovo prepoznavanje, operacije obrade i pravila za njihovo prepoznavanje, tipski tehnološki oblici i pravila za njihovo prepoznavanje, zahvati obrade i pravila za njihovo prepoznavanje, kao i pravila za izbor proizvodne opreme i parametara obrade.

Savremeni CAD/CAM sistemi, pa tako i Pro/E imaju ugrađenu asocijativnost između CAD i CAM modula, gde su određeni parametri tipski oblici (feature) povezani sa generisanom putanjom alata, čime se značajno utiče na automatizaciju projektovanja operacija obrade koji se realizuju na NC AFTS.

Na bazi ulaznih podataka, kroz interakciju sa korisnikom uz pomoć pravila definisanih u bazi znanja za tehnološke procese, dobija se sadržaj tehnološkog procesa izrade za konkretan deo iz baze podataka standardnih tehnoloških procesa (slika 5). U narednom koraku primene specijalizovanog sistema sledi preciziranje operacija obrade tehnološkog procesa i izrada upravljačkih programa.



Slika 4. Spisak izabranih tipskih delova alata



Slika 5. Sadržaja tehnološkog procesa izrade izabrane nepokretne kokile

5. ZAKLJUČAK

Razvoj programskog rešenja na bazi predstavljenog modela sistema ima za cilj da obezbedi racionalizaciju i unapređenje sistema tehničke pripreme proizvodnje u okviru proizvodnog sistema čija je delatnost izrada alata za brizganje plastike. U radu je dat prikaz razvoja dela sistema koji se odnosi na automatizaciju projektovanja tehnoloških procesa izrade tipskih pločastih delova alata za brizganje plastike.

LITERATURA

- [1] *Brown R.L.E.*: Design and Manufacture of Plastic Parts, John Wiley & Sons, Inc., 1980.
- [2] *Nađ, M.*: Polimerni materijali–plastomeri i elastomeri, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1991.
- [3] *Todić, V., Milošević, M., Lukić, D.*: Model of CAD/CAPP/CAM Programme Solution for Certain Parts of Piston-cylinder Assemblies of IC Engines, Intelligent Machines and Factories, Machine Engineering, Vol. 5 No.1-2, Poljska, 2005.
- [4] *Lukić, D., Todić, V., Milošević, M.*: Model sistema za automatizovano projektovanje tehnoloških procesa izrade alata za brizganje plastike, IX Međunarodna konferencija MMA 2006 Fleksibilne tehnologije, FTN, IPM, Novi Sad, 2006., pp.107-108
- [5] *Godec, D.*: Doprinos sustavnom razvoju kalupa za injekciono prešanje plastomera, magistarski rad, Zagreb, 2000.

Napomena: Rad predstavlja deo istraživanja na projektu "Razvoj i izrada proizvoda na principima reverzibilnog inženjerstva". Projekat je od značaja za razvoj nauke i tehnološkog razvoja AP Vojvodine u 2005.-2006. godini. Broj predmeta pod kojim se vodi u Sekretarijatu 114-451-00640/2005-01.



SOFTVER ZA AUTOMATSKO PROJEKTOVANJE FAZA OBLIKOVANJA PRIPREMKA U PROCESU TOPLOG VALJANJA PRSTENA SLOŽENOG PRESEKA

I. Trbojević¹⁾, O. Lužanin²⁾, M. Milutinović³⁾

Rezime: U radu se daje prikaz softvera za automatsko projektovanje faza oblikovanja priprema u procesu toplog radijalnog valjanje prstena složenog preseka, na primeru spoljašnjeg prstena valjkastog kotrljajnog ležaja. Za izradu pripremnog prstena predviđen je proces toplog kovanja, iz polaznog materijala u obliku šipke.

Ključne reči: prsten, valjanje, priprema, kovanje, softver.

PROCESS PLANNING SOFTWARE FOR HOT RING ROLLING WITH VARIABLE CROSS SECTION

Abstract: This paper reviews the software for automated process planning of billet forming for hot radial rolling of rings with complex geometry. As an example, the outer ring of a barrel roller bearing was used. Billet ring was manufactured by hot forging from a rod-shaped blank.

Key words: ring rolling, billet, forging, software.

1. UVOD

U radu [1] detaljno je razrađena metodologija definisanja faza oblikovanja priprema u procesu toplog radijalnog valjanje prstena složenog preseka, na primeru spoljašnjeg prstena valjkastog kotrljajnog ležaja. Postupak je dat uopšteno i može se primeniti za bilo koji drugačiji složeni presek prstena. Izrada pripremnog prstena vrši se toplim kovanjem iz šipkastog polaznog materijala, posle čega se u ovoj varijanti bez dodatnog zagrevanja nastavlja proces valjanja. Postavljena metodologija poslužila je kao osnova za izradu odgovarajućeg softvera koji omogućuje automatsko projektovanje faza izrade prstenastog priprema, što je upravo tema ovog rada.

Faze oblikovanja pripremnog prstena prikazane su na slici 2[1], i to su: I - odsecanje priprema za kovanje (i zagrevanje), II - slobodno sabijanje, III - suprotnosmerni istiskivanje (kovanje), IV - odstranjivanje pločice probijanjem.

Dimenzije pripremnog prstena za valjanje D_p, d_p, H_p , određuju se u zavisnosti od konačnih mera izvaljanog prstena $D_k, d_k, H_k, d_{1k}, h_k$, (slika 4 [1]) i koeficijenta smanjenja preseka K_v , uz uslov da se visina prstena tokom valjanja ne menja ($H_p=H_k$).

¹⁾ Ilija Trbojević, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, trbojev@uns.ns.ac.yu

²⁾ Ognjan Lužanin, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, luzanin@uns.ns.ac.yu

³⁾ Mladomir Milutinović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija,

mladomil@uns.ns.ac.yu

Dimenzije početnog priprema za kovanje D_o , H_o , određuju se na osnovu zapremine otkovka, koeficijenta povećanja zapremine zbog sagorevanja površinskog sloja (κ) i dozvoljenog odnosa H_o/D_o kod slobodnog sabijanja.

2. SOFTVER ZA AUTOMATSKO PROJEKTOVANJE FAZA OBLIKOVANJA PRIPREMKA

Na bazi postupka izračunavanja prikazanog u radu [1] napravljen je odgovarajući računarski program za automatsko određivanje dimenzija priprema, pomoću kog se istovremeno određuju dimenzije priprema za valjanje i priprema za prethodno kovanje. Program je vrlo jednostavan za korišćenje, zasniva se na tabelarnom prikazu ulaznih podataka i rezultata proračuna, sa odgovarajućim skicama.

2.1 Dimenzije prstena posle valjanja

Startovanjem programa otvara se prva tabela (slika 1) na kojoj se sa leve strane nalaze polja za upis strugarskih mera prstena (D , d , H , d_1 , h), zatim koeficijenta redukcije preseka prstena pri valjanju (K_v) i za biranje koeficijenta povećanja zapremine zbog sagorevanja površinskog sloja (κ), a sa desne polja za automatsko određivanje dodataka za obradu (ΔD , Δd , ΔH , Δh , Δd_1), prema podacima iz tabele 1 [2], koja je smeštena u bazu podataka.

GEOMETRIJA PRSTENA

Polazni podaci o ležaju (strug.mere)

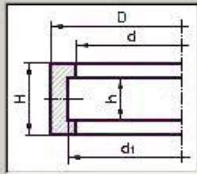
$D =$ mm

$d =$ mm

$H =$ mm

$h =$ mm

$d_1 =$ mm



Koeficijent valjanja
 $K_v =$

Način zagrevanja priprema:
 $\kappa =$

Dodaci za obradu valjanjem

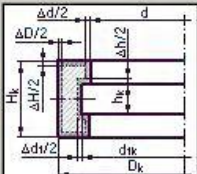
$\Delta D =$ mm

$\Delta d =$ mm

$\Delta H =$ mm

$\Delta h =$ mm

$\Delta d_1 =$ mm



Napomena:
Uneti polazne podatke o gotovom prstenu.
Jedinice uneti u milimetrima.

Slika 1. Definisiranje konačnih mera prstena posle valjanja

Pritiskom na srednje dugme izvršava se određivanje potrebnih dodataka za obradu, čime se definišu i dimenzije prstena posle valjanja.

U datoj tabeli upisane su, radi prikaza primera proračuna, odgovarajuće vrednosti dimenzija za jedan konkretan prsten.

Program omogućuje da se, umesto automatskog određivanja dodataka za obradu, oni mogu uneti i direktno od strane korisnika za slučaj da proizvođač opreme preporučuje drugačije vrednosti. Isto važi i za koeficijent valjanja K_v (tabela 2 [2]) i koeficijent povećanja zapremine κ [1], čije vrednosti treba uzeti kao orijentacione.

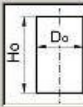
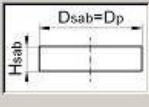
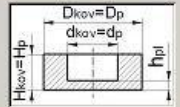

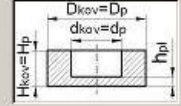
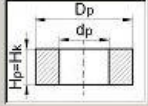
2.2 Dimenzije priprema za valjanje i priprema za kovanje

Nakon definisanja dimenzija prstena na kraju valjanja, pritiskom na desnu strelicu prelazi se na drugu tabelu (slika 2), u kojoj su prikazane sve tri faze izrade pripremnog prstena za valjanje i to:

- slobodno sabijanje,
- istiskivanje (kovanje u kalupu),
- probijanje pločice.

Sve faze obrade izvode se sa jednim zagrevanjem, uključujući i dalju obradu valjanjem. Za svaku fazu date su skice pripremnog i završnog oblika sa poljima za automatsko ispisivanje odgovarajućih dimenzija.

PRORAČUN GEOMETRIJE PRIPREMKA ZA ...

slobodno sabijanje	kovanje u kalupu	probijanje pločice
		
		
<p>Do min < Do > Do max</p> <p>Do = <input type="text" value="80"/></p> <p>Ho = <input type="text" value="132.000"/></p> <p>C_H = <input type="text" value="1.65"/></p> <p>Napomena: Za Do usvojiti stand. prečnik šipke</p>	<p>Dsab = <input type="text" value="156.778"/></p> <p>Hsab = <input type="text" value="34.534"/></p>	<p>Dkov = <input type="text" value="156.778"/></p> <p>dkov = <input type="text" value="113.010"/></p> <p>Hkov = <input type="text" value="57.000"/></p> <p>hpl = <input type="text" value="13.301"/></p>

Slika 2. Izračunavanje dimenzija obratka u pripremnim operacijama

Pritiskom na srednje dugme automatski se trenutno izračunavaju i ispisuju sve potrebne vrednosti dimenzija za primer iz prve tabele.

Za prvu fazu (sabijanje) definiše se prečnik i visina pripremnog valjka (D_o , H_o).

Za drugu fazu (istiskivanje - kovanje u kalupu) definiše se prečnik i visina sabijenog valjka pre istiskivanja ($D_{sab}=D_p, H_{sab}$).

Za treću fazu (probijanje pločice) definiše se debljina pločice za probijanje (h_{pl}), spoljašnji i unutrašnji prečnik, kao i visina prstena dobijenog kovanjem ($D_{kov}, d_{kov}, H_{kov}$). Ove mere predstavljaju tražene dimenzije pripremnog prstena za valjanje ($D_{kov}=D_p, d_{kov}=d_p, H_{kov}=H_p$).

Glavni rezultat proračuna predstavljaju dimenzije pripremnog prstena za valjanje (D_p, d_p, H_p) i dimenzije polaznog pripremk za obradu kovanjem (D_o, H_o).

Za slučaj da u skladištu nema šipke koja odgovara izračunatom prečniku D_o , program omogućuje da se iz padajuće liste sa raspoloživim standardnim prečnicima izabere drugi prečnik, pri čemu se automatski izračunava nova visina pripremk, dok ostale dimenzije ostaju iste. Po biranju novog prečnika iz padajuće liste standardnih vrednosti, proveravaju se tehnološki dozvoljene granice ($D_{omin} < D_o < D_{omax}$) koje zavise od dozvoljenog odnosa visine i prečnika pri slobodnom sabijanju C_H [1]. Vrednost C_H se takođe bira iz padajuće liste.

3. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan softver koji omogućuje automatsko projektovanje faza oblikovanja pripremk za radijalno valjanje prstena složenog preseka, sa svim potrebnim dimenzijama, na primeru spoljašnjeg prstena valjkastog kotrljajnog ležaja. Program je podešen za jednostavnu primenu u praksi, omogućuje variranje polaznih dimenzija i prilagođavanje odgovarajućim standardnim merama, čime se značajno može unaprediti postupak definisanja optimalnih količina pripremnog materijala u skladištu fabrike.

Sve izračunate dimenzije mogu da posluže i kao osnova za dimenzionisanje alata za pripreme operacije.

Rad predstavlja dobru osnovu za nastavak istraživanja u ovoj oblasti u cilju primene ove metodologije na prstenove brojnih drugih složenih profila.

Program se može proširiti za izračunavanje deformacionih sila koje su neophodne za pravilan izbor mašine.

Napomena

Rezultati prikazani u ovom radu deo su rezultata istraživanja na projektu "Istraživanje, razvoj i primena NEAR NET SHAPE FORMING tehnologije u proizvodnji elemenata kotrljajnih ležaja i karadna", koji finansira Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije, evid. broj TR 6333 B.

LITERATURA

- [1] *Trbojević I., Milutinović M., Lužanin O.:* Faze oblikovanja pripremk u procesu valjanja prstena složenog preseka, 31. SPM SCG, Kragujevac, septembar 2006.
- [2] *Trbojević I., Milutinović M., Vilotić D., Plančak M., Skakun P., Čupković Đ., Lužanin O.:* Definisane pripremk za izradu toplovaljanih prstenova za kotrljajne ležaje, 30. SPM SCG, 327 – 334, Vrnjačka Banja, septembar 2005.
- [3] *Preston, J., Preston, S., Ferret, R.:* Learn Access 2002 Comprehensive, Prentice Hall, ISBN 0-13-009723-3, 2003



UVODNI REFERAT

CUTTING CHARACTERISTICS OF PVD AND CVD-COATED CERAMIC TOOL INSERTS

M. Sokovic ¹⁾, J. Kopac ¹⁾, L.A. Dobrzanski ²⁾, J. Mikula ²⁾,
K. Golombek ²⁾, D. Pakula ²⁾

Abstract: *The paper presents investigation results of cutting characteristics of the modern sintered ceramic tool inserts coated with PVD and CVD coatings. It was demonstrated, basing on the technological cutting tests, that putting down onto the ceramic tool inserts the thin wear-resistant coatings increases their abrasion wear resistance, which has a direct effect on extending the tool life. Basing on the roughness parameter R_a of the machined cast iron surface after the cutting tests, improvement was revealed of the machined material properties, cut with coated ceramic inserts compared to material machined with the uncoated ones.*

Key words: *Ceramic inserts, PVD, CVD, Multi-layer coatings, Tool wear*

1. INTRODUCTION

The main goal of the research of the wear mechanisms of cutting tools is determining the effect of various conditions and machining parameters in life and reliability of tool service. Identifying and evaluating the influence of the possibly big number of factors determining tool life makes development of more and more accurate models of cutting tools wear possible. Analysis of these models facilitates solving problems of the contemporary machining technology connected with the continuous life extension of the highly efficient cutting tools made with the powder technology, making high speed cutting possible. Solving this problem makes machining productivity and quality improvement possible with its simultaneous energy - and material consumption reduction [1-11].

The causes of the cutting tools wear are as follows: mutual interactions - mechanical, thermal, and molecular of the edge with the machined material and formed chip, occurring in the contact zone. Several cutting tools wear have been developed, taking into account the qualitative and quantitative effects of their causes. Wear of the cutting tools takes place in the complex conditions caused, among others, by the mutual interactions of the mechanical- and fatigue wear, and plastic strain, as well as phenomena connected with the adhesion, thermal-, and diffusion wear and oxidation [4-11].

¹⁾ University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering, Askerceva 6, SI - 1000 Ljubljana, Slovenia, mirko.sokovic@fs.uni-lj.si

²⁾ Silesian University of Technology, Institute of Engineering Materials and Biomaterials, 44-100 Gliwice, Konarskiego 18A, Poland

The rapid development of the PVD technology connected with the widespread use of the high-melting compounds of carbon, nitrogen, and boron, especially with the transition metals for depositing the thin, hard, anti-wear coatings is one of the most important tool wear limiting methods. Limiting the wear rate and extending the life, low thermal conductivity coefficient, resistance to high temperature and in many cases limiting the oxidation and corrosion processes decide mostly use of coatings obtained in the PVD process for coating tool materials [4-11].

The possibilities of constituting the coatings resulting from the mutual interactions among the manufacturing process, properties, and efficiency of the developed system give the possibility, by their appropriate selection, to develop coatings characteristic of the expected optimum service properties. The appropriate selection of the coating material is conditioned by limiting the thermal-, mechanical-, or corrosion wear deciding tool failure [4-14].

The goal of this work is investigation of the cutting characteristics of cermets, Si_3N_4 and Al_2O_3 based ceramics, coated with the PVD and CVD multilayer and gradient coatings and comparison them with the commercial uncoated and coated tool.

2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

Experiments were carried out on the multi-point inserts made from the Si_3N_4 nitride ceramics, $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$ oxide ceramics and cermets with the multi-layer and multi-component layers deposited in the PVD process with the (Ti,Al,Si)N type coatings, and in the CVD process with the Al_2O_3 and TiN coating combination, which were later compared with the commercial inserts (Table 1).

Table 1: Specification of the investigated cutting tool materials

Substrate	Coating			Process type	Micro hardness GPa	Critical load L_c , N (max load)
	Type	Composition	Thickness, μm			
Si_3N_4	uncoated				18.50	–
$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$					18.50	–
Cermet ¹⁾					24.50	–
Si_3N_4	gradient layer	TiN+ (Ti,Al,Si)N+TiN	2.0	PVD	23.30	22 (100)
$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$			2.0		19.20	40 (100)
Cermet ¹⁾			4.0		33.00	137 (200)
Si_3N_4	multi layer	TiN + multi (Ti,Al,Si)N +TiN	4.0	PVD	35.20	23 (100)
$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$			2.3		40.90	76 (100)
Cermet ¹⁾			4.0		33.90	121 (200)
Cermet ¹⁾			TiN+TiC+TiN ²⁾		5.0	30.00	79 (200)
Si_3N_4	two layer	TiN+ Al_2O_3	10.0	CVD	32.50	83 (100)
$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$			6.0		34.10	73 (100)
Si_3N_4			$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiN}$ ²⁾		2.6	26.25	47 (100)

¹⁾ Chemical composition (mass concentration of elements, %): C: 0,80; N: 2,00; Ti: 48,70; Ta: 13,50; Ni: 4,70; Co: 8,60; W: 21,65.
²⁾ Commercially available inserts from various manufacturers

The micro hardness tests using the Vickers method were made on the Shimadzu DUH 202 tester (load of 70 mN).

Adhesion evaluation of the coatings on the investigated inserts was made using the scratch test on the CSEM REVETEST device, by moving the diamond penetrator along the examined specimen's surface with the gradually increasing load. The tests

were made with the following parameters: load range 0-200 N, load increase rate (dL/dt) 100 N/min, penetrator's travel speed (dx/dt) 10 mm/min, acoustic emission detector's sensitivity AE 1. The critical load L_c , at which coatings' adhesion is lost, was determined basing on the registered values of the acoustic emission AE.

Cutting ability of the investigated materials was determined basing on the technological continuous cutting tests of the EN-GJL-250 grey cast iron and C45E steel. The tool wear of $VB = 0.20$ mm (for oxide ceramics, cermets) and $VB=0.30$ mm (for nitride ceramics) was used as the wear criterion of the cutting edge consumption evaluation. The following parameters were used in the machining capability experiments: feed rate $f = 0.10; 0.15; 0.20$ mm/rev; depth of cut $a_p=1; 2$ mm; cutting speed $v_c=200; 400$ m/min. Topography examinations of the worn tool surface were carried out on the JEOL SEM microscope.

3. DISCUSSION

As a result of carried out researches it was found out that the deposition of newly worked out multilayer and gradient nano-crystalline coatings by the use of PVD and CVD method causes the increase of cutting properties of tools made of cermets and $Al_2O_3+ZrO_2$ comparing to adequately uncoated tools. The increase of cutting properties indicates also tools made of Si_3N_4 with two-layer TiN+ Al_2O_3 coating, analogical to tools coated by the similar system of coatings available on the market.

The detailed analysis was carried out of the relationships between the service properties of the investigated ceramic tool inserts and their structure, as well as their mechanical properties, taking into account the physical phenomena occurring during the coating deposition process. The comparative results of the analyses carried out are presented in [1-3].

Machining tests of turning the grey cast iron with the Si_3N_4 ceramics revealed the clear wear resistance effect of the presence of the Al_2O_3+TiN and TiN+ Al_2O_3 coatings combinations on the inserts' tool life. In case of inserts with the PVD coatings based on the TiN and TiAlSiN layers no tool life extension was observed, as flank failure occurs at the same time as for the uncoated insert. This is probably, caused by a weak adhesion of these coatings to the substrate, albeit their hardness, *e.g.*, of the TiN+ multi (Ti,Al,Si)N+TiN coating, exceeds significantly hardness of other deposited coatings, table 1. On the other hand, it was noticed that among the CVD-coated inserts, the longest tool life during continuous turning corresponds to the Si_3N_4 with the TiN+ Al_2O_3 coating, for which the tool wear reaches the value of $VB=0.16$ mm after 8 min., fig. 1a.

It was found out, basing on the technological turning test of grey cast iron with the $Al_2O_3+ZrO_2$ ceramics, that the tool reaches the $VB = 0,20$ mm wear criterion after $t = 11$ min of cutting time. Time of $t = 11$ min was assumed as the comparative criterion for measurement of the tool wear for all specimens (inserts) with the $Al_2O_3+ZrO_2$ substrate. After the assumed machining test duration the smallest cutting tool wear of $VB = 0.11$ mm was revealed in case of the TiN+ Al_2O_3 coating, Figure 2a.

Depositing the wear resistance gradient and multi TiN+(Ti,Al,Si)N+TiN coatings on tool cermets results in increase of their wear resistance, which immediately causes, among others, increasing the tool life.

It was found out, basing on the turning test of C45E steel with the uncoated cermets, that the tool reaches the $VB = 0,20$ mm wear criterion after $t = 17$ min cutting time. Time of $t = 17$ min was assumed as the comparative criterion for measurement of the tool wear VB for all specimens (inserts) with the tool cermets substrate. After the assumed machining test duration the smallest cutting tool wear of $VB = 0.07$ mm was revealed in case of the TiN + multi (Ti,Al,Si)N + TiN coating (Figure 3a).

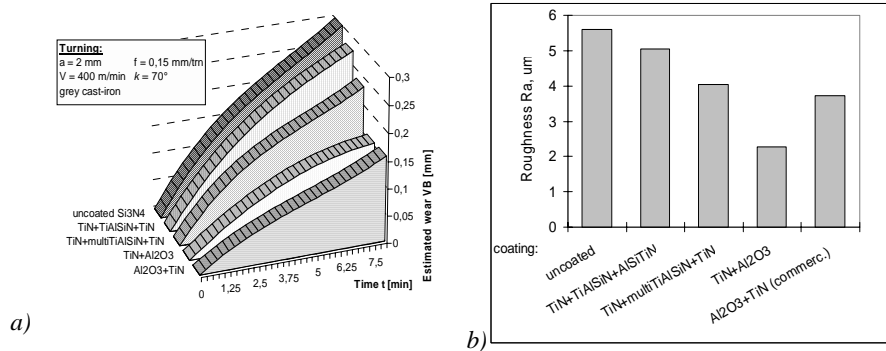


Figure 1: Comparison of the cutting characteristics of Si_3N_4 ceramics; a) tool wear VB, b) surface roughness R_a at the final machining.

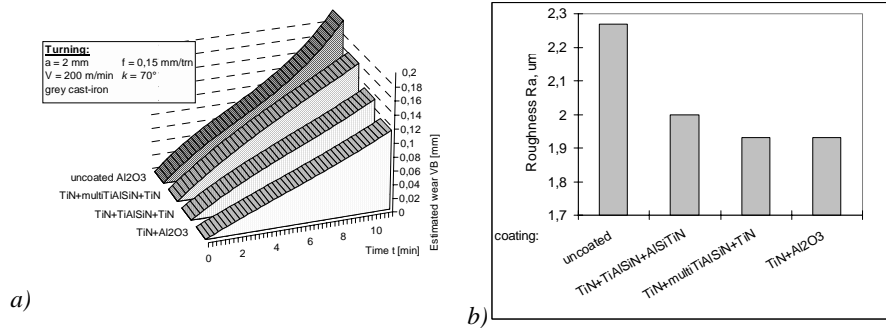


Figure 2: Comparison of the cutting characteristics of $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$ ceramics; a) tool wear VB, b) surface roughness R_a values at the final machining.

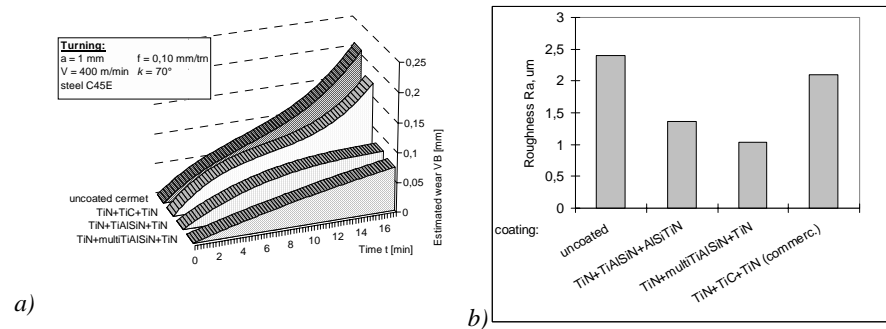


Figure 3: Comparison of the cutting characteristics of cermets; a) tool wear VB, b) surface roughness R_a at the final machining.

Therefore, the real life tests confirm the quality of the 3rd generation of the coatings: TiN + multi (Ti,Al,Si)N+TiN and TiN+gradient (Ti,Al,Si)N+TiN types obtained with the PVD technique in the cathode arc evaporation (CAE process) on the oxide and nitride ceramics and on tool cermets, as the material that significantly

decreases the abrasive wear, thermal and adhesion wear, which immediately affects, among others, extension of the tool life, compared to the uncoated tools, and those with the multiple-layer coatings deposited using the CVD or PVD methods. The desired decrease of the particular wear types (abrasive, thermal, and adhesion ones) of the cutting tools, demonstrated by extension of the tool life, by deposition of the wear resistant coatings on their working surfaces, should be connected with a high micro hardness of the coatings at the „room” temperature and at the elevated temperatures, with the low chemical affinity of cutting tool material to the machined material (mostly to iron and carbon) and with protecting the tool edge from oxidation and excessive overheating. Wear characteristics of investigated cermets and ceramics are compatible with wear models, Figure 5 [11].

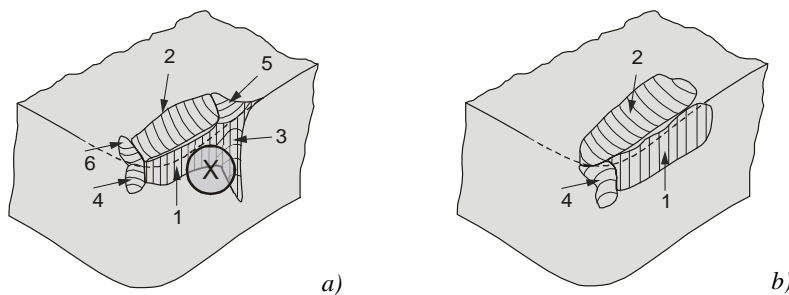


Figure 4: Tool wear models for different cutting materials: a) cermets, b) ceramics: 1 – wear of flank face, 2 – crater on rake face, 3 – notch on major flank face, 4 – notch on minor flank face, 5, 6 – notches on rake face.

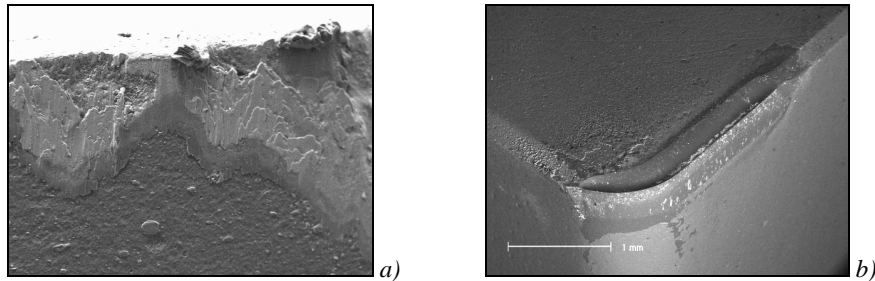


Figure 5: Characteristic wear of different cutting materials coated with TiN+TiAlSiN+TiN a) cermet (X-area from Fig. 4a), b) Si₃N₄ ceramic.

Basing on the surface roughness tests, depending on the cutting period, it was found out that depositing the PVD and CVD coatings onto the investigated substrates results in decrease of the machined material roughness and – the same – improvement of its quality, especially at the final machining process.

For cermets tools, the minimum surface roughness of $R_a = 0.92 \mu\text{m}$, at the final machining, was revealed in case of the TiN+ multi TiAlSiN+ TiN coating, Figure 1b. For nitride ceramics tools, the minimum surface roughness of $R_a = 2.3 \mu\text{m}$ obtained in case of the TiN+Al₂O₃ coating, Figure 2b. Whereas, for the oxide ceramics tools, the minimum surface roughness of $R_a = 1.5 \mu\text{m}$ obtained in case of the TiN+ multi TiAlSiN+ TiN coating, Figure 3b.

4. CONCLUSIONS

Employment of the hard anti-wear coatings deposited onto the sintered ceramic tool inserts with the physical deposition from the gaseous phase (PVD) is reckoned as one of the most important achievements in the last years in the area of improvement of the service properties of ceramic cutting tools. Depositing the anti-wear coatings of the gradient and multi TiN+ (Ti,Al,Si)N+ TiN types onto the investigated ceramic tool inserts makes it possible to achieve the clear improvement of their tool life and also of the quality of the machined surfaces, reduction of machining costs and elimination of cutting fluids used in machining. The widespread use in machining of oxide and nitride ceramics inserts, as well as of cermets with the complex nano-crystalline coatings deposited in the PVD processes contributes to the increased interest in the contemporary "Near-Net-Shape" technology, *i.e.*, manufacturing semi-products with the shape and dimensions as close as possible to those of the finished products.

ACKNOWLEDGMENTS

Research was carried out within the CEEPUS Network No PL-013/2004-05, and financed partially by the Ministry of Education, Science and Sports Republic of Slovenia, and partially within the framework of the Polish State Committee for Scientific Research Project KBN PBZ-100/4/T08/2004 headed by Prof. L.A. Dobrzański.

REFERENCES

- [1] Dobrzanski, L.A., Pakula, D.: 2005, *J. of Mater. Proc. Techn.*, 164-165.
- [2] Dobrzanski L.A, Mikula J.: *J. of Mater. Proc. Techn.*, 167, 2005, pp. 438-446.
- [3] Dobrzanski L.A., Golombek K., Kopac J., Sokovic M.: 2003, *Materials Science Forum*, 437-438, pp. 41-44.
- [4] Sokovic M., Mikula J., Dobrzanski L.A, Kopac J., Kosec L., Panjan P., Piech A.: *J. of Mater. Proc. Techn.*, 164-165, 2005, pp. 924-929.
- [5] Dobrzanski L.A., Golombek K.: *J. of Mater. Proc. Techn.*, 164-165, 2005.
- [6] Settineri L., Levi R., 2005, *Annals of the CIRP*, STC S, 54/1, pp. 515-518.
- [7] Erkens G., Cremer R., Hamoudi T., Bouzakis K.-D., Mirisidis J., Hadjiyiannis S., Skordaris G., Asimakopoulos A., Kombogiannis S., Anastopoulos J., Efstathiou K.: 2003, *Annals of the CIRP*, STC C, 52/1, pp. 65-68.
- [8] Bouzakis K.-D., Michailidis N., Skordaris G., Kombogiannis S., Hadjiyiannis S., Efstathiou K., Erkens G., Rambadt S., Wirth I.: 2002, *Annals of the CIRP*, STC C, 51/1, pp. 61-64.
- [9] Holubar P., Jilek M., Sima M., 2000, *Surf. Coat. Techn.*, 133-134, pp. 145-151.
- [10] Tse Y.Y., Babonneau D., Michel A., Abadias G.: 2004, *Surf. Coat. Techn.*, 180-181, pp. 470-477.
- [11] Ekinovic S.: Metal cutting, Faculty of Mech. Eng., Zenica, Bosnia & Herzegovina, 2001 (in Bosnian).
- [12] Kopac J.: Cutting tool wear during high-speed cutting. *J. of Mech. Eng.*, 2004, Vol. 50, No. 4, pp. 195-205.
- [13] Panjan P., Boncina I., Bevk J., Cekada M.: PVD hard coatings applied for wear protection of drawing dies. *Surf. coat. techn.*, 2005, Vol. 200, pp. 133-136.
- [14] Sokovic M., Dobrzanski L.A., Kopac J., Kosec L.: Cutting Properties of PVD and CVD Coated Al₂O₃ + TiC Tool Ceramic, *Proceedings of Int. Conf. Thermec 2006*, July 4-8, 2006, Vancouver, Canada (in Print).



RAD PO POZIVU

MODELING OF LASER-BASED DIRECT METAL DEPOSITION

S. Zeković¹⁾, R. Kovacević²⁾

Abstract: Central to the success of the metal part fabrication is how well the issues related to process complexity, time, and cost are addressed. Integrating various metal deposition methods in the framework of solid freeform fabrication (SFF) for the varying size and volume of geometrical features along with machining has demonstrated a feasible and economical solution. A number of issues related to laser-based direct metal deposition using the multi-fabrication (MultiFab) system, such as simulation of gas-powder flow, and heat transfer and evolution of residual stresses have been addressed.

Key words: solid freeform fabrication, laser metal deposition, FEA, CFD

1. Introduction

To fully realize the potential cost and time savings associated with rapid prototyping (RP) and rapid tooling (RT), the capacity to go from CAD models directly to metal components and tooling is crucial [1]. International competition related to the production of value-added, quality products continues to provide considerable motivation for the development of improved or new manufacturing processes and systems. Solid freeform fabrication (SFF) is one of the fastest growing automated manufacturing technologies that has significantly impacted the length of time between the initial concept and actual part fabrication.

A few of the RP techniques allow the fabrication of fully dense and metallurgically sound metallic parts, suitable for functional testing and application. The techniques such as direct metal deposition (DMD), laser engineered net shaping (LENSTM), and direct light fabrication (DLF) have been used to fabricate the three-dimensional parts of materials such as tool steels, high alloy steels, nickel super alloys, etc.

The multi fabrication (MultiFab) system (Fig. 1.) based on the combination of additive (laser metal deposition and arc welding) and subtractive (milling, drilling and turning) techniques developed at Southern Methodist University is a promising manufacturing system that can be widely applied in solid freeform fabrication (SFF), functionally graded materials (FGM) deposition, component repair and refurbishment, and surface modification [2]. For the SFF application MultiFab system utilizes a 1-kW neodymium-doped yttrium aluminum garnet (Nd:YAG) laser beam in continuous wave

¹⁾ **Srdja Zekovic**, Ph.D. candidate, Southern Methodist University, Dallas, Texas, USA, srdjaz@engr.smu.edu

²⁾ dr **Radovan Kovacevic**, Herman Brown Chair Professor, Southern Methodist University, Dallas, Texas, USA, kovacevic@engr.smu.edu

(CW) mode to generate a molten pool onto a metal substrate that concurrently moves along a pre-programmed path. At the same time, the additional material in the form of a metal powder carried by inert gas (Argon) is injected into the molten pool. The solidification of the molten pool after the heat source has passed leaves the additional material fused to the substrate in the form of a bead. Repeating the process on the previously deposited beads as the substrate allows the complex three-dimensional structures to be built directly from the CAD solid model.

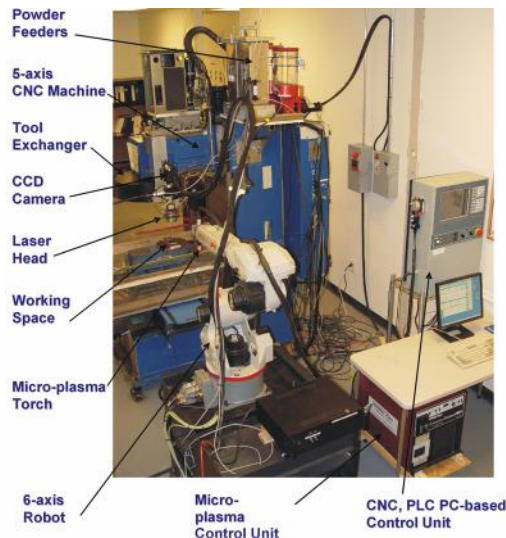


Fig. 1. MultiFab system

The recent achievements on the development of the laser-based direct metal deposition (LBDMD) process at the Research Center for Advanced Manufacturing (RCAM) will be presented in this paper. Special emphasis will be put on the numerical simulation and experimental verification of the gas-powder flow, heat transfer and residual stresses in the LBDMD.

2. NUMERICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF LASER-BASED DIRECT METAL DEPOSITION (LBDMD) PROCESS

Mathematical modeling could reduce the extent of experimental work required, and thereby to minimize the cost of developing new processes or certifying existing procedures; to provide predictions of operating conditions and the final microstructure and properties for designers, for use on-line, and for failure analysis; and to provide physical insight into the complex mechanisms involved in deposition processes, leading to improved process control. Since the thermal behavior controls the morphology and properties of the specimen, the thermal measurements, microstructure analysis, and modeling can be combined to develop the process parameters to control the microstructure development and to tailor the properties of the specimens to an optimized solution.

To date, the majority of models of thermal-based material processing aimed at

developing a deeper understanding of the underlying physics have only concentrated on a specific topic: thermal or mechanical, or microstructure. Little work has addressed the development of a “whole process” model of material processing. A “whole process” model includes thermal, fluid, mechanical, and microstructure sub-models that are coupled together by thermal and chemical histories.

The RCAM research team has been intensively working on the development of the mathematical models for the heat transfer, fluid flow, and thermal stress in the different layered-based and surface treatment processes. RCAM has also developed a two-step numerical model for the LBDMD process.

2.1 Numerical simulation of two phase gas-powder flow

The MultiFab system exploits the multi-axis additive blown-powder laser-based direct metal deposition (LBDMD) process for the near-net fabrication of fully-dense small and intricate features of metallic prototypes by a layered manufacturing method. One of the most important components of a LBDMD is the powder delivery subsystem [3]. It is crucial for the system to deliver powder to the laser-powder interaction zone accurately and repeatedly. The powder delivery subsystem consists of a set of powder feeders, and a radially symmetrical nozzle setup (Fig.2).

To simulate and study powder flow behavior involved in the MultiFab’s powder feeding system, a 3D model of the turbulent gas-powder flow, based on the nozzle setup shown in Fig. 1, has been developed [4]. FLUENT software, based on a finite-volume approach, is used to perform a detailed numerical analysis of the powder stream without laser radiation. Since the gas-powder flow is characterized by the turbulence, and turbulence in turn is a 3D phenomenon, a 3D model is required. The model is used to gain full insight into the process and to analyze the influence of the processing parameters such as the standoff distance, volumetric gas flow rate, and mass flow rate on the output of the LBDMD process. Also, the developed model provides important parameters for the calculation of the heat transfer boundary conditions for the finite element model (FEM) of the LBDMD process [5].

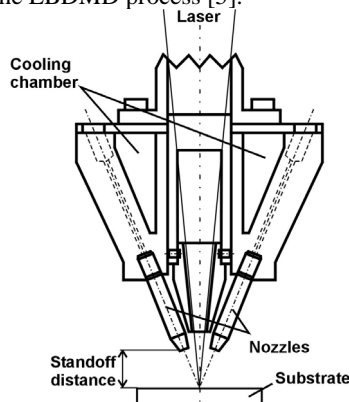


Fig. 2. The nozzles setup of the powder delivery system.

As it is pointed out, the flow in the nozzles and in the first interaction zone of the laser beam and the metal powder between the nozzles and the substrate is not a simple one-phase turbulent flow. Instead this flow can, at best, be approximated as a two-phase flow, where the primary phase is the inert gas, and the secondary phase consists of the

powder particles. The underlying concept is what is usually called the dispersed two-phase flow. The idea is to consider one of the phases (powder particles) to be dispersed in the other one (gas stream) [6]. At the same time, a strong coupling occurs between phases.

The gas-powder mixture injected at the nozzle inlets reaches a fully developed flow while traveling through the nozzles. After the flow leaves the nozzles, the four jets intersect with each other forming a cylindrical area of a maximum powder concentration along the vertical axis in the standoff distance range from -4.75 mm to -6.50 mm (Fig. 3). The powder concentration distribution was approved by projecting sheet of the laser light through the powder cloud and acquiring the digital images of the powder cloud cross sections. Digital images and powder concentration contours are compared in the Fig. 3.

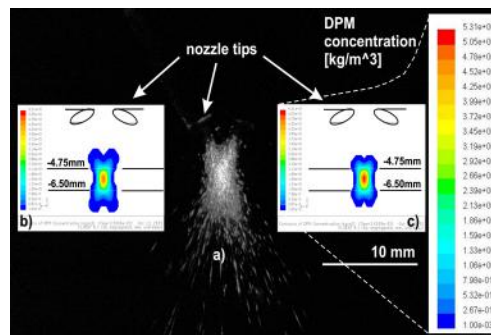


Fig. 3. Vertical cross-section of powder cloud below the nozzles: a) digital image, b) concentration contours from simulation in the plane 100 μm offset from the plane of symmetry and c) concentration contours in the plane of symmetry.

2.2 Thermo-structural model for LBDMD

A three-dimensional sequentially coupled thermo-structural FEM model has been developed to perform the heat transfer and residual stress analysis, and to investigate the relationship between the LBDMD processing parameters and the development of residual stress in thin-walled structures. These thin-walled structures are especially subjected to high residual stress as a consequence of the high temperature gradients in the laser metal deposition process and intensive forced convective and the radiative heat transfer from deposited structure to surrounding area.

A sequentially coupled thermal-stress analysis is commonly used in simulations of welding, laser, and e-beam deposition processes since the rather slow stress development affects heat transfer very little. Such an analysis is not only fast and computationally economical, but also allows for all useful features of individual thermal and stress analyses available in FEA packages to be applied. Three-dimensional transient thermal analysis is conducted first to obtain the global temperature history generated during the laser deposition process. A transient stress analysis is then developed with temperatures obtained from thermal analysis entered as loading to the stress model.

2.2.1 Heat flow analysis

Since LBDMD is a thermal process, the well-known heat conduction plays a central role in the physical modeling of the process. The governing energy balance for conduction-dominated heat flow with a moving heat source in an elementary volume is:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \dot{Q} + k \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \frac{\partial k}{\partial T} \left[\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 \right] \quad (1)$$

where, (x, y, z) are coordinates in the domain D , t is time, $T(x, y, z, t)$ is temperature, $\rho = \rho(T)$ is the density, $c = c(T)$ is heat capacity, $k = k(T)$ is heat conductivity, and $\dot{Q}(x, y, z, t)$ is volumetric heat generation.

Beside the dominant influence of the heat conduction, the heat losses by forced convection and radiation are included in thermal analysis, and they are incorporated in the model as boundary conditions for specific areas of the structure such as those areas closer or farther from the molten pool. Since an incorporation of the radiation effects are found to increase the solution by as much as three times, an approximation can be made using only the convective term,

$$k_n \frac{\partial T}{\partial n} = h_e (T - T_a) \quad (2)$$

with an equivalent heat transfer coefficient h_e that combines the effects of radiation and convection, and where h_e is defined by an empirical relationship as proposed by Goldak [7].

Laser metal deposition takes place under the intensive flow of inert gas argon from radially symmetrical four nozzles. Consequently, the forced convection heat transfer on the wall and substrate surfaces must be considered using the appropriate boundary condition:

$$k_n \frac{\partial T}{\partial n} = h_f (T - T_a) \quad (3)$$

where $h_f = f(v, z)$ is the coefficient of the forced convection for the flat plate as a function of gas velocity v , and wall height z [8].

Because of the wide temperature range in the deposited structure, the thermal material properties are clearly nonlinear; that is, the heat capacity and thermal conductivity are temperature-dependent. As the effects of the latent heat accompany the properties, the phase changes of the material, both solid-solid and solid-liquid, are of the particular interest. The latent heat changes during martensitic transformation and solidification take place over finite temperature intervals and can be presented by equivalent temperature distribution of enthalpy H . Knowing the values of the latent heat of fusion and transformation, the latent heat effects of the phase changes can be incorporated in the form of an equivalent increase of the heat capacity. Consequently, some numerical instability in the FEA software that was used in this work can be avoided.

2.2.2 Thermal stress analysis

In sequentially coupled analysis, the mechanical fields are analyzed, proceeding from already known, temperature fields that are considered as the only load. The total strain $d\varepsilon_{ij}$ is composed of elastic strain $d\varepsilon_{eij}$, conventional plastic strain $d\varepsilon_{pij}$, plastic strain from transformation plasticity $d\varepsilon_{tpij}$, and thermal strain $d\varepsilon_{Tij}$:

$$d\varepsilon_{ij} = d\varepsilon_{eij} + d\varepsilon_{pij} + d\varepsilon_{tpij} + d\varepsilon_{Tij} \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (4)$$

For residual stress analysis, in addition to density ρ , the following thermo-mechanical material properties depending on temperature are required: thermal expansion coefficient α , elastic modulus E , Poisson's ratio ν , and yield strength σ_Y . However, the values for the higher range of temperatures and phase transformations are

based on the experimental results, relationships, and extrapolation schemes suggested by several authors [7,9-10]. In the thermo-mechanical material model, the transformation-induced plasticity is incorporated by the reduction of yield strength, while an equivalent change of the thermal expansion introduces the volume change during the phase transformation. The adequacy of these assumptions is, of course, open to question, and only the experimental determination of the required high temperature data can serve to test its validity.

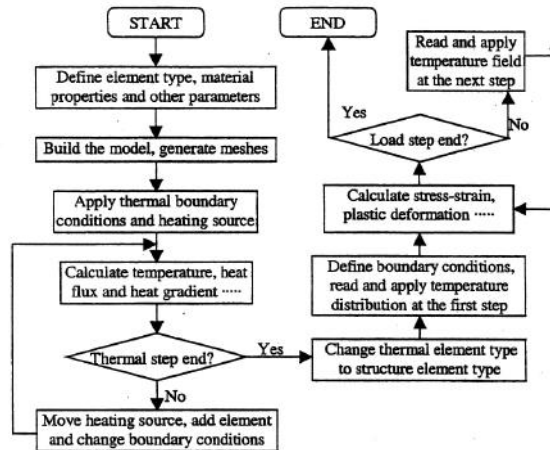


Fig. 4. Algorithm of thermo-structural analysis

2.2.3 Finite element model

The general purpose FE package ANSYS is used for both the thermal and the stress analyses performed sequentially with an appropriate combination of elements. The algorithm for a residual-stress analysis is summarized in Fig. 4. The main features of the 3D model are the moving heat input, element birth-and-death technique, heat loss, temperature-dependent material properties, and application of ANSYS parametric design language (APDL) to the model moving heat source, and adaptive boundary conditions [11].

The powder and gas velocity distribution obtained from the model of the gas-powder flow (Fig. 5) have been used to calculate adaptive boundary conditions for the thermal analysis during the deposition. Three cases are studied: a straight wall fabricated by the zig-zag deposition strategy, a straight wall fabricated by the one-direction deposition strategy, and a cylindrical wall fabricated by the one-direction deposition strategy. The model makes it possible to analyze the influence of the deposition strategy and part geometry on temperature distribution (Fig. 6) and residual stress development (Fig. 7). The residual stress distribution gives an explanation for some of the phenomena observed during the deposition process.

The material used in this investigation was an H13 tool steel that is the material of choice for the die and tool industry. As the most uniform temperature distribution is observed in the cylindrical wall, it causes the lowest residual stress, far below the tensile strength of the material and a stable deposited structure (Fig. 8a). On the other side, the stress level at the corners of the zig-zag deposited straight wall is above tensile strength, which causes a cracked appearance (Fig. 8b).

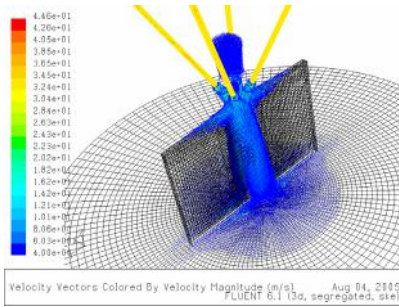


Fig. 5. Velocity vectors of the gas flow around thin wall

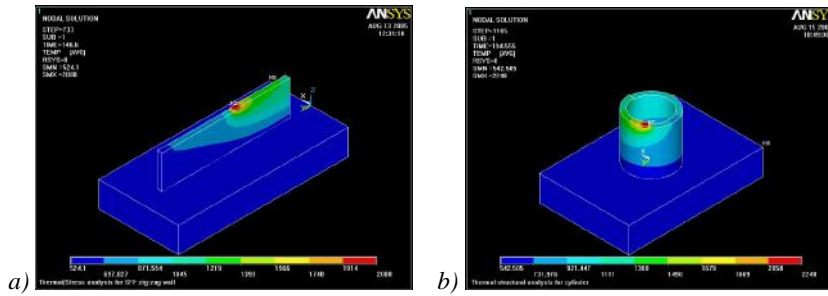


Fig. 6. Temperature during deposition: a) zig-zag deposited straight wall, b) cylinder

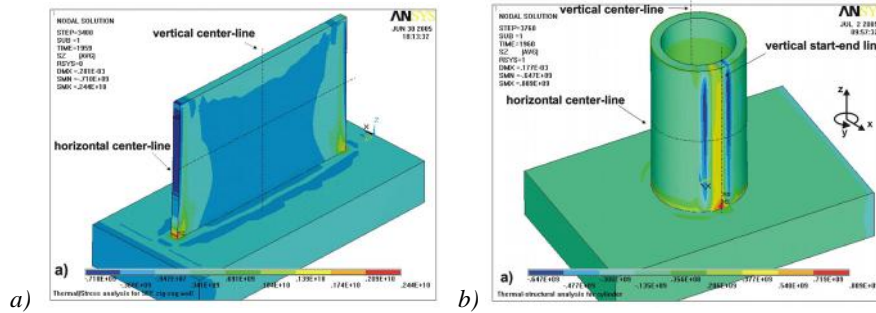


Fig. 7. Residual stress in: a) zig-zag deposited straight wall and b) cylinder

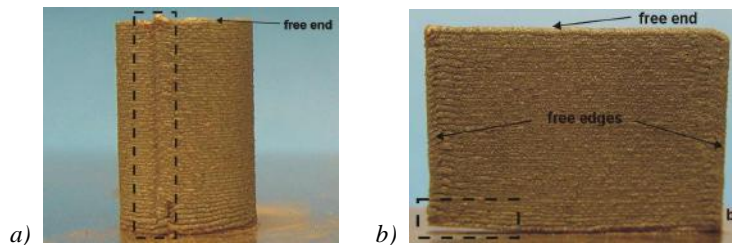


Fig. 8. Deposited structures: a) cylinder and b) straight wall

Furthermore, the zig-zag deposition strategy induces shear stress between subsequent layers in a straight wall buildup. The predicted temperature history by the FEA has been verified experimentally by employing the thermocouples [5]. A qualitative comparison of the residual stress pattern show a good agreement between the FE model and experimental results obtained by neutron diffraction of a straight thin-walled structures built in a similar experiment [12].

The analysis results provide a better understanding of the LBDMD process and give directions for the optimization of the processing parameters like heat input, material input, as well as the deposition strategy with the final goal - improved strength and service life of a fabricated structure.

3. CONCLUSIONS

A set of issues related to the laser-based direct metal deposition applied using the framework of SFF were identified and discussed. The optimization of the process, that includes metal powder delivery, heat transfer, and stress evolution is done and suitable parameters are identified. A set of experiments confirm the effectiveness of the suggested parameters and the process planning methods.

REFERENCES

- [1] *Beaman, J.J., J. W. Barlow, R. H. Bourell, H. L. Craford, H. L. Marcus and K. P. McAlea*, Solid Freeform Fabrication: A New Development in Manufacturing, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, 1997.
- [2] *Kovacevic, R., Valant, M.*, System and Method for Fabrication or Repairing Part, US Patent No. 7,020,539, Issued on March 28, 2006.
- [3] *Valant, M., Kovacevic, R.*, Powder Delivery System, US Patent No. 7,045,738 issued on May 16, 2006.
- [4] *Zekovic S., Dwivedi R., Kovacevic R.*, Numerical simulation and experimental investigation of gas-powder flow from radially symmetric nozzles in laser-based direct metal deposition, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Design, Research and Application, (accepted for publication, February 2006).
- [5] *Zekovic, S., Dwivedi, R., Kovacevic, R.*, Thermo-structural Finite Element Analysis of Direct Laser Metal Deposited Thin-Walled Structures, Proceedings SFF Symposium, Austin, TX, August 2005.
- [6] *Fluent Inc.*, FLUENT 6.2.1 User Guide, 2004.
- [7] *Goldak, J., Chakravarti, A., Bibby M.*, A New Finite Element Model for Welding Heat Sources, Metallurgical Transactions B, Vol.15B, June 1984, pp.299-305.
- [8] *Holman J.P.*, Heat transfer, 7th edition, McGraw Hill Book Company, New York, 1990.
- [9] *Radaj, D.*, Heat Effects of Welding; Temperature Field, Residual Stresses, Distortion, Springer-Verlag, New York, 1992, ISBN 0-387-54820-3.
- [10] *Ready, J.F.*, LIA Handbook of Laser Materials Processing, 1st edition, Laser Institute of America, Orlando, 2001, ISBN 0-912035-15-3.
- [11] *ANSYS Inc.*, "ANSYS Theory Manual, Release 8.1," USA, 2004.
- [12] *Rangaswamy, P., Holden, T.M., Rogge, R.B. and Griffith, M.L.*, Residual Stresses in Components Formed by the Laser-Engineered Net Shaping (LENSTM) Process, The Journal of strain analysis for engineering design, Vol.38, No.6, November 2003, pp. 519-527.



UTICAJ TERMIČKE OBRADJE NA TRIBOLOŠKO PONAŠANJE Zn-AI LEGURA

M. Babić ¹⁾, R. Ninković ²⁾, S. Mitrović ³⁾, I. Bobić ⁴⁾

Rezime: Istraživanje se odnosi na uticaj termičkog tretmana na mikrostrukturne, mehaničke i tribološke karakteristike ZA-27 legure. Termički tretman se odvijao kao rastvarajuće žarenje tokom određenog vremena i naknadnog kaljenja u vodi. Termički tretirani uzorci imaju nižu zateznu čvrstoću i tvrdoću, ali veće izduženje u odnosu na livene. Steopen habanja i koeficijent trenja opadaju sa povećanjem trajanja procesa žarenja.

Ključne reči: Zn-Al legura, termički tretman, tribološko ponašanje

INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON TRIBOLOGICAL BEHAVIOR OF Zn-AI ALLOYS

Abstrac: The effect of heat treatment on the microstructure, hardness, tensile properties and tribological behavior of ZA-27 alloy s was examined. The heat treatment of casts comprised of solutionizing during certain time, and quenching in water. The temperature selected for solutionizing were 370 °C.

The heat-treated samples attained less strength and hardness but more elongation over the as-cast one. The wear rate and coefficient of friction decreased with increasing ageing duration.

Key words: Zn-Al alloy, Heat treatment, Wear behaviour

1. UVOD

Zahvaljujući dobroj livkosti, relativno visokoj otpornosti na habanje i pogodnim fizičko-mehaničkim svojstvima Zn-Al legure se komercijalno primenjuju već duži niz godina [1-6, 8, 9, 17]. To se pre svega odnosi na familiju legura sa povećanim sadržajem aluminijuma, koju čine ZA-8, ZA-12 i ZA-27 legure. Numerički deo odgovara procentualnom sadržaju aluminijuma u leguri. Ovako označavanje prihvaćeno je i od strane ASTM standarda B 669-89, u kome se pored ostalog definiše i hemijski sastav ovih legura. Prema evropskoj normi EN 1774-98 koriste se oznake ZL8, ZL12 i ZL27.

¹⁾ Miroslav Babić, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, babic@kg.ac.yu

²⁾ Rato Ninković, RAR, Batajnica, Srbija, rato@eunet.net

³⁾ Slobodan Mitrović, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, boban@kg.ac.yu

⁴⁾ Ilija Bobić, Institut za nuklearne nauke "Vinča", Srbija, ilijab@vin.bg.ac.yu

Na bazi obimnih istraživanja, podržanih od strane Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine, u našoj zemlji su razvijene domaće RAR legure sa povećanim sadržajem aluminijuma. Sumirajući dosadašnja iskustva može se zaključiti da Zn-Al legure, posebno legura ZA-27, imaju, u poredjenju sa klasičnim ležišnim materijalima, bolja antifiktiona svojstva, bolje podnose kritična stanja u radu, pokazuju bolju sposobnost apsorbovanja stranih materija, daju duži radni vek i po pravilu imaju nižu cenu [1–4, 8, 9, 13, 14]. Njihova svojstva dolaze posebno do izražaja, pri graničnom podmazivanju, u uslovima malih brzina klizanja i relativno velikim opterećenjima. Osim kao ležišni, RAR legure se uspešno mogu primenjivati i kao konstrukcijski materijali šire namene.

Pored osobina kvalitetnog tribomaterijala ove legure imaju i određene nedostatke, kao što su limitirana radna temperatura i dimenziona nestabilnost zbog prisustva bakra [11]. Prateći aktuelne trendove unapređenja Zn-Al legura [17], kod nas su u toku istraživanja koja se odnose na tribološke efekte termičkog tretmana RAR 27 legure i razvoj kompozita sa RAR 27 osnovom.

U radu se iznosi deo originalnih rezultata dobijenih u okviru pomenutog projekta koji ukazuju na mogućnost upravljanja strukturnim, mehničkim i tribološkim karakteristikama legure RAR 27 primenom kontrolisanih procedura termičkog tretmana.

2. EKSPERIMENTALNA PROCEDURA

2.1 Priprema legrura za ispitivanje

Programom ispitivanja obuhvaćeno je pet ZnAl legura, koje prema hemijskom sastavu pripadaju standardnoj klasi ZA-27 sa komercijalnom oznakom RAR 27: ZA-27 legura livena u čeličnoj kokili, ZA-27 legura livena u čeličnoj kokili, žareno 3 sata i kaljeno u vodi i ZA-27 legura livena u čeličnoj kokili, žareno 5 sata i kaljeno u vodi

U čeličnoj kokili su liveni prizmatični oblici sa poprečnim presekom uzoraka 30 x 20, dužine 100 mm. Kao šarža za livenje u kokili korišćena je master ZA-27 legura u obliku šipki prečnika 50 mm. Topljenje je vršeno u laboratorijskoj elektrootpornoj peći snage 2 kW. Posle pregrevanja do 570°C očišćena je šljaka, promešan rastop i na 560°C izvršeno je livenje u čeličnu kokilu čija šupljina odgovara gore navedenom poprečnom preseku odlivka. Čelična kokila bila je prethodno predgrejana na 100 °C, da se izbegnu bočne usahline. Po završenom livenju odlivci predviđeni za termičku obradu stavljeni su u laboratorijsku peć za termičku obradu koja ima regulaciju temperature. Odlivci su grejani do 370°C i na toj temperaturi držani 3, odnosno 5 sati. Po izvršenoj termičkoj obradi odlivci su zakaljeni u vodi.

2.2 Hemijski sastav uzoraka, mehaničke i mikrostrukturne karakteristike

Hemijski sastav ispitivanih materijala utvrđen hemijskom apsorpcijom prikazan je u tabeli 1. Sadržaj elemenata kreće se u granicama predviđenim za leguru. On je veoma ujednačen za tri vrste uzoraka, kod kojih se sadržaj aluminijuma nešto preko 28%.

Osrednjeni rezultati 5 ponavljanja merenja osnovnih mehaničkih karakteristika prikazani su u tabeli 2. Ispitivanja zateznih karakteristika vršena su prema standardu JUS C.A4.002 na okruglim kratkim proporcionalnim epruvetama prečnika 4 mm i okruglim dugim epruvetama prečnika 10 mm na univerzalnoj elektromehaničkoj kidalici u uslovima sobne temperature od 22°C.

Tabela 1. Hemijski sastav ispitivanih materijala

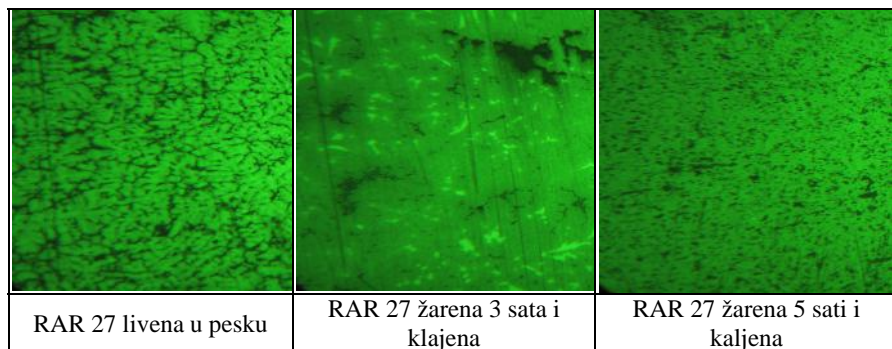
Uzorci	Elementi, %				
	Al	Zn	Cu	Fe	Mg
Z A-27 liveno u čeličnoj kokili	28.47	67.77	2.51	0.145	0.011
Z A-27 žareno 3 sata i kaljeno u vodi	28.63	68.66	2.46	0.117	0.012
Z A-27, žareno 5 sata i kaljeno u vodi	28.42	68.81	2.49	0.139	0.010

Tabela 2. Mehaničke karakteristike ispitivanih legura

Legure	Zatezna čvrstoća R_m , MPa	Izduženje, %		Tvrdoća $HB_{10/1000}$
		Brzina kretanja mosta kidalice, mm/min		
		1.0 ¹	100 ²	
Z A-27 liveno u čeličnoj kokili	318	2.4	0.4	138
Z A-27 žareno 3 sata i kaljeno u vodi	301	5.2	0.7	121
Z A-27 žareno 5 sata i kaljeno u vodi	283	6.4	0.85	121

¹Prečnik epruveta za istezanje 4 mm, ²Prečnik epruveta za istezanje 10 mm

Rezultati pokazuju da termički tretman legure nakon livenja u kokili doprinosi smanjenju zatezne čvrstoće i da to smanjenje raste sa vremenom držanja legure na temperaturi od 370°. Termički tretman se manifestuje i kroz smanjenje tvrdoće. Rezultati merenja izduženja pokazuju da termički tretman doprinosi znatnom povećanju izduženja. Pri tome produženje vremena žarenja doprinosi povećanju procentualnog izduženja. Takav uticaj utvrđen je pri obe brzine kretanja mosta kidalice: 1 m/min – koja obezbeđuje brzine deformacije normalne za ispitivanje ZA legura ispitivanja i 100 mm/min – veoma velikoj za ovakva ispitivanja.



Slika 1: Mikrostrukture RAR 27 legura (X50)

Na slici 1 prikazane su mikrostrukture ispitivanih legura. Leguri livenoj u kokili odgovara tipična dendritna struktura, usitnjena zbog brzog hlađenja u čeličnoj kokili. Mikroskopska struktura je homogena i sastoji se od jezgra svetle boje bogatih aluminijumom (α -faza). Između njih je izlučen eutektikum, sive boje, koji se sastoji od α faze i η faze bogate cinkom. CuZnAl ϵ kristali bogati bakrom na slici se uočavaju kao beličasta područja.

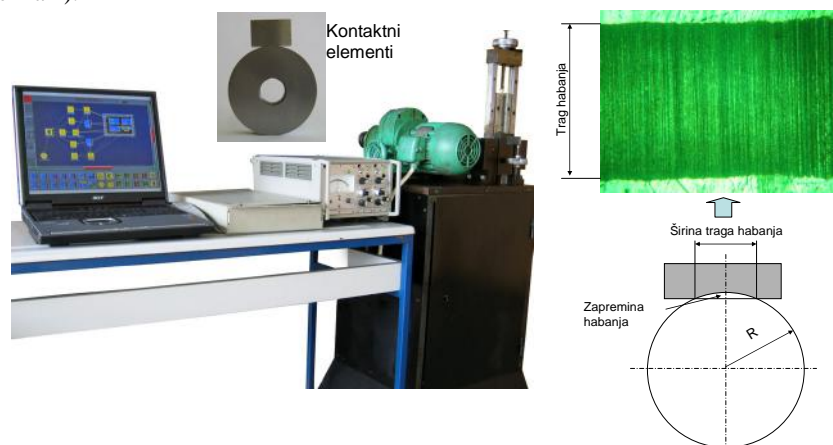
Na fotografiji mikrostrukture ZA 27 legure koja je žarena 3 sata na 370°C, pa po tome kaljena u vodi jasno se razlikuju mikrokonstituenti nastali usled termičke obrade,

tj, zaostala jezgra dendrita (bela), zaostala ostrvca međudendritne η faze (tamna) i veoma fina $\alpha+\eta$ smeša koja obuhvata najveći deo strukture.

Snimak mikrostrukture legure žarene 5 sati sa naknadnim kaljenjem u vodi pokazuje da je došlo do potpune razgradnje dendritne strukture. Pored toga primetno je koagulisanje međudendritne η faze za vreme zagrevanja pa je kaljenjem takva struktura zadržana na sobnoj temperaturi, dok se jezgra dendrita više ne mogu uočiti. Struktura izgleda kao ravnotežna, što je neočekivano, jer je reč o relativno kratkom vremenu zagrevanja u oblasti β faze (morfološki slične, ali nešto finije, strukture dobijali su istraživači posle znatno dužeg vremena žarenja sa prethodnom plastičnom preradom valjanjem na toplo).

2.3 Tribološki testovi

Ispitivanje triboloških karakteristika ZA odlivaka bila su modelskog tipa i obavljena su na unapređenom i kompjuterski podržanom tribometru TR-95 sa block-on-disc kontaktnom geometrijom u Centru za tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu (slika 2).



Slika 2: Tribometar i kontaktna geometrija

Opitni kontaktni par odgovara zahtevima odgovarajućeg ASTM G 77 standarda. Sačinjava ga rotacioni disk prečnika 35 mm i širine 6,35 mm i stacionarni blok širine 6,35 mm, dužine 15,75 mm i visine 10,16 mm.

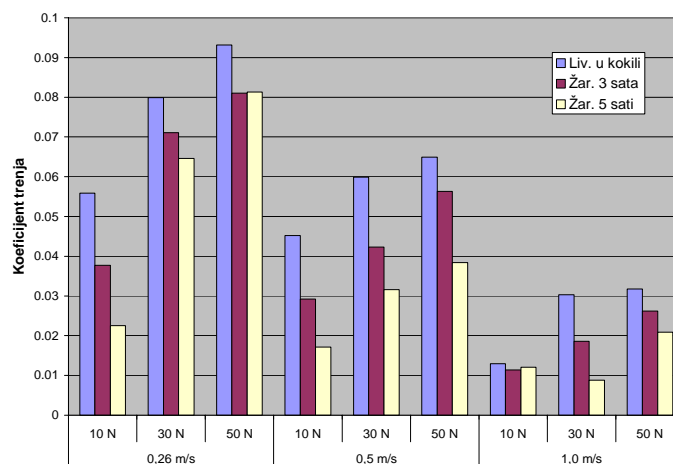
Diskovi su izrađivani od čelika Č.5432 tvrdoće 55 HRC sa brušenim površinama, hrapavosti $R_a = 0,4 \mu\text{m}$, a blokovi od ispitivanih ZA-27 legura, sa brušenim kontaktnim površinama, hrapavosti $R_a = 0,32 \mu\text{m}$.

Testovi su vršeni uz variranje tri nivoa brzine klizanja - 0,26 m/s, 0,50 m/s i 1,00 m/s i tri nivoa normalnog kontaktnog opterećenja - 10 N, 30 N i 50 N, sa podmazivanjem u trajanju od 10 min. Podmazivanje kontaktnog para realizuje se tako što je disk donjim krajem uronjen do dubine od 3 mm u rezervoar sa uljem zapremine 30 ml i pri rotaciji kontinualno donosi ulje u zonu kontakta. U svim testovima korišćeno je isto hidraulično ulje koje po standardu JUS ISO 11158:2003 odgovara tipu HL i kategoriji HM (ulje tipa HL sa poboljšanim karakteristikama protiv habanja, gradacije viskoznosti VG 46 (ISO 3448)).

3. REZULTATI TRIBOLOŠKIH TESTOVA

Za kontinualno praćenje procesa trenja i merenje parametara trenja tribometar je opremljen odgovarajućim mernim sistemom podržanim PC računarom. Tokom trajanja testova mereni su normalna sila i sila trenja i automatski je generisan računski signal koeficijenta trenja. Kao osnovni parametar habanja korišćena je širina traga habanja na kontaktnoj površini bloka, kako je to prikazano realnom fotografijom na slici 2. Porast pohabanosti prati širenje traga habanja, koja s obzirom na oblik habanja nije linerano proporcionalna promeni zapremine habanja. Do zapremine habanja kao izvedenog parametra habanja dolazi se računskim putem na osnovu površine kružnog otsečka i širine diska (slika 2).

Srednje vrednosti vremenskih serija koeficijenta trenja, i to na bazi tri ponavljanja prikazane su dijagramski na slici 3 u funkciji brzine klizanja i kontaktnog opterećenja. Lako je uočljivo postojanje jednoznačnog uticaja normalne sile kontaktnog pritiska na koeficijent trenja kod svih ispitivanih materijala. Generalno koeficijent trenja raste sa porastom normalne sile. Pri tome, stepen uticaja normalne sile na koeficijent trenja pada idući od najniže brzine klizanja $v=0,26$ m/s prema najvišoj $v=1,0$ m/s.



Slika 3: Koeficijent trenja ispitivanih legura u funkciji kontaktnih uslova

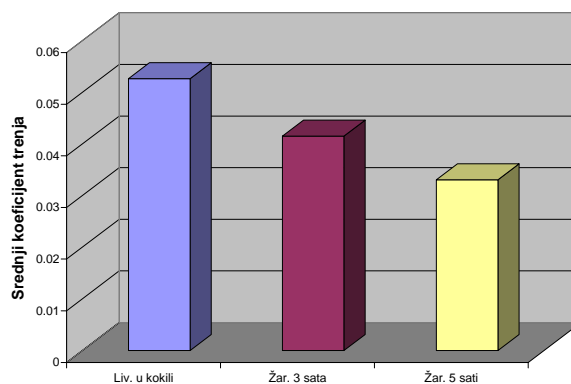
Na nivo srednjeg nivoa koeficijenta trenja kod svih ispitivanih legura veoma izražen uticaj pokazuje i brzina klizanja. Priroda tog uticaja se ogleda u smanjenju koeficijenta trenja sa porastom brzine klizanja dominantno po polinomnoj zavisnosti trećeg stepena, a u nekoliko slučajeva po eksponencijalnoj, odnosno linearnoj zavisnosti. Najveći uticaj brzine klizanja iskazuje se u oblasti nižih vrednosti brzina klizanja i pri najvećoj vrednosti normalne sile $F_n=50$ N. U svim slučajevima, gradijent pada koeficijenta trenja sa porastom brzine klizanja se smanjenjem sile normalnog opterećenja. Jasnije rečeno, stepen uticaja brzine klizanja na koeficijent trenja pada sa smanjenjem normalne sile, i to posebno u zoni većih brzina klizanja.

Pri korišćenju nominalnoj kontaktnoj geometriji koja se usled habanja menja na već objašnjeni način i uz obilato prisustvo ulja za podmazivanje, variranje normalne sile kontaktnog pritiska i brzine klizanja u obavljenim testovima usloveli su da se režim

menja od graničnog do tipično mešovitog. To veoma ubedljivo objašnjava prirodu dobijenih rezultata, odnosno utvrđeni uticaj promene kontaktnih uslova na frikciono ponašanje ispitivanih ZA legura.

U svim kombinacija kontaktnih uslova jednoznačno se iskazuju razlike u frikcionom ponašanju ispitivane tri legure. Niži koeficijenti trenja odgovaraju termički obrađenim legurama u odnosu na osnovnu, samo livenu leguru. Pri tome produženje vremena tretmana od 3 na 5 sati doprinosi pojačanom smanjenju koeficijenta trenja.

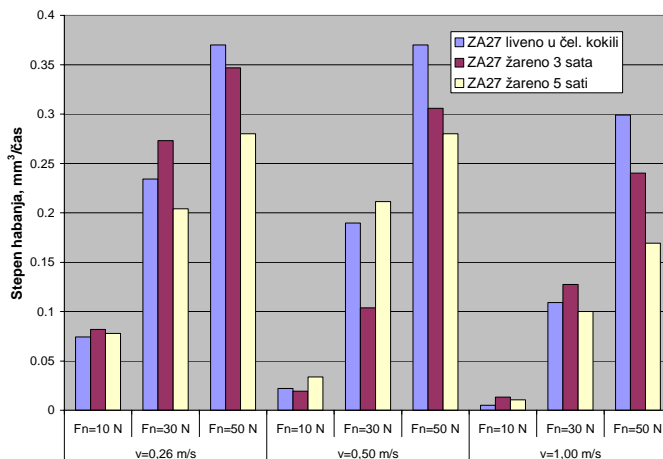
Da bi se došlo do jednog podatka na osnovu koga je moguće porediti frikciono ponašanje ispitivanih legura izračunate su srednje vrednosti koeficijenta trenja na osnovu svih srednjih vrednosti koje odgovaraju pojedinim kombinacijama parametara kontaktnih uslova. To u fizičkom smislu nije ispravno, jer, kako je opisano, variranje kontaktnih uslova uslovljava promenu režima podmazivanja, pa i izračunata jedinstvena srednja vrednost obuhvata frikciono ponašanje iz domena graničnog i domena mešovitog podmazivanja. Ipak, na bazi ovakvog parametra moguće je napraviti jednostavnu rang listu, koja je dijagramski iskazana na slici 4. Na osnovu nje jasno je da respektujući najbolje frikционе karakteristike ima legura žarena 5 sati, a najgore legura livena u čeličnoj kokili.



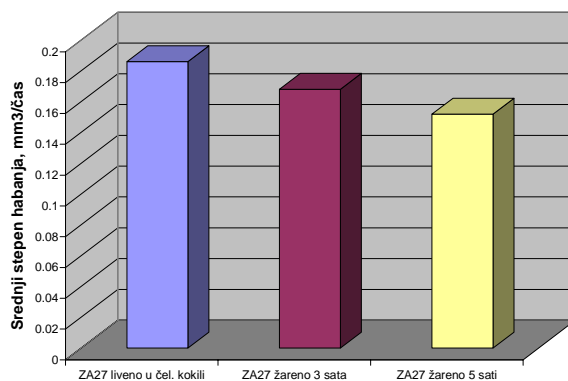
Slika 4: Srednji koeficijenti trenja

Srednje vrednosti zapreminskog stepena habanja na bazi tri ponavljanja testa prikazane su dijagramski na slici 5 u funkciji brzine klizanja i kontaktnog opterećenja. Rezultati pokazuju da se stepen habanja povećava sa rastom normalne sile kontaktnog opterećenja. Takođe, generalno je utvrđeno smanjenje stepena habanja sa povećanjem brzine klizanja. Intenzitet te promene veći je u oblasti manjih brzina klizanja i manjih normalnih opterećenja.

Za razliku u odnosu na koeficijent trenja razlike parametra habanja između ispitivanih legura nisu sasvim jednoznačne za sve kombinacije kontaktnih uslova. Na osnovu rezultata dobijenih za sve kontaktne uslove određene su srednje vrednosti širine traga habanja i stepena habanja. Tako se došlo do jedne vrednosti za izabrani parametar habanja koji odgovara ispitivanoj leguri (slika 6). Iako je ovo poređenje uslovnog karaktera, jer predstavlja osrednjavanje koje zanemaruje različite uslove u kojima su vršeni testovi, moguće je napraviti jasnu rang listu ispitivanih legura s aspekta habanja. Jasno je da najmanji stepen habanja, odnosno najveću otpornost na habanje, ima legura žarena 5 sati, a najgore presovana legura bez termičke obrade.



Slika 5: Stepen habanja ispitivanih legura u funkciji kontaktnih uslova



Slika 6: Srednji stepeni habanja

Izneti rezultati pokazuju veoma velike razlike u nivou parametara tribološkog ponašanja i s aspekta trenja i s aspekta habanja koje nastaju kao rezultat termičke obrade ZA-27 legure.

4. ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja pokazuju da termička obrada ZA-27 legure koja se odvija rastvarajućim žarenjem na 370°C tokom određenog vremena i naknadnog kaljenja u vodi pokazuje izrazit uticaj na mikrostrukturne, mehaničke i tribološke karakteristike legure. Termički tretirani uzorci imaju nižu zateznu čvrstoću i tvrdoću, ali veće izduženje u odnosu na livene. Termički tretman se manifestuje značajnim poboljšanjem parametara tribološkog ponašanja i s aspekta trenja i s aspekta habanja. Stepen habanja i koeficijent trenja opadaju sa povećanjem trajanja procesa žarenja.

Generalno se može zaključiti da termička obrada predstavlja značajnu šansu za dalje unapređenje ZA legura kao materijala namenjenog za izradu triboelemenata koji obavljaju svoju funkciju u uslovima relativno nižih brzina klizanja i visokih kontaktnih opterećenja.

LITERATURA

- [1] *Babić M., Ninković R., Rac, A.*, Zn-Al legura RAR 27 – iskustva iz istraživanja iz održavanja, Zbornik radova, YUMO 2002, Novi Sad, 22-24. maj, 267 -276
- [2] *Babić M., Ninković R., Rac, A.*, Tribološki aspekt primene Zn-Allegura za izradu mašinskih elemenata, Zbornik radova, IRMES 2002, Jahorina, 19-20 septembar, 307 – 312.
- [3] *Babic M., Ninkovic R.*, Zn-Al Alloys as Tribomaterials, Tribology in industry, Vol. 26, No 1 & 2, 2004., 3-7
- [4] *Babic M., Ninkovic R., Rac A.*, Sliding wear behavior of Zn-Al alloys in conditions of boundary lubrication
- [5] *Calayag T. S.*, The practicality of using the Zinc-Aluminum alloys for friction-type bearings, 25th Annual Conference of Metallurgists, 1986., 305-313
- [6] *Delneville, Ph.*, Tribological Behaviour of ZnAl Alloys (ZA27) Compared with Bronze when Used as a Bearing Material with High Load and at Very Low Speed, Wear, 105, 1985, 283-292
- [7] *Geng Haoran, Tian Xianfa, Cui Hongwei, Li Chengdong, Zhao Peng*, Atifriction and wear behaviour of ZAS35 zinc alloy: influence of heat treatment and melting technique, Materials Science and Engineering A316, 2001, 109 – 114
- [8] *Goodwin F., Ponikvar A.*, Engineering properties of zinc alloys, Third edition, ILZRO, 1989.
- [9] *Ninković R.*, Magistarska teza, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2000.
- [10] *Ninkovic R., Babic M., Rac A.*, Yugoslav Zn-Al Alloys as Bearing Material, Tribology in Industry, No 1 & 2, 2000., 14-18
- [11] *Prasad B.K.*, Influence of heat treatment parameters on the lubricated sliding wear behaviour of a zinc-based alloy, Wear, 257, 2004, 1137–1144
- [12] *Rac, A., Babić, M., Ninković R.*, Theory and Practice of Zn - Al Sliding Bearings, Proceedings Vol. II, 3rd International Conference of Tribology “BALKANTRIB’99”, Sinaia (Romania), June 1999, 127 – 133
- [13] *Rac, A., Babić, M. and Ninković, R.*, Theory and Practice of Zn-Al Sliding Bearings, Journal of the Balkan Tribological Association, 7, 3-4, 2001, 234-240
- [14] *Risdon, T.J., Barnhurst, R.J. and Mihaichuk, W.M.*, Comparative Wear Rate Evaluation of Zinc Aluminum (ZA) and Bronze Alloys through Block on Ring testing and Field Applications, SAE 860064
- [15] *Savaskan, T. and Murphy, S.*, Mechanical Properties and Lubricated Wear of Zn-25Al Based Alloys, Wear, 116, 1987, 211-224
- [16] *Savaskan T., Murphy S.*, Comparative wear behavior of Zn-Al based alloys in an automotive engine application, Wear, 98, 1984, 151-161
- [17] *Sharma S. C., Girish B.M., Kamath R., Satish B. M.*, Graphite particles reinforced ZA-27 alloy composite materials for journal bearing applications, Wear 219, 1998, 162 – 168

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

TRIBOLOŠKE KARAKTERISTIKE TiN PREVLAKE SA NANOINTERFEJSOM PRIMENJENE KOD ALATNOG ČELIKA ZA RAD NA HLADNO

D. Kakaš, B. Škorić, T. Novakov, L. Kovačević, A. Miletić ¹⁾

Rezime: U radu su prikazani rezultati dobijeni pri ispitivanju TiN prevlake deponovane na alatnom čeliku za rad na hladno Č4146. Prilikom depozicije je primenjen postupak Ion Beam Mixing sa ciljem da se dobije interfejs nanodimenzija od 10 do 50 nm. Sama prevlaka je deponovana IBAD tehnologijom. Dati su rezultati merenja koeficijenta trenja sa silama do 100 N pri čemu je dobijen veoma nizak koeficijent trenja i utvrđeno je da prevlaka ima izuzetno dobru ateziju. To su bitni kvaliteti koji mogu da prošire primenu tvrdih prevlaka na alatima za rad na hladno.

Ključne reči: TiN, nanointerfejs, koeficijent trenja, IBAD

TRIBOLOGICAL CHARACTERISTIC OF TiN COATING WITH NANOINTERFACE APPLIED AT COLD WORKING TOOL STEEL

Abstract: In this paper are presented results of investigation of the properties TiN coating deposited on cold working tool steel Č4146. During deposition IBM – Ion Beam Mixing process was applied with aim to realize nanointerface with thickness from 10 to 50 nm. Coating itself was deposited by IBAD technology. Results of measuring the friction coefficient with normal load up to 100 N are given. Important results of this measuring are extremely low friction coefficient and excellent adhesion. These are very important qualities of coating respecting that it could spread application coated cold working tool in industrial practice.

Key words: TiN, nanointerface, friction coefficient, IBAD

UVOD

Tvrde prevlake se već duže vremena uspešno koriste za poboljšanje eksploatacionih osobina kod alatnih čelika [1,2]. Poseban problem je primena tvrdih prevlaka kod čelika kod kojih se pojavljuje udarno opterećenje gde je atezija prevlaka od ključnog značaja. U svom dugogodišnjem istraživačkom radu kautori su koristili različite tehnologije za depoziciju tvrdih prevlaka, pre svega tehnologiju magnetronskog

¹⁾ Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, Srbija, csen@uns.ns.ac.yu

spaterovanja i tehnologiju katodnog luka [3]. Dobijeni rezultati su pokazali da postoji bitan uticaj vrste tehnologije i parametara procesa depozicije na kvalitet athezije i na otpornost prema habanju [4,5]. Poslednjih šest godina autori imaju mogućnost vršenja depoziciju prevlaka pomoću IBAD tehnologije u Centru Nikola Tesla pri institutu u Vinči. IBAD postupak se karakteriše veoma širokim mogućnostima za kontrolu procesa depozicije od faze čišćenja površine, preko izrade nanointerfejsa do depozicije sloja željene debljine koji ima praktično mono orijentaciju rešetke [6].

Uređaj baziran na magnetronskom spaterovanju, kao i uređaj za depoziciju pomoću katodnog luka imaju veoma složen proces čišćenja i pripreme površine za depoziciju koji se radi pre unošenja radnog redmeta u komoru za depoziciju. Iako se koriste najsavremenije tehnologije i uzorak priprema u više različitih kupatila nemože se izbeći određeno prisustvo oksida na površini čelika sa čime se bitno snižava vrednost athezije deponovanog tvrdog sloja TiN. Kod IBAD tehnologije uzorak se mora pripremiti grubo, čišćenjem površine metodom poliranja sa adekvatnim finim brusnim papirom ili čak sa dijamantskim pastama, zavisno od kvaliteta površine alata koji se traži. Samo završno čišćenje površine se obavlja unutar komore u visokom vakuumu tako što se površina bombarduje jonskim snopom određene energije, a sa ciljem da se sa same površine izbiju svi nepoželjni atomi. Taj proces se direktno kontroliše analizom sastava gasova prisutnih unutar vakuumske sistema. Praktično to je najsavršeniji postupak dobijanja potpuno čiste površine alatnog čelika pre početka depozicije.

Da bi se dobio što bolji efekat athezije deponovan je interfejs sa debljinama 10, 30 i 50nm sačinjen od čistog Ti. Suštinski je bitna činjenica da je pri depoziciji interfejsa korišćena tehnologija jonskog miksovanja – IBM (Ion Beam Mixing). Suština ovog postupka se sastoji u tome da se prilikom depozicije dodatno bombarduje površina čelika sa jonima argona strogo određene uniformne energije i pod tačno definisanim upadnim uglom. Veoma je bitna kontrola odnosa broja upadnih atoma titana prema broju upadnih jona argona.

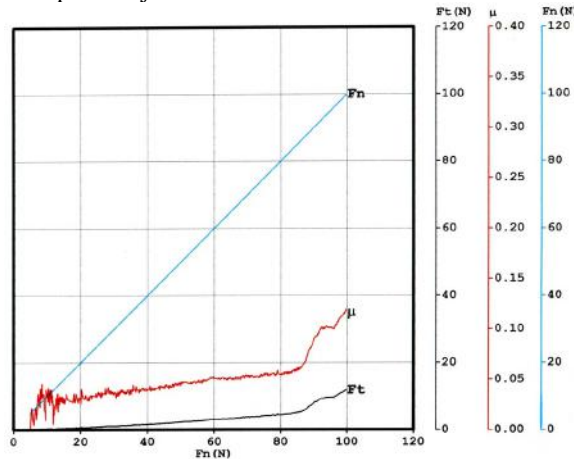
Nakon depozicije interfejsa od titana nastavlja se direktno sa depozicijom TiN sloja sa IBAD postupkom. IBAD (Ion Beam Assisted Deposition) tehnologija podrazumeva isparavanje Ti mete pomoću elektronskog snopa i reaktivnu depoziciju TiN koji nastaje reakcijom isparenih jona titana i pobuđenih jona azota koji se uvode u radni prostor komore. Prilikom standardne depozicije sloja TiN zauzima određeni tip preferirane orijentacije, zavisno od parametara procesa, sa prisustvom određenih nehomogenosti unutar prevlake i pojavom veoma izražene stubaste strukture. Vrhovi ovih stubića imaju oblik pečurke i često povećavaju hrapavost površine prevlake tako da je uobičajen koeficijent trenja kod TiN tvrdih prevlaka od 0,3 do 0,5 zavisno od brzine depozicije i debljine prevlake.

Kod primene IBAD postupka kontrolom permanentnog bombardovanja površine uzorka u toku depozicije može se dobiti praktično mono orijentacija rešetke bez prisustva grešaka tipa praznina ili mikropora kako na interfejsu tako i između jedva primetnih subića unutar TiN sloja. Ovo bombardovanje suštinski utiče na morfologiju spoljne površine sloja. Ovaj površinski sloj TiN dobijen IBAD postupkom odlikuje se izuzetno malom hrapavošću jer nema mikropečurki, tako da se može postići drastično niži koeficijent trenja, što smo mi i ostvarili u našem radu.

REZULTATI I DISKUSIJA

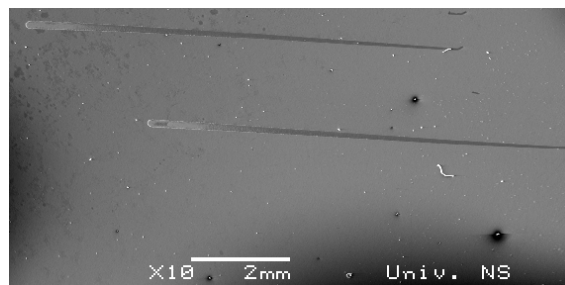
Na slici 1 je dat tipičan grafikon dobijen pri merenju koeficijenta trenja gde se jasno može videti da sila F_t raste ravnomerno i proporcionalno porastu normalnog

opterećenja F_n sve do 88N. U tom momentu počinje promena vrednosti sile F_t praćena istovremenim naglim skokom vrednosti koeficijenta trenja od približno 0,05 na 0,12. Ovako izuzetno nizak koeficijent trenja se može objasniti kao posledica poliranja površine uzorka, ali prethodna iskustva autora sa depozicijom pomoću tehnologije magnetronskog spaterovanja i tehnologije katodnog luka su pokazala da se i pored poliranja površine koeficijent trenja ne može spustiti ispod 0,25 niti se stabilnost sile F_t može održati iznad opterećenja 35N do 48N.



Slika 1. Uticaj normalnog opterećenja F_n na promenu vrednosti koeficijenta trenja i sile trenja F_t

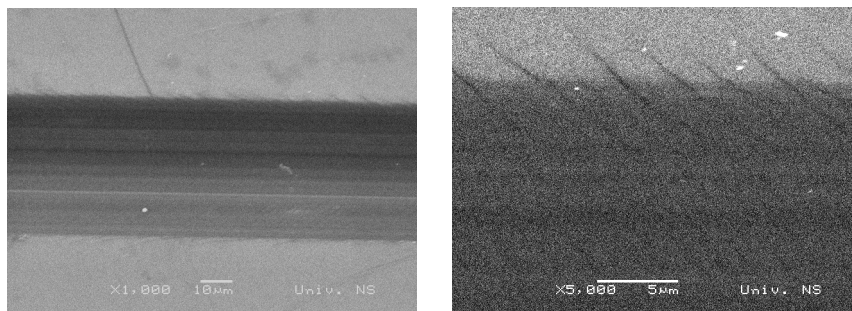
Prilikom merenja koeficijenta trenja korišćena je brzina promene opterećenja 100N/min i brzina pomeranja dijamantskog kontratela 10mm/min. Na slici 2 je dat izgled tragova kretanja dijamantskog kontratela – kupa sa radijusom.



Slika 2. Tragovi kupa za merenje koeficijenta trenja

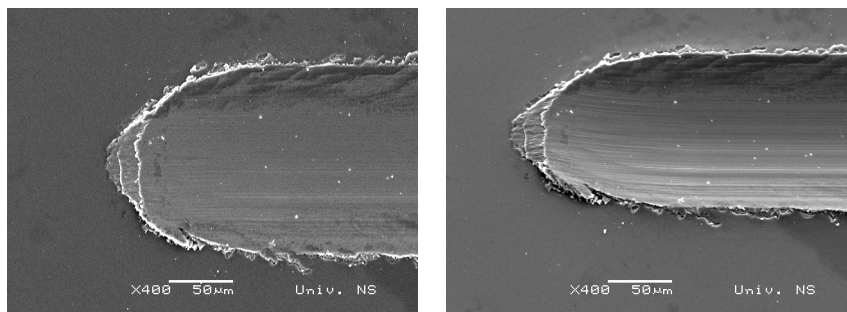
Na slici 2 se jasno vidi da duž celog traga kretanja kupa sa promenljivim opterećenjem od 0-100N praktično nema efekata pucanja TiN sloja odnosno ivice žljeba su potpuno glatke. Na slici 3 je dat izgled utisnutog žljeba negde na sredini zone merenja, gde je opterećenje bilo oko 50N. Ivica žljeba su potpuno glatke i bez efekta pucanja i odvajanja prevlake. Pri većem uvećanju vide se određene linije na površini prevlake – slika 3b, ali se te linije ne mogu povezati sa pucanjem prevlake pošto se

njihov pravac prostiranja ne poklapa sa pravcem kretanja dijamantske kupe (sa desna na levo).



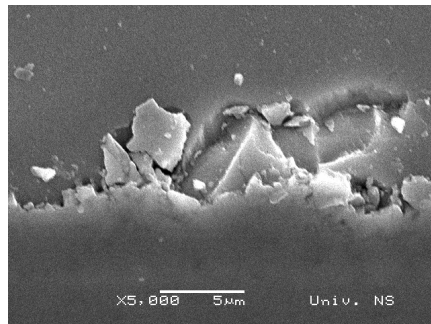
Slika 3. Trag dijamantske kupe pri opterećenju oko 50N - a) ceo žljeb; b) detalj ivice žljeba

Prisustvo pucanja prevlake na ivici žljeba se može konstatovati tek na samom kraju kretanja dijamantske kupe, pri čemu se rezultati neznatno razlikuju od merenja do merenja na istom uzorku, kao što je dato na slici 4. Efekat pucanja je veoma lokalizovan i obuhvata zonu dimenzija oko 5µm od same ivice žljeba. Taj detalj je prikazan na slici 5. U zoni pojave ove greške kupa je utiskivana sa visokom silom (oko 95N) i to je prouzrokovalo značajan efekat lokalne plastične deformacije usled istiskivanja osnovnog materijala ispod kupe. S obzirom da je debljina TiN sloja približno 1µm u toj zoni se po pravilu javljaju efekti pucanja prevlake posebno kada je prevlaka tvrda preko 2000HV.



Slika 4.

Rezultati pregleda površine žljeba pomoću SEM mikroskopije jasno pokazuju zašto se pojavio tipičan grafikon za koeficijent trenja, koji je dat na slici 1. Prilikom povećanja opterećenja od 0 do 88N dobija se potpuno glatka ivica bez ikakvih efekata pucanja prevlake i stoga je jasno zašto je koeficijent trenja svega 0,05 pri dejstvu normalne sile od 88N. Naglo povećanje koeficijenta trenja je posledica pojave pucanja prevlake, ali se zadržava još uvek na veoma niskim vrednostima (porast od 0,05 na 0,12) zato što su efekti pucanja veoma mali, ne prevazilaze zonu od 5µm na ivici žljeba.



Slika 5. Detalj pucanja TiN sloja na ivici žljeba utiskivanja dijamantske kupe pri dejstvu opterećenja 95N

Svi prethodni rezultati se odnose na prevlaku TiN sa interfejsom od 10nm. Poslednji eksperiment autora kod kojeg su dobijeni uzorci sa interfejsom od 50nm pokazuju još bolje rezultate u pogledu kvaliteta athezije i koeficijenta trenja. Na slici 6 prikazan je grafikon promene koeficijenta trenja i sile Ft kod uzorka sa interfejsom od 50nm gde je dobijena potpuno glatka linija promene sile Ft i koeficijenta trenja 0,05 pri dejstvu sile od 100N. Kod ovih uzoraka postoji određeno rasipanje rezultata kod ponavljanja merenja tako da najlošiji rezultat nije ispod 92N a najbolji je 100N. Ovi rezultati ukazuju da debljina nanointerfejsa ima određeni uticaj na koeficijent trenja i na atheziju prevlake. Prosečna vrednost opterećenja pri kojoj dolazi do efekta pucanja prevlake kod prevlake sa interfejsom od 10nm je 88N a kod prevlake sa interfejsom od 50nm je 96N. Međutim, kod uzoraka deponovanih klasičnim tehnologijama TiN prevlaka se ljuška i puca već pri dejstvu opterećenja od 35 do 48N. Očigledno je da se primenom IBAD tehnologije za depoziciju prevlake i IBM postupka za dobijanje nanointerfejsa mogu drastično poboljšati koeficijent trenja i athezija TiN sloja.

Dobijeni rezultati još uvek nisu potpuno sistematizovani i u toku je njihova obrada, ali već prikazane vrednosti u ovom radu jasno ukazuju na novi kvalitet TiN sloja sa kojim se mogu dobiti nove oblasti primene tvrdih prevlaka na alatima kod čelika za rad na hladno.

ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata koji su prikazani u ovom radu mogu se već sada izvući određeni zaključci koji ukazuju na bitno poboljšanje kvaliteta deponovanih TiN prevlaka kod čelika za rad na hladno.

Primenom IBM postupka mogu se dobiti interfejsi sačinjeni od istog Ti sa debljinama od 10 do 50nm. Ovi interfejsi imaju izuzetno dobru vezu kako sa osnovnim materijalom tako i sa TiN prevlakom sa čime se poboljšava athezija sloja i reguliše gradijent unutrašnjih napona koji se javlja u graničnoj zoni između osnovnog materijala i prevlake.

IBAD depozicija prevlake omogućava dobijanje veoma gustog i kompaktnog sloja TiN sa glatkom spoljnom površinom koja se postiže na račun kontrole bombardovanja jonskim snopom argona. Veoma je bitno kontrolisati odnos broja upadnih atoma titana i azota, s jedne strane i upadni broj jona argona, sa druge strane.

SEM analiza je pokazala da su žljebovi utiskivanja dijamantske kupe izuzetno glatki i sve do opterećenja od 88N praktično bez ikakvog traga pucanja prevlake. Time se može objasniti izuzetno nizak koeficijent trenja dosada nepoznat kod deponovanja TiN na alatni čelik za rad na hladno. Naravno da za tako nizak koeficijent trenja određenu zaslugu imaju i efekat poliranja površine uzorka pre depozicije i isto toliko efekat deponovanja pomoću IBAD tehnologije.

Kod alata za rad nahladno gde se javljaju i udarna opterećenja poseban značaj ima efekat atezije prevlake koji je u našem slučaju izvanredan. Kod alata za rad na hladno često je od suštinske važnosti i koeficijent trenja koji se u našem slučaju kreće na izuzetno niskim vrednostima i dostiže svega 0,05 pri dejstvu vertikalnog opterećenja od 100N. Ovi rezultati otvaraju novo polje primene TiN prevlaka na alatima. Važno je napomenuti da je IBAD depozicija vršena na temperaturama ispod 150°C sa čime se garantuje da neće doći do promena u strukturi alatnog čelika koja je dobijena nakon propisane termičke obrade za konkretan tip čelika. Kod klasične tehnologije depozicije TiN po pravilu se koriste temperature iznad 250°C pa sve do 500°C što je neprihvatljivo za klasu alatnih čelika za rad na hladno.

LITERATURA

- [1] *Batista, J.C.A., Godoy, C., Matthews, A.*, Micro-scale abrasive wear testing of duplex and non-duplex (single-layered) PVD (Ti,Al)N, TiN and Cr-N coatings, *Tribology International* 35 (6), 2002 pp. 363-372
- [2] *Podgornik, B, Hogmark S., Sandberg O.* Influence of surface roughness and coating type on the galling properties of coated forming tool steel, *Surface and Coatings Technology* 184 (2-3) 2004, pp. 338-348
- [3] *Zlatanovic M., Kakaš D., Mažibrada Lj., Kunosić A., Munz W.D.*, Influence of plasma nitriding on wear performance of TiN coating, *Surface and Coatings Technology* 64 (3) 1994. pp. 173-181
- [4] *Škorić B, Kakaš D., Rakita M., Bibić N., Peruško D.*, Structure, hardness and adhesion of thin coatings deposited by PVD, IBAD on nitrided steels, *Vacuum* 76 (2-3), 2004 pp. 169-172
- [5] *Škorić B., Kakaš D., Bibić N., Rakita M.*, Microstructural studies of TiN coatings prepared by PVD and IBAD, *Surface Science* 566-568 (1-3 PART 1), 2004 pp. 40-44
- [6] *Skoric B, Kakas D., Rakita M.*, Some tribological aspects of the duplex coatings with additional ion bombardment, *Proceedings of the World Tribology Congress III - 2005*, pp. 513-514



THE MODIFICATION OF DUPLEX COATINGS WITH NITROGEN ION IMPLANTATION

B. Škorić ¹⁾, D. Kakaš ²⁾, A. Miletić ³⁾

ABSTRACT. *In the present investigation the wear resistance of duplex coated and surface modified with ion implantation was studied under dry sliding condition. A typical duplex process involves plasma nitriding and the coating treatment of steels. The PVD and IBAD coating under investigation was TiN. Ion implantation was provided with N ions. The three basic points that are considered fundamental to studies of friction are the surface area and nature of the intimate asperity contacts, the surface adhesion and shear strength, and the nature of deformation and energy dissipation occurring at the asperity junctions. The optimization procedure for coated parts could be more effective, knowing more about the fundamental physical and mechanical properties of a coating, their interdependence and their influence on the wear behaviour. Wear resistance and exchanges of friction coefficient was measured with on line test using special designed tribology equipment. Following the tests, the wear zone morphology and characteristics of surface layer structure as well as important properties were investigated. A variety of analytic techniques were used for characterization, such as scratch test, calo test, SEM, AFM, XRD and EDAX. Finally, the results were correlated with properties determined from mechanical and tribological characterization. Based at all results the correlation between the mechanical properties, the surface structure and tribological characteristics were explained.*

Keywords: *PVD, IBAD, duplex, superhard, ion implantation, nanohardness.*

1. INTRODUCTION

The various deposition techniques of coatings and process parameters differ widely in morphology and microstructure, in phases, grain size, texture, defects, impurity content, state of stress, and their mechanical and tribological properties.

Ion bombardment during physical vapour deposition (IBAD), has more independent parameters than classic plasma based technique (PVD). The film deposition process exerts a number of effects such as crystallographic orientation, morphology, topography, densification of the films [1]. However, the adhesion, structure and durability of coatings on various substrates can be substantially improved

¹⁾ Prof. dr Branko Škorić, Faculty for Technical Sciences, Novi Sad,
skoricb@uns.ns.ac.yu

²⁾ Prof. dr Damir Kakaš, Faculty for Technical Sciences, Novi Sad,

³⁾ Aleksandar Miletić, Faculty for Technical Sciences, Novi Sad,

by irradiating the substrates and the condensing film with ions and energetic neutrals in the energy range of several electron volts [2]. One of the most widely used physical vapour deposited coatings for engineering components is TiN.

It is well-known that the mechanical properties of the substrate and interface play critical role in determining system performance. The adhesion strength transmits the surface loads into the component and takes up the stresses that arise because of the different properties of coating and substrate. The nitrided layers is a key issue in duplex coating processing [3]. Since the preferred orientation in TiN thin films has a significant effect on their properties, the study of preferred orientation and the variation of the preferred orientation with the experimental conditions are important for the application of TiN. Ion beam assisted deposition (IBAD), can be used to control the preferred orientation and the properties of the TiN film. IBAD has more independent parameters than a PVD technique and it is possible to study the effect of deposition parameters on the structure of grown films.

The tribological performance of a component is governed by its design, environment, contact conditions and the materials of which it is composed. In order to understand, explain or predict the performance of a given component, one must naturally possess all relevant information about these parameters.

Tribological characteristics of a material are determined by properties related to its sliding against any other material. The progressive loss of substance from the operating surface of a body can result from mechanical interaction at and/or a chemical reaction induced between two contacting surfaces. Dynamic friction is defined as the resistance to a relative motion of contacting bodies and can be quantitatively represented as the coefficient of friction [4].

2. EXPERIMENTAL

The substrate material used was high speed steel type S 6-5-2. Prior to deposition the substrate was mechanically polished to a surface roughness of $0.12 \mu\text{m}$ (R_a). The PVD treatment was performed in a Balzers Sputron installation with rotating specimen.

The coatings were deposited with ion beam bombardment in a DANFYSIC machine. The base pressure in the vacuum chamber was 10^{-4} Pa for all experiments. System has Kaufman-type ion source, sample holder and quartz crystal thickness monitor. A pure titanium intermediate layer with a thickness of about 50nm has been deposited first for all the coatings to enhance the interfacial adhesion to the substrates.

Tribo-tests were performed on a CSM tribometer with a ball-on-disc configuration at 0.02m/s sliding speed and 1N normal load. The tribological behaviour of the coatings is scrutinized in conjunction with the detailed examinations of the mechanical properties and microstructure

The composition of the films (nitrogen to metal ratio) was determined by energy-dispersive X-ray analysis (EDAX). The Vickers microhardness of the coating is measured in the as-deposited-state. Tests were carried out using a CSM tester.

The determination of phases was realized by X-ray diffraction using PHILIPS APD 1700 X-ray diffractometer. The X-ray sources were from $\text{CuK}\alpha$ with wavelength of 15.443 nm (40kV, 40mA) at speed $0.9^\circ \text{min}^{-1}$.

The adhesion of TiN films was characterized by the scratch-test method. We used scratch tester equipment with an acoustic sensor (CSEM-REVETEST). The acoustic emission recorded enabled us to highlight the scaling or the decohesion of the

deposition film. The results confirmed by optical microscopy and scanning electron microscope

The film morphology was measured with a scanning electron microscope (PHILIPS XL SERIES 300).

3. RESULTS AND DISCUSSION

Vickers microhardness measurements on substrates are given in Table 1.

Table 1. Surface microhardness ($HV_{0,03}$)

	Unit	pn/IBAD	PVD	pn/PVD/II	Fused Silica
Average	Vickers	2007,3	3028,2	3927,1	943,1
StDev	Vickers	190,4	409,9	157,5	40,4

The materials under study are TiN coatings with a thickness of approximately $3\mu\text{m}$ deposited by PVD and $1\mu\text{m}$ deposited by IBAD. From table 2, it is obvious that, the high hardness was measured on sample with duplex coating and additional ion implantation. With smaller load indentation, TiN(IBAD) coating show, irrespective of the coating thickness, the greatest increase in hardness.

The nanoindentation elastic modulus was calculated using the Oliver–Pharr data analysis procedure. The individual values of E are the different for all measurements, figure 1.

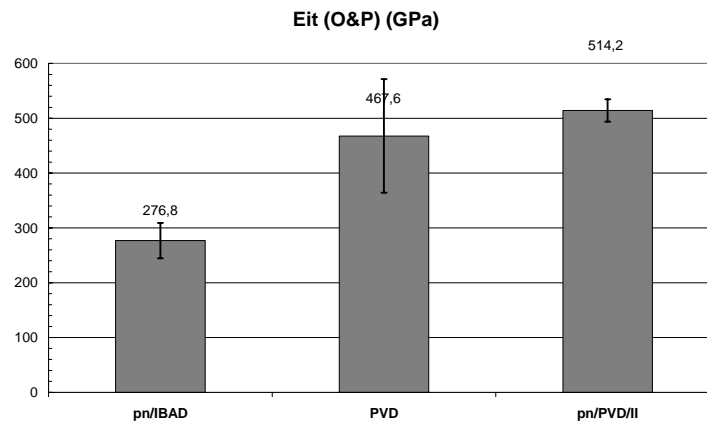


Figure 1. Young's elastic module.

The individual values of E are the different for all measurements. The errors related to the measurements and estimations were different and for duplex coating with ion implantation is less than 4%. Good agreement could be achieved between the E_c values and nanohardness.

For each measurement, the penetration (Pd), the residual penetration (Rd), the acoustic emission (AE) and the frictional force are recorded versus the normal load. The breakdown of the coatings was determined both by AE signal analysis and optical and scanning electron microscopy. AE permits an earlier detection, because the shear stress

is a maximum at certain depth beneath the surface, where a subsurface crack starts. Critical loads are presents in Figure 3. The critical load L_{c1} corresponds to the load inducing the first crack on the coating. No cracks were observed on sample 1. The critical load L_{c2} corresponds to the load inducing the partial delamination of the coating. The critical load L_{c3} corresponds to the load inducing the full delamination of the coating. AE permits an earlier detection, because the shear stress is a maximum at certain depth beneath the surface, where a subsurface crack starts (PVD).

The values for critical loads L_c are in general smaller for coatings deposited by PVD. Figure 2 presents the SEM photograph of a scratch channel of sample with film TiN(PVD) and figure 3 with TiN(IBAD).

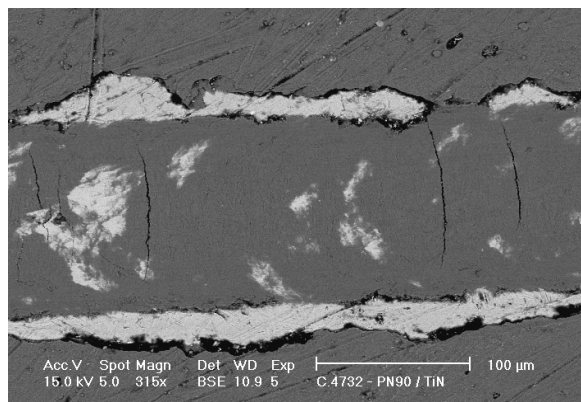


Figure 2. Delamination of TiN(PVD) coating observed by SEM (BSE).

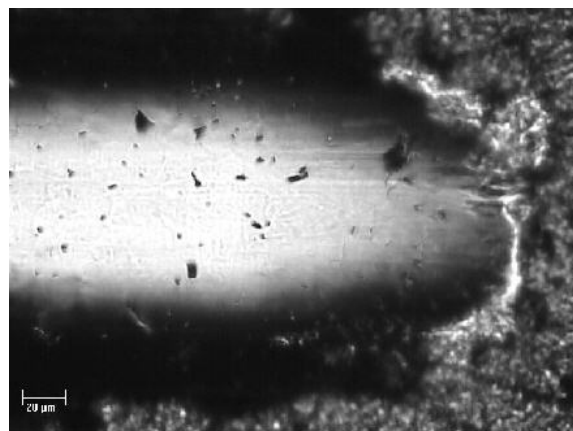


Figure 3. SEM photograph showing the sctrach channel of TiN(IBAD).

As known the sliding process is accompanied with the thermal effects. The significant part of the mechanical energy is converted into thermal energy. However , this thermal energy is inappropriate and the converted heat would be able to consider as a waste heat with negative environmental consequences. The friction coefficient of coated sample (TiN-IBAD) is presented in Figure 4.

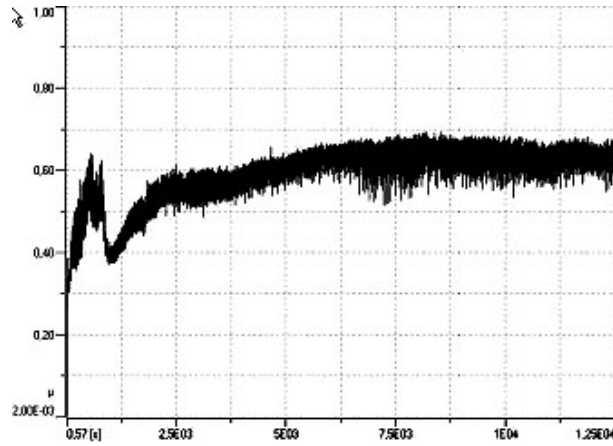


Figure 4. Friction coefficient of TiN(IBAD).

The wear rate of the hard coatings significantly decreases with increase in hardness and especially in H/E ratio.

X-ray diffractogram for the coating is shown in Fig 5.

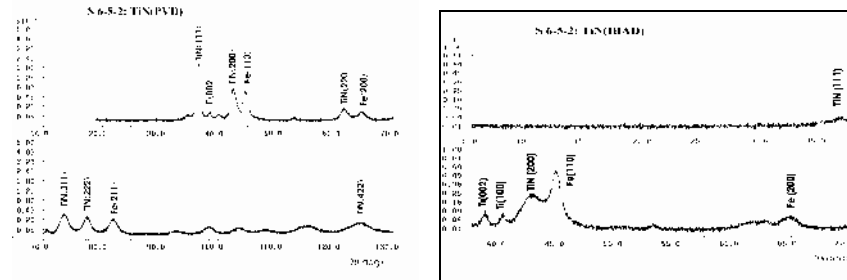


Figure 5. X-ray diffraction spectrums of a)TiN(PVD) and b)TiN(IBAD).

Compared with the corresponding XRD patterns shown in Figs 5, TiN film grown under ion beam assisted deposition has a (200) preferred orientation and TiN deposited by PVD has a (111) preferred orientation. During TiN film growth, titanium atoms are firstly piled, as compact as possible, depending on the local conditions. The nitrogen atoms occupy the octahedric sites in varying number according to the energy that these atoms possess to cross the potential barriers created by the surrounding titanium anions. The formation of (111) preferred orientation has its origin in a kinetically controlled growth. The (111) plane is the most closely packed and exhibits the lowest surface energy.

XRD analysis revealed the presence of only one phase, δ -TiN, and there are no evidence for other phases, such as Ti_2N , could be found. The ϵ - Ti_2N do not lead to a improvement in the tribological behaviour [5]. The coating morphology was evaluated using the well-known structure zone model of Thornton. All observed morphologies are believed to be from region of zone I (PVD) and from the border of region zone T

(IBAD). It has been suggested, that the transition from open porous coatings with low microhardness and rough surface, often in tensile stress to dense coatings films with greater microhardness, smooth surface occurs at a well defined critical energy delivered to the growing film.

The microstructure of the TiN film, Fig. 6, shows columns in the film.

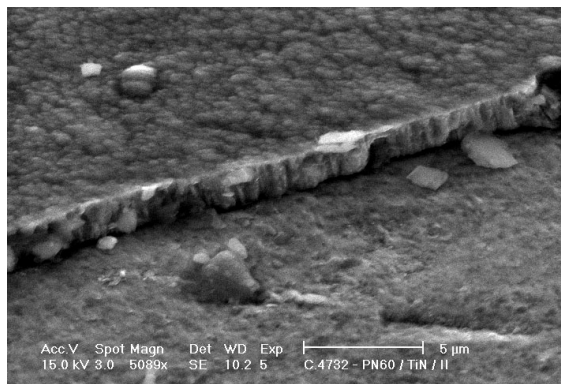


Figure 6. Surface morphologies of *pn/TiN(PVD)/II*.

4. CONCLUSIONS

Deposition of TiN on plasma nitrided steel by IBAD process was successfully used to produce a hard and wear-resistant surface.

It is shown that TiN (IBAD) coatings have a high wear resistance and low friction coefficient. The IBAD process reduces significantly the friction coefficients and improves the wear resistance.

The microhardness, the coating to substrate adhesion and morphology of the hard plasma nitrided with deposited TiN (IBAD) coating and additional ion bombardment offer the better wear resistance of the former coatings.

The above findings show that deposition process and the resulting coating properties depend strongly on the additional ion bombardment.

REFERENCES

1. K. Mogensen, N. Thomsen, S. Esikilden, C. Mathiasen and J. Bottiger, A parametric study of the microstructural, mechanical and tribological properties of PACVD TiN coatings, *Surface and Coatings Technology* 99, 1998, 140-146.
2. W. Ensinger, Ion bombardment effects during deposition of nitride and metal films, *Surface and Coatings Technology* 99 (1998) 1-13.
3. Batista J.C.A.; Godoy C.; Matthews A.; Leyland A., Process Developments Towards Producing Well Adherent Duplex PAPVD Coatings, *Surface Engineering*, 9, 2003, 37-44.
4. J.P. Celis, A system approach to the tribological testing of coated materials, *Surface and Coating Technology*, 74-75 (1995) 15-22
5. K. H. Bäther, U. Herrmann, A. Schröer, Ion-beam-assisted deposition of magnetron-sputtered metal nitrides, *Surface and Coating Technology*, 74-75 (1995) 793-801.



PREVLAKA NA BAZI GVOŽĐA NANETA NA OSNOVU OD ALI LEGURE PLAZMA SPREJ POSTUPKOM U ATMOSFERSKIM USLOVIMA

A. Vencl¹⁾, S. Avramović²⁾, A. Marinković³⁾

Rezime: Jedno od mogućih rešenja za prevazilaženje loših triboloških karakteristika aluminijumskih legura je nanošenje prevlaka različitim postupcima, među kojima se često koristi plazma sprej postupak u atmosferskim uslovima. Postoji niz parametara koji utiču na kvalitet nanete prevlake i njene karakteristike i koji moraju da se jasno definišu za svaku vrstu prevlake ponaosob. U ovom radu dat je prikaz razvijene tehnologije nanošenja praha na bazi gvožđa (Fe-1,3Cr-1,5Mn-1,2C-0,3Ni (mas. %)) na ravne i cilindrične površine. Takođe su analizirane osnovne karakteristike dobijene prevlake (metalografija, mikrotvrdoća i zatezna čvrstoća veze) kao i parametri mašinske obrade.

Ključne reči: Plazma sprej postupak u atmosferskim uslovima, prevlaka na bazi gvožđa, mikrostruktura, mašinska obrada

FERROUS-BASED COATING DEPOSITED ON ALI-ALLOY SUBSTRATE BY ATMOSPHERIC PLASMA SPRAYING (APS)

Abstract: One of the possible solutions for overcoming of poor aluminium alloys tribological properties is deposition of coating with various technologies, among which atmospheric plasma spray technology is often used. There are great number of parameters that influence on quality and characteristic of deposited coating and their values must be defined precisely for each type of coating individually. A review of the technology developed for deposition of ferrous-based powder spray (Fe-1.3Cr-1.5Mn-1.2C-0.3Ni (wt. %)) on flat and cylindrical surfaces is presented in this paper. Also a basic characteristic of coating (metallography, microhardness and tensile bond strength) are analysed, as well as parameters of coating machining.

Key words: Atmospheric plasma spraying (APS), ferrous-based coating, microstructure, machining

1. UVOD

Plazma sprej postupak predstavlja jednu od vodećih tehnologija za nanošenje prevlaka i u industriji se primenjuje skoro punih 50 godina, a prvo nanošenje prevlake ovim postupkom vezuje se za 1939. godinu [1]. Dugo je glavni korisnik ove tehnologije bila avio industrija, gde su zahtevi po pitanju kvaliteta i sigurnosti najoštriji. Kasnije je

¹⁾ Mr Aleksandar Vencl, Mašinski fakultet, Beograd, avencl@mas.bg.ac.yu

²⁾ Slavomir Avramović, Koncern "Petar Drapšin", Mladenovac, drapsin@EUnet.yu

³⁾ Dr Aleksandar Marinković, Mašinski fakultet, Beograd, amarinkovic@mas.bg.ac.yu

ova tehnologija našla primenu i u drugim industrijama, a u poslednjih 10-ak godina se radi na njoj široj primeni u automobilske industriji, gde se između ostalog koristi i kao zaštita unutrašnjih strana cilindara bloka motora izrađenog od aluminijuma. Danas se oko 60 % motora za putničke automobile proizvodi od aluminijuma [2] a prvi serijski proizveden automobil sa aluminijumskim blokom i zaštitnom plazma sprej prevlakom je bio Lupo VW, 2000. godine [3].

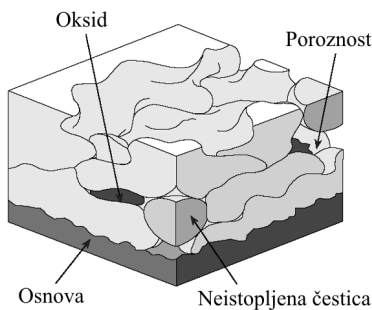
U slučaju primene prevlaka kod proizvodnje blokova motora od aluminijuma, koji ima zadovoljavajuće fizičko-mehaničke karakteristike, uloga nanete prevlake je da popravi tribološke karakteristike aluminijuma i time ga izjednači ili čak poboljša u odnosu na standardne materijale za izradu blokova. Upotrebom aluminijuma se dobija na smanjenju težine, uštedi goriva i smanjenju zagađenja okoline a bitno je napomenuti i veliku mogućnost recikliranja aluminijuma (oko 95 %) [4].

Kao i kod ostalih tehnologija i ovde se javlja niz problema koje treba rešiti da bi se dobile zadovoljavajuće karakteristike. Bez obzira na oblast primene neke od karakteristika su iste za sve prevlake: sastav i struktura, udeo pora, neistopljenih čestica i oksida, debljina, tvrdoća i čvrstoća veze. Ove karakteristike su usko povezane sa uslovima pripreme osnove i uslova nanošenja prevlake i njihovo znatno poboljšanje može da se očekuje optimizacijom ovih parametara. Prema stavu nekih istraživača [5] postoji više od 50 makroskopskih parametara koji utiču na kvalitet nanete prevlake, a tehnologija nanošenja je i dalje bazirana na metodi *trial and error*.

Cilj ovog rada je da ukaže na moguće probleme i rešenja kod postupka nanošenja prevlaka na bazi gvožđa na ravne i cilindrične površine od aluminijuma, da prikaže osnovne karakteristike dobijenih prevlaka, kao i parametre mašinske obrade. Karakteristike dobijene prevlake (metalografija, mikrotvrdoća i zatezna čvrstoća veze) su prihvaćene kao standardne od strane podkomiteta za standardizaciju procedura kontrole kvaliteta prevlaka nanetih plazma sprej postupkom, koji je u aprilu 1997. godine osnovan od strane evropskog avio komiteta za tehnologiju materijala (EACMT) [6].

2. TEORIJSKA RAZMATRANJA

Kod plazma sprej postupka uneta energija plazme se koristi za topljenje čestica praha materijala koji se nanosi. Tako istopljene čestice prenose se na osnovu koja je prethodno pripremljena i vezuju se, uglavnom mehanički, za nju tokom hlađenja. Detaljan opis samog postupka dat je detaljnije u drugom radu [7], a šematski prikaz nanete prevlake prikazan je na slici 1.



Slika 1: Šematski prikaz nanete prevlake

Na čvrstoću veze prevlake i osnove, pored optimalnih uslova nanošenja, utiče još niz faktora: hrapavost površine osnove, njena temperatura i čistoća, kondenzovana vlaga iz vazduha, sloj apsorbovanog gasa i eventualno zadržane čestice sredstva za hrapavljenje. Osnova se pre nanošenja hrapavi kako bi se povećala aktivna površina veze. Kod izbora sredstva za hrapavljenje i uslova uticajni parametri su: vrsta, veličina, oblik, čistoća i tvrdoća materijala za hrapavljenje, odnosno pritisak i ugao pod kojim se hrapavi osnova. Kao način za povećanje čvrstoće veze sa osnovom koriste se i međuslojevi, što kod ove kombinacije prevlaka/osnova nije neophodno i predstavlja pozitivnu stranu procesa. Čvrstoća veze se ispituje nedestruktivnim metodama, vizuelno preko metalografskih snimaka i destruktivnim metodama, pomoću uređaja za zatezna ispitivanja.

Pored vezivanja za osnovu od interesa je i vezivanje samih čestica međusobno tj. vezivanje u sloju. Slabije vezivanje u sloju je izraženije kod prevlaka veće debljine i onih koje su nanošene sa pauzama. To se objašnjava činjenicom da istopljena čestica dolazi na prethodno već ohlađeni sloj i deo toplotne energije prenosi na podsloj, međutim posmatrana čestica ne očvrstne potpuno, pada sledeća čestica koja se razliva i delimično stapa sa ovom, pa je i veza čvršća nego sa hladnim podslojem. Moguća je i oksidacija površine u dužem kontaktu sa vazduhom pa se preporučuje da se nanošenje vrši kontinualno, a ne u etapama.

Neki od parametara koji su od uticaja u okviru procesa nanošenja su: vrsta, protok i pritisak osnovnog i pomoćnog gasa, jačina struje, količina i protok unetog praha i rastojanje plazma sprej pištolja od osnove prilikom nanošenja. Takođe treba voditi računa i o načinu i brzini kretanja uzoraka, temperaturama, kao i broju prolaza odnosno debljini prevlake. Variranje parametara pripreme i procesa nanošenja rađeno je po šemi i menjano je: sredstvo za hrapavljenje (čelične kuglice, SiC i Al₂O₃), rastojanje (50, 75, 100 i 150 mm), količina unetog praha (2, 2,5, 4 i 4,5 kg/h) i broj prolaza odnosno debljina prevlake (150 i 250 μm) kao i dodatno hlađenje. Posle niza probnih uzoraka i njihove analize, a pre svega analize metalografskih snimaka, došlo se do izbora optimalnih parametara pripreme i nanošenja, koji su i korišćeni u eksperimentu.

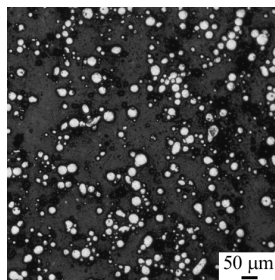
Ovi parametri direktno utiču na čvrstoću veze, količinu neistopljenih čestica, poroznost i sadržaj i vrstu oksida. Prisustvo neistopljenih čestica negativno utiče na karakteristike prevlake kao i poroznost, mada je prisustvo pora, do izvesne granice, u slučaju primene ovih prevlaka kod motora, povoljna jer pore imaju ulogu rezervoara za mazivo što utiče na kvalitet podmazivanja odnosno smanjenje trenja i habanja [8]. Prisustvo oksida, FeO (vustit) i Fe₃O₄ (magnetit), kao čvrstih maziva popravljaju tribološke karakteristike prevlake, a formiranje oksida Fe₂O₃ (hematit) treba izbegavati zato što se isti ponaša kao abraziv.

3. EKSPERIMENTALNI POSTUPAK

3.1 Materijali i priprema površine osnove

Materijal osnove bila je Al-Si legura (EN AlSi10Mg) sledećeg hemijskog sastava: Al-9,8Si-0,48Fe-0,1Cu-0,2Mn-0,3Mg-0,08Zn-0,05Ti (mas. %), proizvedena livenjem u pesku uz primenjenu termičku obradu zagrevanja na 540 °C brzinom od 35 °C/h, hlađenja u vodi, zagrevanja i držanja na temperaturi od 160±5 °C tokom 6 sati i hlađenja na vazduhu.

Hemijski sastav korišćenog praha bio je: Fe-1,2C-1,5Mn-1,3Cr-0,3Ni (mas. %) a veličina zrna je bila manja od 38 μm u prečniku (sl. 2).



Slika 2: Metalografski snimak korišćenog praha

Pre samog procesa nanošenja aluminijumska osnova je ohrapavljena korundom (Al_2O_3) prečnika 106-125 μm .

3.2 Parametri nanošenja

Za nanošenje prevlake plazma sprej postupkom u atmosferskim uslovima korišćena su dva plazma pištolja oznaka 7MB i 7MT. Prvim je prevlaka nanošena na ravne površine uzoraka, a drugim na unutrašnje strane cilindara kompresora za vazduh. Uzorci sa ravnim površinama korišćeni su za mehanička (metalografija, mikrotvrdoća i zatezna čvrstoća veze) i modelska tribološka ispitivanja, a cilindri su namenjeni za ispitivanje u realnim uslovima na probnom stolu. Ispitivanja na probnom stolu bi trebalo da se obave na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu u laboratoriji za motorna vozila. Unutrašnji prečnik cilindara bio je 74,05 mm, visina 88,6 mm, a parametri nanošenja za oba pištolja su prikazani u tabeli 1.

Tabela 1. Parametri nanošenja plazma sprej postupkom za korišćeni prah

Parametri nanošenja	Plazma sprej pištolj	
	7MB	7MT
Protok osnovnog gasa (Argon), l/min	100	80
Protok pomoćnog gasa (Vodonik), l/min	5	15
Jačina struje, A	500	500
Protok nosećeg gasa (Argon), l/min	37	60
Količina unetog praha, kg/h	2	2
Rastojanje pištolja od osnove, mm	150	21
Brzina rotacije uzoraka, mm/s	500	500
Transverzalna brzina pištolja, mm/s	4	10

3.3 Metalografska ispitivanja i ispitivanja tvrdoće i zatezne čvrstoće veze

Ispitivanja i karakterizacija prevlake rađena su prema *Pratt & Whitney* standardu [9], a prevlake na svim uzorcima su jednovremeno nanošene da bi se smanjila moguća međusobna odstupanja.

Mikrostruktura je analizirana pomoću optičkog mikroskopa (OM) i pomoću skenirajućeg elektronskog mikroskopa (SEM), a uzorci su sečeni normalno na površinu prevlake. Fazni sastav prevlake analiziran je pomoću rendgenskog difraktometra (XRD). Nakon identifikacije vrste oksida, njihov procentualni udeo kao i procentualni

udeo pora, prisustvo pukotina i neistopljenih čestica su određeni kompjuterskom analizom slike sa optičkog mikroskopa.

Mikrotvrdoća je merena Vickersovom metodom sa opterećenjem od 100 g.

Za merenja zatezne čvrstoće veze korišćena su po dva uzorka u paru od kojih je prevlaka nanošena samo na jedan od njih. Uzorci su spajani pomoću lepka i ostavljeni da se vežu učvršćeni u za to namenjen adapter. Ispitivanja su izvršena na univerzalnoj hidrauličnoj kidalici pri konstantnoj brzini od 0,5 mm/min. Prikazani rezultati mikrotvrdoće i zatezne čvrstoće veze su osrednjene vrednosti većeg broja merenja.

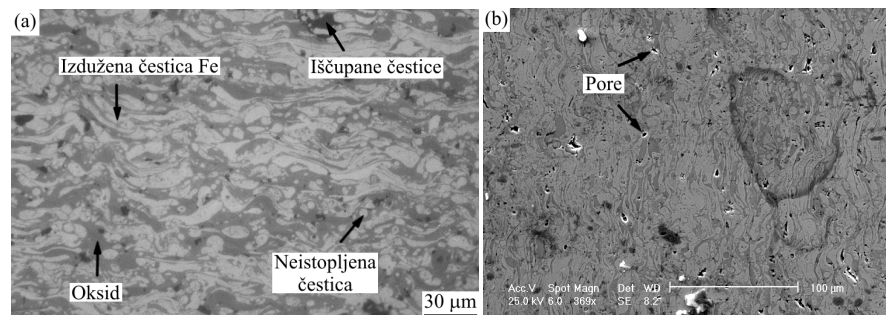
4. REZULTATI I DISKUSIJA

4.1 Karakteristike prevlake

Mikrostruktura prevlake (sl. 3) je lamelarna sa izduženim česticama istopljenog praha i oksidnim slojevima između. Ova struktura je tipična za prevlake nanete termički, procesom raspršivanja, u koje spada i plazma sprej postupak [10-11].

Prisustvo pukotina nije primećeno u samoj prevlaci, a ni na spoju prevlake sa osnovom, kao ni odvajanje prevlake od osnove. Zapreminski sadržaj oksida u prevlaci bio je oko 41 %, a poroznost je iznosila 5,8 %. Vrednost poroznosti je blizu očekivanih vrednosti za ovu vrstu prevlake (1 do 3%) [12], a raspored pora je bio nasumičan tj. nije došlo do njihovog grupisanja (sl. 3b). Zapreminski sadržaj neistopljenih čestica u prevlaci je iznosio približno 10 %.

Veće crne oblasti na samoj prevlaci predstavljaju delove na kojima je došlo do čupanja celih čestica iz prevlake, najverovatnije tokom pripreme uzoraka za metalografsku analizu (sl. 3a).



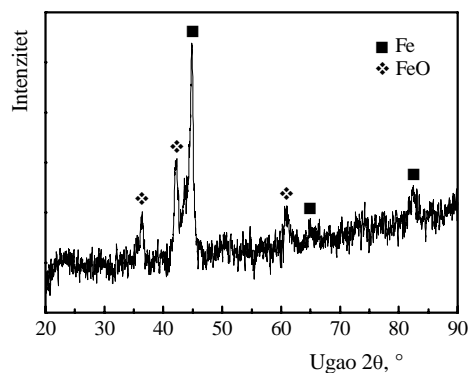
Slika 3: Fotografije prevlake nanete na ravnu površinu snimljene sa (a) OM i (b) SEM

Analiza pomoću rendgenskog difraktometra (XRD) otkrila je da se prevlaka sastoji od elementarnog gvožđa (Fe) i vustita (FeO). Prisustvo ostalih faza bilo je znatno manje, ispod 3 % (sl. 4).

Vrednost mikrotvrdoće iznosila je 433 HV 0.1, što je u očekivanim granicama od 350 do 650 HV 0.3, za ovu vrstu prevlake i ovu namenu [12]. Vrednost tvrdoće manja od propisane ne zadovoljava sa aspekta nosivosti, a veća vrednost produžava vreme trajanja mašinske obrade.

Vrednost zatezne čvrstoće veze prevlake sa osnovom iznosila je 32,88 MPa, što je nešto niže od očekivane vrednosti (40 do 50 MPa) ali je i dalje iznad minimalne

vrednosti koja je propisana za primenu ove vrste prevlake kod motora SUS i koja iznosi 30 MPa [12].



Slika 4: Difraktogram ispitivane prevlake

Procesom nanošenja postignuta je ravnomerna raspodela debljine prevlake po celoj širini. Na ravnim površinama je pre mašinske obrade iznosila 270 μm , a obradom je skinuto 100 μm . Debljina prevlake na unutrašnjoj strani cilindra nakon nanošenja bila je oko 700 μm , a posle obrade 150 do 180 μm . U slučaju nanošenja prevlake deblje od predloženih vrednosti moguća je pojava pukotina i odvajanja prevlake od osnove, u toku nanošenja ili obrade. Ovo se i dogodilo kod cilindra na kome je debljina prevlake posle nanošenja iznosila 1500 μm (sl. 5).



Slika 5: Pojava pukotina i odvajanje prevlake

4.2 Mašinska obrada prevlake

Postoji više načina mašinske obrade prevlaka nanetih na unutrašnju stranu cilindrične površine, a izbor načina obrade zavisi od željenog kvaliteta obrađene površine tj. uslova rada odnosno cene postupka. Obradom prevlaka treba da se postignu dva cilja: da se spreči stvaranje pukotina odnosno odvajanje prevlake i da se spreči zatvaranje površinskih pora koje prevlaka ima sama po sebi.

Kao polazna tačka izabran je postupak standardnog honovanja sa parametrima koji se primenjuju kod obrade sivog liva. Honovanje je izvršeno u samo jednom koraku sa dijamantskim belegijama dimenzija 68 x 5 x 5 mm. Veličina zrna bila je D64 prema FEPA (Fédération Européennes des Fabricants de Produits Abrasifs) standardu,

koncentracija $0,44 \text{ ct/cm}^3$, a veza metalna. Veličina zrna alata, u određenim granicama, ne utiče na hrapavost prevlake pošto prilikom obrade, u određenom procentu, dolazi do čupanja celih čestica istopljenog praha, što nije dobro jer se time povećava potrošnja maziva i stvaraju se inicijalne pukotine tj. smanjuje se otpornost na zamor prevlake. Da bi se ovo izbeglo potrebna je primena alata, makar u poslednjem koraku honovanja, koji bi prodirao kroz čestice neslabeci njihovu međusobnu vezu.

Pošto prevlaka poseduje dovoljan broj pora tj. rezervoara za mazivo, stvaranje novih honovanjem nije neophodno pa tako ni ugao honovanja, koji je iznosio 36° u odnosu na $40-60^\circ$ koliko iznosi pri obradi sivog liva, ne bi trebalo da značajnije utiče na tribološke karakteristike prevlake [12]. Broj obrtaja glave alata bio je 160 o/min a korak 67 dh/min (dh – dvostruki hod).

Prilikom obrade primenjena je manja brzina rezanja ($33,5 \text{ } \mu\text{m/min}$ po poluprečniku) i manje povećanje opterećenja u odnosu na standardni postupak. Manja brzina je izabrana da bi se izbeglo da čestice abraziva budu "uhvaćene" u prevlaku velikom brzinom, što rezultira odvaljivanjem prevlake, dok je manje povećanje opterećenja izabrano da bi se izbeglo utiskivanje prevlake u meku aluminijumsku osnovu što izaziva stvaranje napona, koji takođe rezultiraju odvajanjem prevlake.

Sredstvo za hlađenje bilo je pravo ulje za honovanje (kinematska viskoznost na $40 \text{ }^\circ\text{C} = 5,5 \text{ mm}^2/\text{s}$). Izborom pravog ulja kao sredstva za hlađenje, u odnosu na sredstva koja se pri upotrebi mešaju sa vodom, dobija se bolji kvalitet obrađene površine, usled boljeg podmazivanja, ali je hlađenje slabije i veća količina produkata obrade ostaje unutar pora, mada se oni naknadnim pranjem površina relativno lako uklanjaju.

Hrapavost prevlake, koja utiče na potrošnju ulja i veličinu trenja, bila je manja od $R_a = 1 \text{ } \mu\text{m}$, što se uklapa sa zahtevima za cilindre od sivog liva čija propisana hrapavost iznosi $R_a = 0,6 - 1 \text{ } \mu\text{m}$. Ovalnost je iznosila 5 do $10 \text{ } \mu\text{m}$, što je takođe u granicama prihvatljivog.

Prvi pokazatelji govore da je ovaj način obrade prevlaka nanetih na cilindrične površine moguć i zadovoljavajući sa aspekta stvaranja pukotina odnosno odvajanja prevlake. Postojeća poroznost prevlake trebalo bi da bude dovoljna da obezbedi adekvatno podmazivanje, međutim, konsekventniji rezultati koji mogu da ukažu na eventualne nedostatke postupka nanošenja i obrade prevlake, mogu da se dobiju samo sa ispitivanjima na probnom stolu i u realnim uslovima.

3. ZAKLJUČAK

Plazma sprej postupak nanošenja prevlaka na bazi gvožđa je jedan od načina za prevazilaženje loših triboloških karakteristika aluminijumskih legura, a na sam proces i kvalitet dobijene prevlake utiču niz parametara koji moraju da se jasno definišu za svaku vrstu prevlake ponaosob.

Izborom odgovarajućih parametara dobijene su prevlake čija se mikrostruktura sastoji od lamela izduženih čestica istopljenog praha sa slojevima vustita (FeO) između, nastalih usled reakcije sa kiseonikom iz vazduha. Takođe je primećeno prisustvo pora i neistopljenih čestica praha.

Mikrotvrdoća i zatezna čvrstoća veze bile su u očekivanim granicama za ovu vrstu prevlake.

Prve analize primenjene mašinske obrade honovanjem, prevlaka nanetih na cilindričnu površinu, pokazuju da nije došlo do stvaranja pukotina i odvajanja prevlake odnosno zatvaranja postojećih površinskih pora i mogu da posluže kao polazna osnova za dalje optimiziranje parametara obrade.

ZAHVALNICA

Ovo ispitivanje je izvedeno u okviru EUREKA projekta broj E! 3240 koji je finansijski pomoglo Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije, na čemu im se ovom prilikom zahvaljujemo.

LITERATURA

- [1] --, Introduction to Thermal Spray Processing, u: *Davis, J.R.* (ed.), Handbook of Thermal Spray Technology, Thermal Spray Society i ASM International, (ISBN 0-87170-795-0), Matirijals Park (SAD), 2004, s. 3-13.
- [2] *Barbezat, G.*, Advanced thermal spray technology and coating for lightweight engine blocks for the automotive industry, The International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films - ICMCTF, privatna prepiska, 2 - 6 Maj 2005, San Diego (SAD).
- [3] *Barbezat, G., Herber, R.*, Breakthrough in Improving Car Engine Performance through Coatings, Sulzer Technical Review (ISSN 1660-9042), Vintertur (Švajcarska), (2001) br. 2, s. 8 – 11.
- [4] --, Aluminium in Automotive Industry, European Aluminium Association, brošura, internet adresa: <http://www.eaa.net/downloads/auto.pdf>
- [5] *Lugscheider, E., Barimani, C., Eckert, P., Eritt, U.*, Modeling of the APS plasma spray process, Computational Materials Science (ISSN 0927-0256), Amsterdam (Holandija), Vol. 7 (1996) br. 1-2, s. 109-114.
- [6] *Sauer, J., van Wonderen, M.*, Standardization in Coating Evaluation: A Universal System for Repair Coatings, članak, internet adresa: http://www.sauerengineering.com/pdfs/eacmt2002_evaluation.pdf
- [7] *Vencl, A., Mrdak, M., Cvijović, I.*, Microstructures and tribological properties of ferrous coatings deposited by APS (Atmospheric Plasma Spraying) on Al-alloy substrate, FME Transactions (ISSN 1451-2092), Beograd, (2006), prihvaćeno za štampu.
- [8] *Dohmen, J., Hermsen, F.G., Barbezat, G.*, Untersuchungen an plasmabeschichteten Zylinderlaufflächen, MTZ (ISSN 0024-8525), Vizbaden (Nemačka), Vol. 65 (2004) br. 3, s. 204-208.
- [9] --, Turbojet engine - standard practices manual, Part No 582005, Pratt & Whitney
- [10] *Schorr, B.S., Stein, K.J., Marder, A.R.*, Characterization of Thermal Spray Coatings, Materials Characterization (ISSN 1044-5803), Amsterdam (Holandija), Vol. 42 (1999) br. 2-3, s. 93-100.
- [11] *Hwang, B., Ahn, J., Lee, S.*, Correlation of Microstructure and Wear Resistance of Ferrous Coatings Fabricated by Atmospheric Plasma Spraying, Metallurgical and Materials Transactions A (ISSN 1073-5623), Matirijals Park (SAD), Vol. 33A (2002) br. 9, s. 2933-2945.
- [12] *Barbezat, G., Schmid, J.*, Plasmabeschichtungen von Zylinderkurbelgehäusen und ihre Bearbeitung durch Honen, MTZ (ISSN 0024-8525), Vizbaden (Nemačka), Vol. 62 (2001) br. 4, s. 314-320.



TRIBOLOŠKE KARAKTERISTIKE KOMPOZITA SA OSNOVOM OD ZA-27 LEGURE OJAČANE ČESTICAMA GRAFITA

S. Mitrović¹⁾, M. Babić²⁾, I. Bobić³⁾

Rezime: U radu su prezentirani pojedini rezultati triboloških ispitivanja kompozita sa osnovom od ZA-27 legure ojačane česticama grafita veličina 20, 35 i 100 μm u količinama od 1, 1.2, 2 i 3 mas.%. Tribološka ispitivanja su izvršena na block-on-disc tribometru uz variranje tri nivoa normalnog kontaktnog opterećenja (2 daN, 5 daN i 8 daN) sa podmazivanjem, tri nivoa normalnog kontaktnog opterećenja (1 daN, 3 daN i 5 daN) bez podmazivanja i tri nivoa brzine klizanja (0.26 m/s, 0.50 m/s i 1.00 m/s). U svim ispitivanim slučajevima habanje dobijenih kompozita je bilo manje od habanja osnovnog materijala odnosno ZA-27 legure.

Ključne reči: Kompoziti, ZA-27 legure, Grafit, Koeficijent trenja, Habanje

TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF ZA-27 ALLOY COMPOSITES REINFORCED WITH GRAPHITE PARTICLES

Abstract: The paper present results of investigation of friction and wear behavior of ZA-27 alloy composites reinforced with graphite particles of size 20, 35 and 100 μm . The content of graphite in the alloy was 1, 1.2, 2 and 3 wt.%. Tribology tests were carried out using a block-on-disk tribometer. The test was conducted at loads of 2, 5 and 8 daN (lubricated conditions) and 1, 3 and 5 daN (dry conditions) and tangential speed of 0.26 m/s, 0.50 m/s and 1.00 m/s.

The results indicated that the wear of the composites was lesser than of matrix ZA-27 alloy.

Key words: Composites, ZA-27 alloy, Graphite particle, Wear behaviour

1. UVOD

Kompozit predstavlja oblikovani proizvod sastavljen od kompozitnog materijala. Kompozitni materijal je čvrsti materijal koji se sastoji od kombinacije dve ili više jedinstvenih materijala i u kojem pojedine komponente zadržavaju svoj zaseban identitet. Kompozit ima svojstva različita od svojstava njegovih komponenti.

¹ Mr Slobodan Mitrović, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, boban @kg.ac.yu

² Dr Miroslav Babić, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, babic@kg.ac.yu

³ Dr Ilija Bobić, Institut za nuklearne nauke "Vinča", Srbija, ilijab@vin.bg.ac.yu

Osnovni cilj jeste dobijanje kompozitnog materijala sa superiornim fizičkim svojstvima u odnosu na svojstva komponenata. Kompozitni materijal ima takođe i heterogenu strukturu sastavljenu od dveju ili više faza koje dolaze od njegovih komponenata. Jedna faza nazvana ojačivačem, daje jačinu i tvrdoću, a druga se naziva matricom ili vezivom i ona okružuje i drži zajedno grupe vlakana ili fragmente ojačivača.

Prednosti kompozitnih materijala u poređenju sa osnovama ogledaju se u poboljšanju mehaničkih osobina, pre svega u povećanju specifičnog modula elastičnosti i većoj čvrstoći, povećanju otpornosti prema habanju, otpornosti na koroziju i visoke temperature, hemijsku inertnost, izdržljivost i postojanost [1-5].

Poboljšane osobine kompozitnih materijala pružaju mogućnost njihove široke primene. U poslednjim decenijama napravljeno je mnoštvo novih kompozita sa nekim izuzetno korisnim osobinama. Pažljivim izborom materijala ojačivača i matrice i proizvodnog procesa kojim se oni spajaju, mogu se dobiti kompoziti sa svojstvima potrebnim za specijalne primene. Kompozitni materijali danas se koriste u metalnoj, automobilskoj, avionskoj, elektronskoj industriji, medicini, građevinarstvu itd.

Izrada kompozita sa osnovom od legura cinka počela je osamdesetih godina prošlog veka u Round Oaks Laboratories i Aston University u Engleskoj. Kao osnova, korišćena je legura cinka $ZnAl30Cu2$, a ojačivači kratka vlakna Al_2O_3 [2]. Bolje, opšte, osobine kompozita sa osnovom od legura cinka; ($ZnAl27Cu2$ i $ZnAl12Cu1$) legura uz dodatak vlakana Al_2O_3 postigla je grupa istraživača sa MIT-a [3]. Doprinos razvoju kompozitnih materijala sa osnovom od legura cinka dale su i grupe istraživača iz Izraela (Israel Institute of Metals, Haifa), koji su utvrdili znatno poboljšanje otpornosti prema habanju kompozita sa osnovom od legure cinka sa 27 mas.% aluminijuma i Singapura (Dept. of Mech. Eng., Singapore), koji su uveli nove ojačivače u osnovu od iste legure (staklo, Zr_2O_3 i grafit) [4,5].

Saradnjom Instituta za nuklearne nauke "Vinča" i Centra za tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu razvijeni su kompoziti sa osnovom od ZA-27 legure ojačane česticama grafita i isptane su njihove tribološke karakteristike. U okviru ovog rada prikazan je samo deo rezultata obimnih istraživanja. Ceo projekat je podržan od strane Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

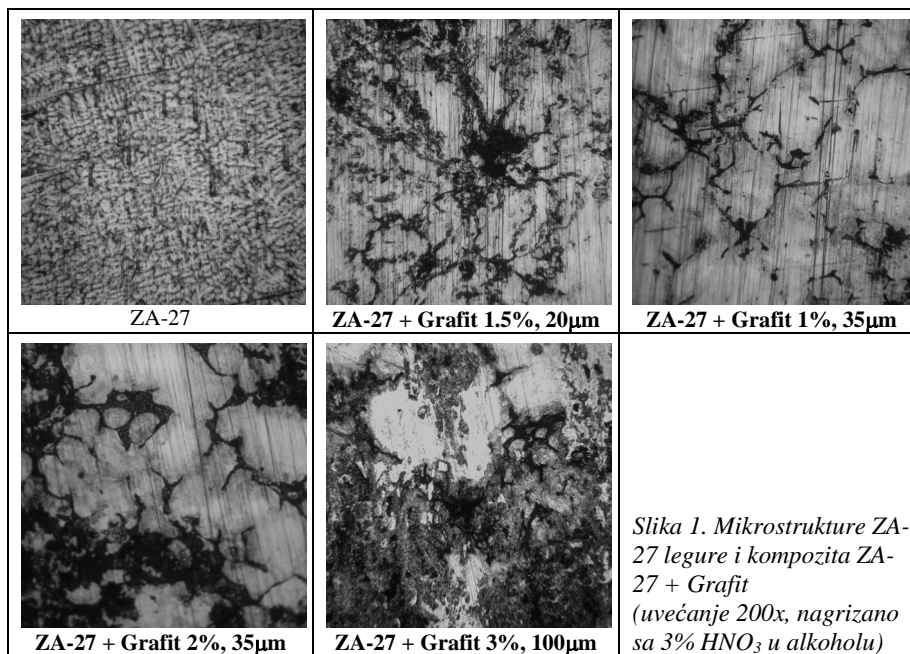
Kompozitni materijali sa osnovom od ZA-27 legure ojačane česticama grafita dobijeni su kompokasting postupkom. Kao ojačivač korišćen je grafit veličine čestica 20, 35 i 100 μm . Sitnije čestice infiltrirane su u količinama od 1, 1.5 i 2 mas.%, a krupnije čestice grafita (100 μm) infiltrirane su u količini od 3 mas%. Dobijeni su uzorci koji su naknadno toplo presovani da bi se umanjila poroznost. Iz otpresaka su, zatim, izrađivani uzorci za tribološka ispitivanja.

U tabeli 1 prikazan je hemijski sastav osnovnog materijala ZA-27 legure utvrđen hemijskom apsorpcijom.

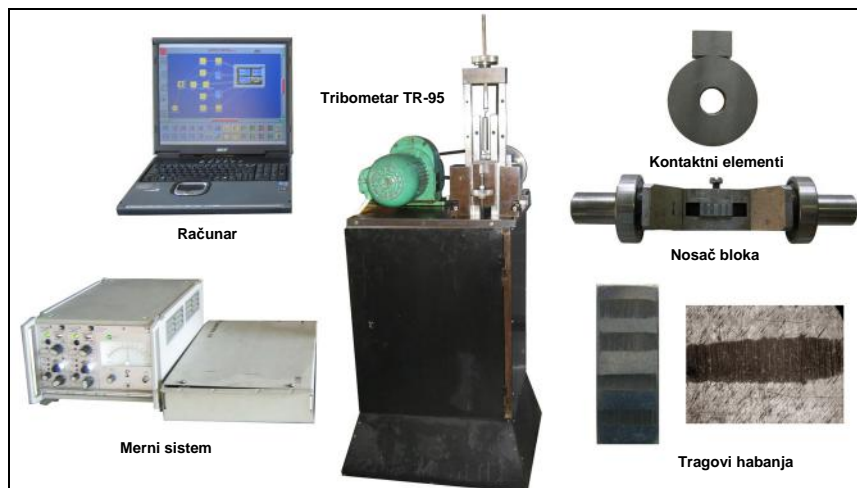
Tablela 1. Hemijski sastav ZA-27 legure

Uzorci	Elementi, %				
	Al	Zn	Cu	Fe	Mg
ZA-27 liveno u čeličnoj kokili	28.47	67.77	2.51	0.145	0.011

Na slici 1 prikazane su mikrostrukture osnovnog materijala ZA-27 legure i dobijenih kompozita ZA-27+Grafit (uvećanje 200x, nagrizano sa 3% HNO₃ u alkoholu).



Ispitivanje triboloških karakteristika ZA-27+Grafit kompozita bila su modelskog tipa i obavljena su na unapređenom i kompjuterski podržanom tribometru TR-95 sa block-on-disc kontaktnom geometrijom u Centru za tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu (slika 2).



Slika 2: Tribometar, merni sistem i kontaktna geometrija

Opitni kontakti par odgovara zahtevima odgovarajućeg ASTM G 77 standarda. Sačinjava ga rotacioni disk prečnika $D_d=35$ mm i širine $b_d=6.35$ mm i stacionarni blok širine $b_b=6.35$ mm, dužine $l_b=15.75$ mm i visine $h_b=10.16$ mm.

Diskovi su izrađivani od čelika Č 5432 tvrdoće 55 HRC sa brušenim površinama, hrapavosti $R_a=0.49$ μm , a blokovi od ispitivanih ZA-27 + Grafit kompozita, sa brušenim kontaktnim površinama, hrapavosti $R_a = 0.32$ μm .

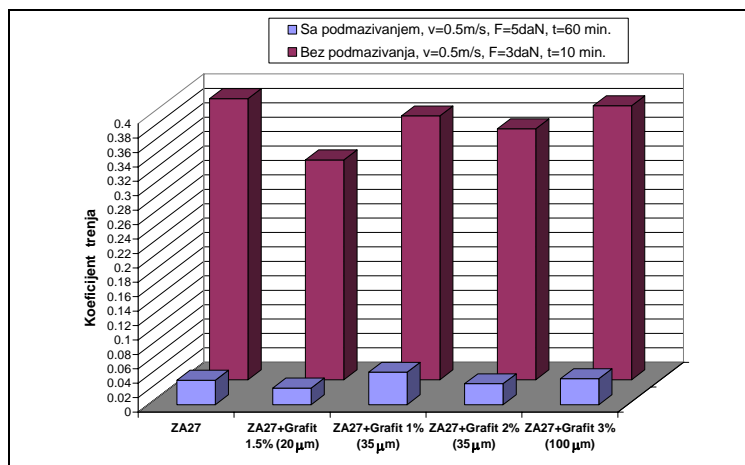
Ispitivanja su vršeni uz variranje tri nivoa brzine klizanja - 0.26 m/s, 0.50 m/s i 1.00 m/s i tri nivoa normalnog kontaktnog opterećenja - 2 daN, 5 daN i 8 daN, sa podmazivanjem u trajanju od 60 min. i tri nivoa normalnog kontaktnog opterećenja - 1 daN, 3 daN i 5 daN, bez podmazivanja u trajanju od 10 min. Podmazivanje kontaktnog para realizuje se tako što je disk donjim krajem uronjen do dubine od 3 mm u rezervoar sa uljem zapremine 30 ml i pri rotaciji kontinualno donosi ulje u zonu kontakta. U svim testovima sa podmazivanjem korišćeno je isto hidraulično ulje koje po standardu JUS ISO 11158:2003 odgovara tipu HL i kategoriji HM (ulje tipa HL sa poboljšanim karakteristikama protiv habanja, gradacije viskoznosti VG 46 (ISO 3448)).

3. REZULTATI TRIBOLOŠKIH ISPITIVANJA

Za kontinualno praćenje procesa trenja i merenje parametara trenja tribometar je opremljen odgovarajućim mernim sistemom podržanim PC računom. Tokom trajanja testova mereni su normalna sila i sila trenja i automatski je generisan računski signal koeficijenta trenja. Kao osnovni parametar habanja korišćena je širina traga habanja na kontaktnoj površini bloka.

Zbog obimnosti rezultata ispitivanja u radu su prikazane samo uporedne vrednosti koeficijenata trenja i širina traga habanja za srednju brzinu klizanja i srednju vrednost normalnog opterećenja. Sva ispitivanja su vršena sa tri ponavljanja a zatim su dobijeni rezultati statistički obrađeni i predstavljeni odgovarajućim dijagramima.

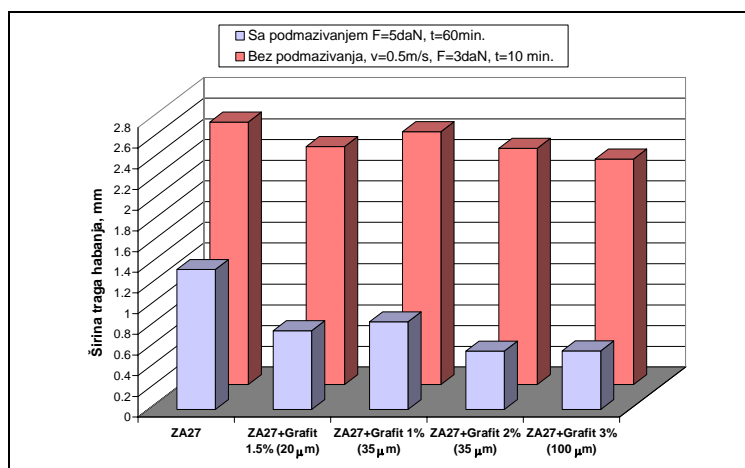
Na slici 3 prikazane su srednje vrednosti koeficijenata trenja ispitivanih kompozitnih materijalaza za brzinu klizanja $v=0,5$ m/s i normalno opterećenja $F_n=5$ daN u uslovima sa podmazivanjem i $F_n=3$ daN u uslovima bez podmazivanja.



Slika 3. Koficijent trenja ZA-27 legure i ZA-27+ Grafit kompozita

Iz prethodnog dijagrama može se uočiti da najbolje frikционе karakteristike ima kompozitni materijal sa osnovom od ZA-27 legure ojačane česticama grafita veličina 20 μm u količini od 1.5 mas.% kako u uslovima sa, tako i bez podmazivanja. Sa povećanjem kako mas.% grafita tako i veličine čestica koeficijent trenja raste.

Na slici 4 prikazane su srednje vrednosti širine traga habanja na kontaktnoj površini bloka ispitivanih kompozitnih materijalaza za brzinu klizanja $v=0,5$ m/s i normalno opterećenja $F_n=5$ daN u uslovima sa podmazivanjem i $F_n=3$ daN u uslovima bez podmazivanja.



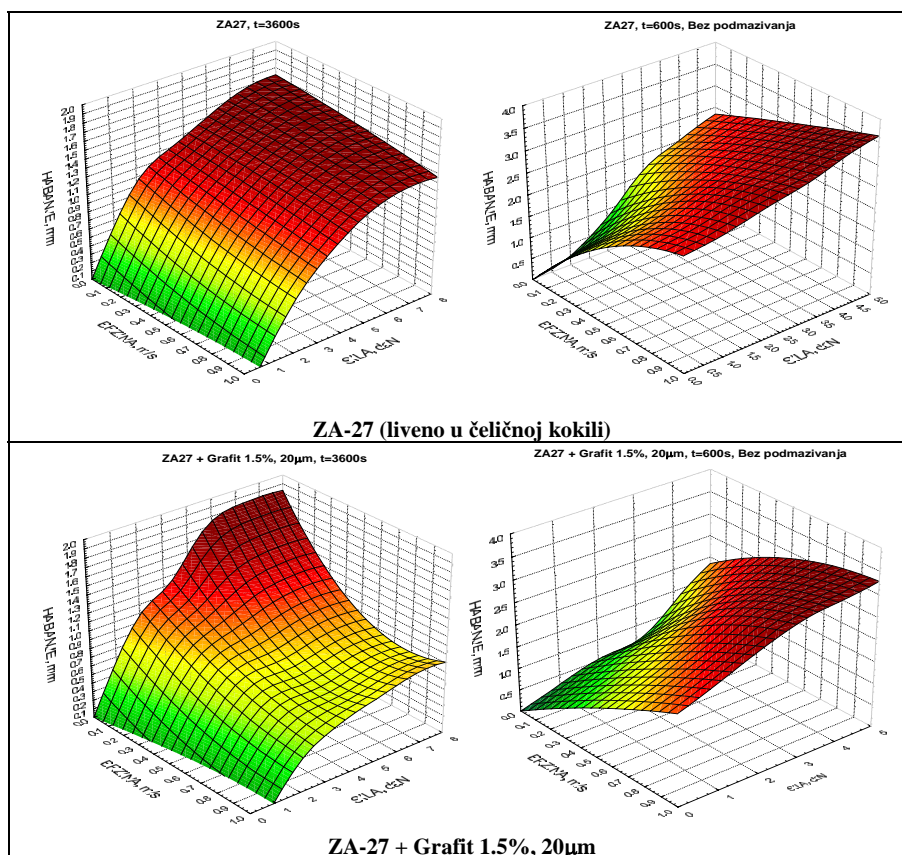
Slika 4. Širine traga habanja ZA-27 legure i ZA-27+ Grafit kompozita

Sa slike 4 jasno se može primetiti da u svim uslovima ispitivanja, kompozitni materijali pokazuju znatno manje habanje u odnosu na osnovni materijal.

Pri tribološkim ispitivanjima sa podmazivanjem najveću otpornost na habanje pokazao je kompozitni materijala ojačan česticama grafita veličina 35 μm u količini od 2 mas.%, a u ispitivanjima bez podmazivanja najveću otpornost na habanje pokazao je kompozitni materijala ojačan česticama grafita veličina 100 μm u količini od 3 mas.%.

Na osnovu svih prikupljenih podataka, tokom obimnih triboloških ispitivanja kompozitnih materijala sa osnovom od ZA-27 legure ojačane česticama grafita različitih veličina i različitih mas.%, mogu se definisati zavisnosti koeficijenta trenja i širine traga habanja od uslova ispitivanja. Statističkom obradom prikupljenih podataka, uz primenu odgovarajućih softverskih paketa, dobijene su ove zavisnosti u funkciji brzine klizanja i kontaktnog opterećenja, a koje je moguće i grafički predstaviti.

Na slici 5 grafički su prikazane zavisnosti promene širine traga habanja od brzine klizanja i normalnog opterećenja ispitivanih kompozitnih materija, u slučaju sa i bez podmazivanja. Rezultati pokazuju da se širina traga habanja povećava sa rastom normalne sile kontaktnog opterećenja. Takođe, utvrđeno je da se sa povećanjem brzine klizanja smanjuje širina traga habanja pri podmazivanju, odnosno povećava bez podmazivanja.



Slika 5. Širina traga habanja u funkciji brzine klizanja i normalnog opterećenja

4. ZAKLJUČAK

Primenom kompokasting postupka dobijeni su kompozitni materijali sa osnovom od ZA-27 legure ojačane česticama grafita koji pokazuju bolja tribološka svojstva od osnovnog materijala.

Rezultati istraživanja pokazuju da najbolje frikционе karakteristike ima kompozitni materijal sa osnovom od ZA-27 legure ojačane česticama grafita veličine 20 μ m u količini od 1.5 mas.%. U uslovima sa podmazivanjem koeficijent trenja kod ovog kompozitnog materijala smanjuje se za oko 32%, a bez podmazivanja za 22%.

U svim uslovima ispitivanja, kompozitni materijali pokazuju znatno manje habanje u odnosu na osnovni materijal. Pri tribološkim ispitivanjima sa podmazivanjem najveću otpornost na habanje pokazao je kompozitni materijal ojačan česticama grafita veličina 35 μ m u količini od 2 mas.%, gde se širina traga habanja smanjuje do čak 58%, a u ispitivanjima bez podmazivanja najveću otpornost na habanje pokazao je kompozitni materijal ojačan česticama grafita veličina 100 μ m u količini od 3 mas.%, kod koga se trag habanja smanjuje za 15% u odnosu na osnovni materijal.

LITERATURA

- [1] Z.Zhu, A Literature Survey on Fabrication Methods of Cast Reinforced Metal Composites, ASM International USA, "Cast Reinforced Metal Composites", (1988.)
- [2] E.J.Kubel, Expanding Horizons for ZA Alloys, Advances Materials and Process, vol. 7 (1987.), 51-57
- [3] I. A. Cornie, R. Guerriero, L. Meregalli, I. Tangerini, Microstructures and Properties of Zinc-Alloy Matrix Composite Materials, "Cast Reinforced Metal Composites", (1988.), 155-165.
- [4] N. Karni, G.B. Barkay, M. Bamberger, Structure and Properties of Metal-Matrix Composite, J. of Mat. Scie Letters, 13, (1994.), 541-544
- [5] K.H.W. Seah, S.C. Sharma, B. M. Girish, Mechanical Properties of Cast ZA-27/ Graphite Particulate Composites, Materials & Design, vol.16, 1995.
- [6] M. Babic, R. Ninkovic, Zn-Al Alloys as Tribomaterials, Tribology in industry, Vol. 26, No 1 & 2, 2004., 3-7
- [7] I. Bobić, Doktorska disertacija, TMF, Beograd, (2003.)
- [8] S.C. Sharma, B.M. Girish, Rathnaka Kramath, B.M. Satish, Graphite particles reinforced ZA-27 alloy composite materials for journal bearing applications, Wear 219, (1998.), 162-168
- [9] S.C. Sharma, B.M. Girish, Rathnakar Kamath, B.M. Satish, Effect of SiC particle reinforcement on the unlubricated sliding wear behaviour of ZA-27 alloy composites, Wear 213, (1997.), 33-40
- [10] S.C. Sharma, B.M. Girish, Rathnakar Kamath, B.M. Satish, Sliding wear behaviour of zircon particles reinforced ZA-27 alloy composite materials, Wear 224, 1999.
- [11] F.Kovačiček, I.Žmak, Metalni kompoziti, MATRIB2004, Vela Luka, 2004., 349-356
- [12] I. Bobić, M. T. Jovanović, N. Ilić, Microstructure and Strength of ZA-27-Based Composites Reinforced with Al₂O₃ Particles., Materials Letters, 2003.
- [13] G. Ranganath, S.C. Sharma, M. Krishna, Dry slideing wear og garnet reinforced zinc/aluminium metal matrix composites, Wear 251, (2001.), 1408-1413
- [14] M. Kok, Production and mechanical properties of Al₂O₃ particle reinforced 2024 aluminium alloy composites, Journal of Materials Processing Technology 161, (2005.), 381-387
- [15] M. F. Ashby, D. R. H. Jones, Engineering Materials 1&2, An Introduction to their Properties and Applications, Elsevier Science, 2002.
- [16] V. V. Vasiliev, E. V. Morozov, Mechanics and analysis of composite materials, Elsevier Science, 2001.
- [17] E. A. Brandes, G. B. Brook, Smithells Metals Reference Book, Butterw orth-Heinemann, 2002.



TRIBOLOŠKE KARAKTERISTIKE KOMPOZITA SA OSNOVOM OD ZA-27 LEGURE OJAČANE ČESTICAMA Al_2O_3

S. Mitrović¹⁾, M. Babić²⁾, I. Bobić³⁾

Rezime: U radu su prezentirani pojedini rezultati triboloških ispitivanja kompozita sa osnovom od ZA-27 legure ojačane česticama Al_2O_3 veličina 12 i 250 μm u količinama od 3, 5 i 10 mas.%. Tribološka ispitivanja su izvršena na block-on-disc tribometru uz variranje tri nivoa normalnog kontaktnog opterećenja (2 daN, 5 daN i 8 daN) sa podmazivanjem i tri nivoa normalnog kontaktnog opterećenja (1 daN, 3 daN i 5 daN) bez podmazivanja i tri nivoa brzine klizanja (0.26 m/s, 0.50 m/s i 1.00 m/s).

U svim ispitivanim slučajevima habanje dobijenih kompozita je bilo manje od habanja osnovnog materijala odnosno ZA-27 legure.

Ključne reči: Kompoziti, ZA-27 legure, Al_2O_3 čestice, Koeficijent trenja, Habanje

TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF ZA-27 ALLOY COMPOSITES REINFORCED WITH Al_2O_3 PARTICLES

Abstract: The paper present results of investigation of friction and wear behavior of ZA-27 alloy composites reinforced with Al_2O_3 particles of size 12 and 250 μm . The content of Al_2O_3 in the alloy was 3, 5 and 10 wt.%. Tribology tests were carried out using a block-on-disk tribometer. The test was conducted at loads of 2, 5 and 8 daN (lubricated conditions) and 1, 3 and 5 daN (dry conditions) and tangential speed of 0.26 m/s, 0.50 m/s and 1.00 m/s.

The results indicated that the wear of the composites was lesser than of matrix ZA-27 alloy.

Key words: Composites, ZA-27 alloy, Al_2O_3 particle, Wear behaviour

1. UVOD

Kompozitni materijali nastaju sjedinjavanjem dva ili više različitih materijala. Polazni materijali imaju međusobno različite osobine i njihov spoj daje potpuno novi materijal. On ima jedinstven, sasvim nova i drugačija svojstva u odnosu na sastavne komponente. Cilj je da se poboljšaju strukturne, tribološke, termičke, hemijske ili neke druge karakteristike pojedinačnih materijala.

¹⁾ Mr Slobodan Mitrović, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, boban @kg.ac.yu

²⁾ Dr Miroslav Babić, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, babic@kg.ac.yu

³⁾ Dr Ilija Bobić, Institut za nuklearne nauke "Vinča", Srbija, ilijab@vin.bg.ac.yu

Komponente se međusobno ne mešaju niti rastvaraju tako da se unutar kompozita jasno razlikuju dve ili više faza. Jedna faza nazvana ojačivačem, daje jačinu i tvrdoću, a druga se naziva matricom ili vezivom i ona okružuje i drži zajedno grupe vlakana ili fragmente ojačivača.

Prednosti kompozitnih materijala u poređenju sa osnovama ogledaju se u poboljšanju mehaničkih osobina, pre svega u povećanju specifičnog modula elastičnosti i većoj čvrstoći, povećanju otpornosti prema habanju, otpornosti na koroziju i visoke temperature, hemijsku inertnost, izdržljivost i postojanost [1-5].

Poboljšane osobine kompozitnih materijala pružaju mogućnost njihove široke primene. U poslednjim decenijama napravljeno je mnoštvo novih kompozita sa nekim izuzetno korisnim osobinama. Pažljivim izborom materijala ojačivača i matrice i proizvodnog procesa kojim se oni spajaju, mogu se dobiti kompoziti sa svojstvima potrebnim za specijalne primene. Kompozitni materijali danas se koriste u metalnoj, automobilskoj, avionskoj, elektronskoj industriji, medicini, građevinarstvu itd.

Izrada kompozita sa osnovom od legura cinka počela je osamdesetih godina prošlog veka u Round Oaks Laboratories i Aston University u Engleskoj. Kao osnova, korišćena je legura cinka ZnAl30Cu2, a ojačivači kratka vlakna Al₂O₃ [2]. Bolje, opšte, osobine kompozita sa osnovom od legura cinka; (ZnAl27Cu2 i ZnAl12Cu1) legura uz dodatak vlakana Al₂O₃ postigla je grupa istraživača sa MIT-a [3]. Doprinos razvoju kompozitnih materijala sa osnovom od legura cinka dale su i grupe istraživača iz Izraela (Israel Institute of Metals, Haifa), koji su utvrdili znatno poboljšanje otpornosti prema habanju kompozita sa osnovom od legure cinka sa 27 mas.% aluminijuma i Singapura (Dept. of Mech. Eng., Singapore), koji su uveli nove ojačivače u osnovu od iste legure (staklo, Zr₂O₃ i grafit) [4,5].

Saradnjom Instituta za nuklearne nauke "Vinča" i Centra za tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu razvijeni su kompoziti sa osnovom od ZA-27 legure ojačane česticama Al₂O₃ i isptane su njihove tribološke karakteristike. U okviru ovog rada prikazan je samo deo rezultata obimnih istraživanja. Ceo projekat je podržan od strane Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

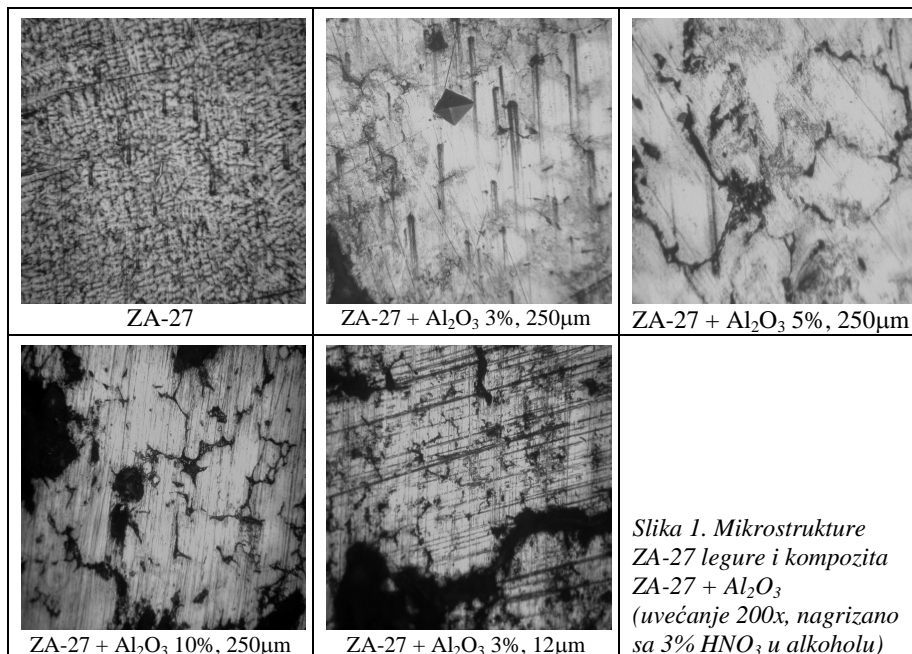
Kompozitni materijali sa osnovom od ZA-27 legure ojačane česticama Al₂O₃ dobijeni su kompokasting postupkom koji je izvršen mešanjem u izotermnom režimu (460°C). Kao ojačivači korišćeni su prahovi Al₂O₃ veličine čestica 12 i 250 μm. Sitnije čestice infiltrirane su u količini od 3 mas.%, a krupnije čestice Al₂O₃ (250 μm) infiltrirane su u količinama od 3, 5 i 10 mas%. Dobijeni su uzorci koji su naknadno toplo presovani da bi se umanjila poroznost. Iz otpresaka su, zatim, izrađivani uzorci za tribološka ispitivanja.

U tabeli 1 prikazan je hemijski sastav osnovnog materijala ZA-27 legure utvrđen hemijskom apsorpcijom.

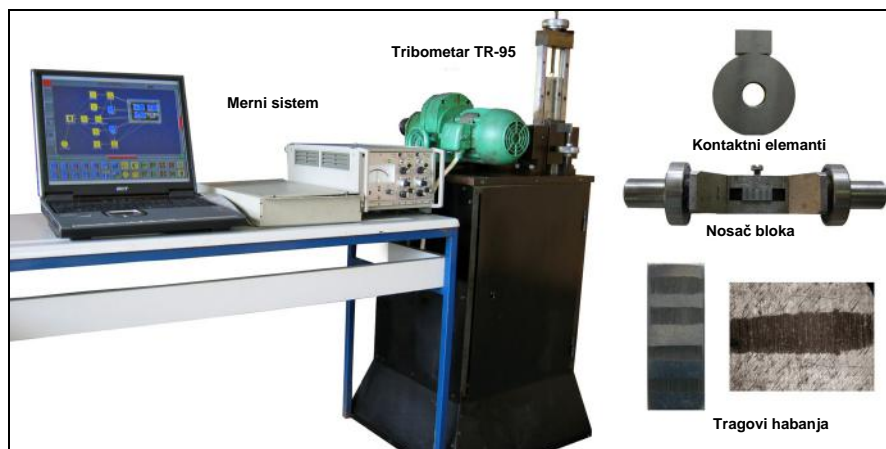
Tablela 1. Hemijski sastav ZA-27 legure

Uzorci	Elementi, %				
	Al	Zn	Cu	Fe	Mg
ZA-27 liveno u čeličnoj kokili	28.47	67.77	2.51	0.145	0.011

Na slici 1 prikazane su mikrostrukture osnovnog materijala ZA-27 legure i dobijenih kompozita ZA-27 + Al₂O₃ (uvećanje 200x, nagrizano sa 3% HNO₃ u alkoholu).



Ispitivanje triboloških karakteristika ZA-27 + Al₂O₃ kompozita bila su modelskog tipa i obavljena su na unapređenom i kompjuterski podržanom tribometru TR-95 sa block-on-disc kontaktnom geometrijom u Centru za tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu (slika 2).



Slika 2: Tribometar i kontaktna geometrija

Opitni kontakti par odgovara zahtevima odgovarajućeg ASTM G 77 standarda. Sačinjava ga rotacioni disk prečnika $D_d=35$ mm i širine $b_d=6.35$ mm i stacionarni blok širine $b_b=6.35$ mm, dužine $l_b=15.75$ mm i visine $h_b=10.16$ mm.

Diskovi su izrađivani od čelika Č 5432 tvrdoće 55 HRC sa brušenim površinama, hrapavosti $R_a=0.49$ μm , a blokovi od ispitivanih ZA-27 + Al_2O_3 kompozita, sa brušenim kontaktnim površinama, hrapavosti $R_a = 0.32$ μm .

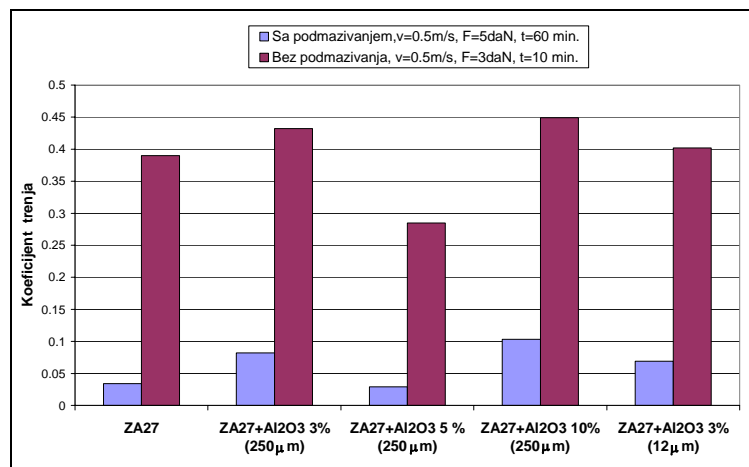
Ispitivanja su vršeni uz variranje tri nivoa brzine klizanja - 0.26 m/s, 0.50 m/s i 1.00 m/s i tri nivoa normalnog kontaktnog opterećenja - 2 daN, 5 daN i 8 daN, sa podmazivanjem u trajanju od 60 min. i tri nivoa normalnog kontaktnog opterećenja - 1 daN, 3 daN i 5 daN, bez podmazivanja u trajanju od 10 min. Podmazivanje kontaktnog para realizuje se tako što je disk donjim krajem uronjen do dubine od 3 mm u rezervoar sa uljem zapremine 30 ml i pri rotaciji kontinualno donosi ulje u zonu kontakta. U svim testovima sa podmazivanjem korišćeno je isto hidraulično ulje koje po standardu JUS ISO 11158:2003 odgovra tipu HL i kategoriji HM (ulje tipa HL sa poboljšanim karakteristikama protiv habanja, gradacije viskoznosti VG 46 (ISO 3448)).

3. REZULTATI TRIBOLOŠKIH ISPITIVANJA

Za kontinualno praćenje procesa trenja i merenje parametara trenja tribometar je opremljen odgovarajućim mernim sistemom podržanim PC računarom. Tokom trajanja testova mereni su normalna sila i sila trenja i automatski je generisan računski signal koeficijenta trenja. Kao osnovni parametar habanja korišćena je širina traga habanja na kontaktnoj površini bloka.

Zbog obimnosti rezultata ispitivanja u radu su prikazane samo uporedne vrednosti koeficijenata trenja i širina traga habanja za srednju brzinu klizanja i srednju vrednost normalnog opterećenja. Sva ispitivanja su vršena sa tri ponavljanja a zatim su dobijeni rezultati statistički obrađeni i predstavljeni odgovarajućim dijagramima.

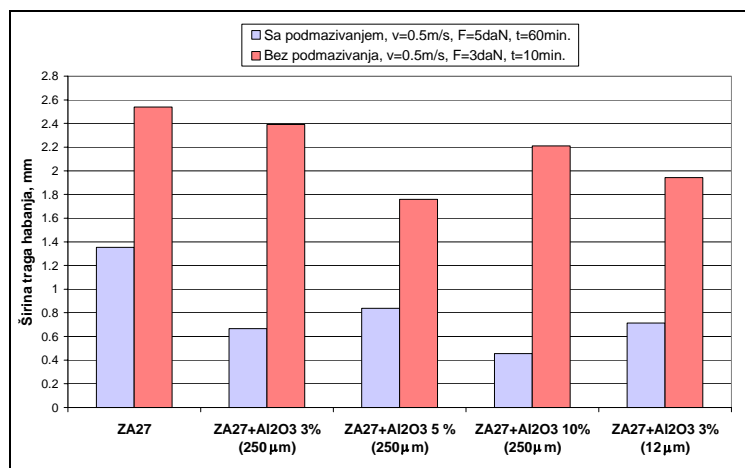
Na slici 3 prikazane su srednje vrednosti koeficijenata trenja ispitivanih kompozitnih materijalaza za brzinu klizanja $v=0,5$ m/s i normalno opterećenja $F_n=5$ daN u uslovima sa podmazivanjem i $F_n=3$ daN u uslovima bez podmazivanja.



Slika 3. Koeficijent trenja ZA-27 legure i ZA-27+ Al_2O_3 kompozita

Iz prethodnog dijagrama može se uočiti da najbolje frikционе karakteristike ima kompozitni materijal sa osnovom od ZA-27 legure ojačane česticama Al_2O_3 veličina $250\ \mu\text{m}$ u količini od 5 mas.% kako u uslovima sa, tako i bez podmazivanja. Sa povećanjem mas.% Al_2O_3 koeficijent trenja raste, izuzev u slučaju kompozita ZA-27 + Al_2O_3 sa 5 mas.% veličine čestica $250\ \mu\text{m}$, a sa smanjenjem veličine čestica Al_2O_3 koeficijent trenja opada.

Na slici 4 prikazane su srednje vrednosti širine traga habanja na kontaktnoj površini bloka ispitivanih kompozitnih materijalaza za brzinu klizanja $v=0,5\ \text{m/s}$ i normalno opterećenja $F_n=5\ \text{daN}$ u uslovima sa podmazivanjem i $F_n=3\ \text{daN}$ u uslovima bez podmazivanja.



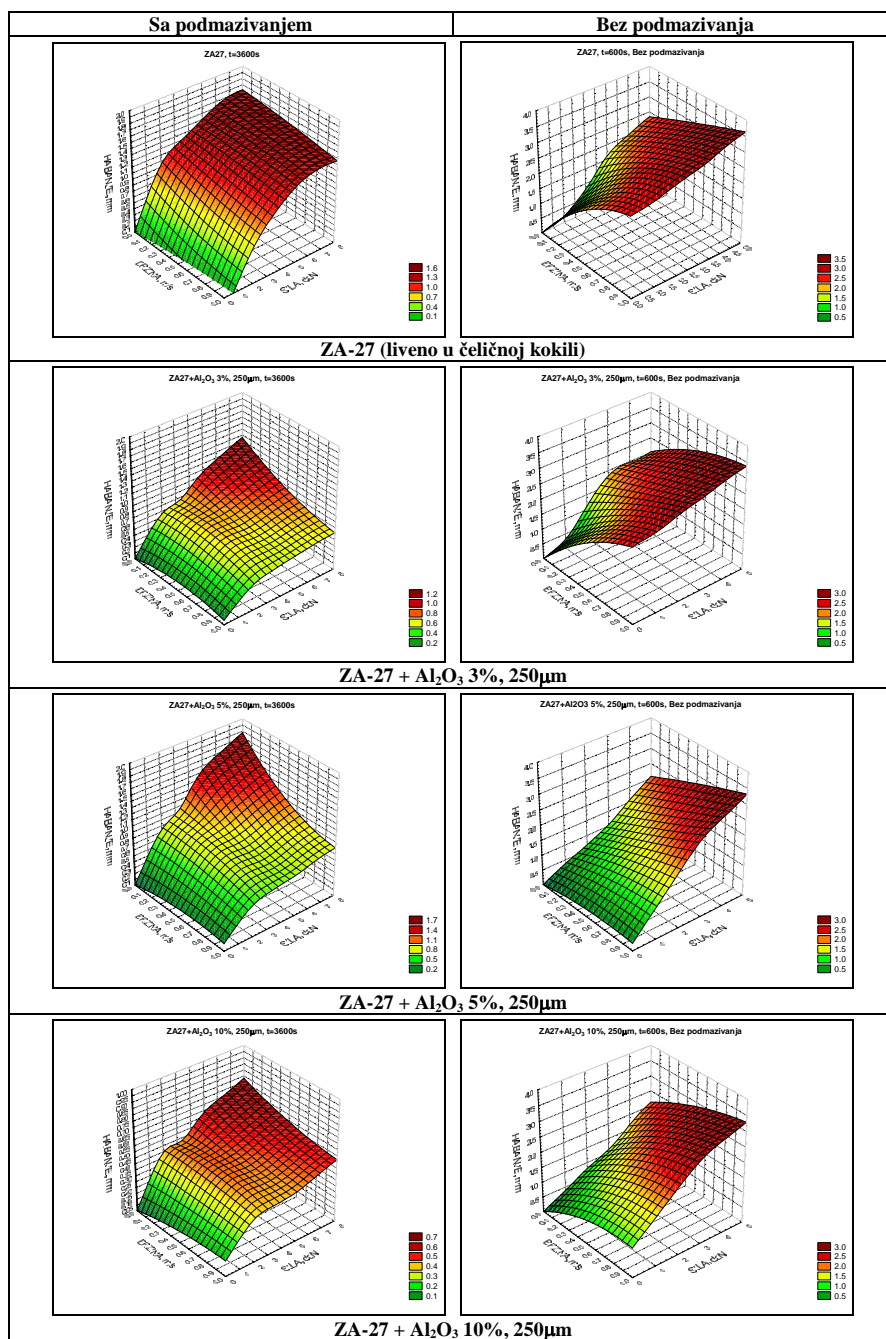
Slika 4. Širine traga habanja ZA-27 legure i ZA-27+ Al_2O_3 kompozita

Sa slike 4 jasno se može primetiti da u svim uslovima ispitivanja, kompozitni materijali pokazuju znatno manje habanje u odnosu na osnovni materijal.

Pri tribološkim ispitivanjima sa podmazivanjem najveću otpornost na habanje pokazao je kompozitni materijala ojačan česticama Al_2O_3 veličina $250\ \mu\text{m}$ u količini od 10 mas.%, a u ispitivanjima bez podmazivanja najveću otpornost na habanje pokazao je kompozitni materijala ojačan česticama Al_2O_3 veličina $250\ \mu\text{m}$ u količini od 5 mas.%.

Na osnovu svih prikupljenih podataka, tokom obimnih triboloških ispitivanja kompozitnih materijala sa osnovom od ZA-27 legure ojačane česticama Al_2O_3 različitih veličina i različitih mas.%, mogu se definisati zavisnosti koeficijenta trenja i širine traga habanja od uslova ispitivanja. Statističkom obradom prikupljenih podataka, uz primenu odgovarajućih softverskih paketa, dobijene su ove zavisnosti u funkciji brzine klizanja i kontaktnog opterećenja, a koje je moguće i grafički predstaviti.

Na slici 5 grafički su prikazane zavisnosti promene širine traga habanja od brzine klizanja i normalnog opterećenja ispitivanih kompozitnih materija, u slučaju sa i bez podmazivanja. Rezultati pokazuju da se širina traga habanja povećava sa rastom normalne sile kontaktnog opterećenja. Takođe, utvrđeno je da se sa povećanjem brzine klizanja smanjuje širina traga habanja pri podmazivanju, odnosno povećava bez podmazivanja.



Slika 5. Širina traga habanja u funkciji brzine klizanja i normalnog opterećenja

4. ZAKLJUČAK

Primenom kompokasting postupka dobijeni su kompozitni materijali sa osnovom od ZA-27 legure ojačane česticama Al_2O_3 koji pokazuju bolja tribološka svojstva od osnovnog materijala.

Rezultati istraživanja pokazuju da najbolje frikционе karakteristike ima kompozitni materijal sa osnovom od ZA-27 legure ojačane česticama Al_2O_3 veličine $250\ \mu\text{m}$ u količini od 5 mas.%. U uslovima sa podmazivanjem koeficijent trenja kod ovog kompozitnog materijala smanjuje se za oko 15%, a bez podmazivanja preko 25%.

U svim uslovima ispitivanja, kompozitni materijali pokazuju znatno manje habanje u odnosu na osnovni materijal. Pri tribološkim ispitivanjima sa podmazivanjem najveću otpornost na habanje pokazao je kompozitni materijal ojačan česticama Al_2O_3 veličina $250\ \mu\text{m}$ u količini od 10 mas.%, gde se širina traga habanja smanjuje do čak 66%, a u ispitivanjima bez podmazivanja najveću otpornost na habanje pokazao je kompozitni materijal ojačan česticama Al_2O_3 veličina $250\ \mu\text{m}$ u količini od 5 mas.%, kod koga se trag habanja smanjuje za preko 30% u odnosu na osnovni materijal.

LITERATURA

- [1] Z.Zhu, A Literature Survey on Fabrication Methods of Cast Reinforced Metal Composites, ASM International USA, "Cast Reinforced Metal Composites", (1988.), 93-99
- [2] E.J.Kubel, Expanding Horizons for ZA Alloys, Advances Materials and Process, vol. 7 (1987.), 51-57
- [3] I. A. Cornie, R. Guerriero, L. Meregalli, I. Tangerini, Microstructures and Properties of Zinc-Alloy Matrix Composite Materials, "Cast Reinforced Metal Composites", (1988.), 155-165.
- [4] N. Karni, G.B. Barkay, M. Bamberger, Structure and Properties of Metal-Matrix Composite, J. of Mat. Scie Letters, 13, (1994.), 541-544
- [5] K.H.W. Seah, S.C. Sharma, B. M. Girish, Mechanical Properties of Cast ZA-27/Graphite Particulate Composites, Materials & Design, vol.16, (1995.), 270-275
- [6] M. Babic, R. Ninkovic, Zn-Al Alloys as Tribomaterials, Tribology in industry, Vol. 26, No 1 & 2, 2004., 3-7
- [7] I. Bobić, Doktorska disertacija, TMF, Beograd, (2003.)
- [8] S.C. Sharma, B.M. Girish, Rathnaka Kamath, B.M. Satish, Graphite particles reinforced ZA-27 alloy composite materials for journal bearing applications, Wear 219, (1998.), 162-168
- [9] S.C. Sharma, B.M. Girish, Rathnaka Kamath, B.M. Satish, Effect of SiC particle reinforcement on the unlubricated sliding wear behaviour of ZA-27 alloy composites, Wear 213, (1997.), 33-40
- [10] S.C. Sharma, B.M. Girish, Rathnaka Kamath, B.M. Satish, Sliding wear behaviour of zircon particles reinforced ZA-27 alloy composite materials, Wear 224, (1999.), 89-94
- [11] F.Kovačićek, I.Žmak, Metalni kompoziti, MATRIB2004, Vela Luka, 2004., 349-356
- [12] I. Bobić, M. T. Jovanović, N. Ilić, Microstructure and Strength of ZA-27-Based Composites Reinforced with Al_2O_3 Particles, Materials Letters, 2003.



KOEFICIJENT KONTAKTNOG TRENJA PRI VUČENJU NEKIH OBOJENIH METALA

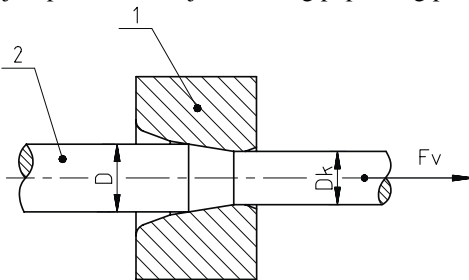
M. Petrović¹⁾, B. Nedić²⁾, V. Mandić³⁾

Rezime: *Trenje je pojava koja prati svaki stvarni proces obrade metala deformisanjem ispoljavajući pri tome odgovarajući uticaj na tok odvijanja procesa. U radu su prikazani rezultati eksperimentalnih istraživanja pri vučenju punih profila kružnog poprečnog preseka od bakra (DVP1-Cu) i legure bakra mesinga CuZn37. Istraživanja su realizovan u cilju definisanja koeficijenta kontaktnog trenja za dve vrste maziva, pri čemu je korišćena metoda mernih čivija.*

Ključne reči: *Vučenje, koeficijent kontaktnog trenja, metoda mernih čivija*

1. UVOD

Pod vučenjem metala podrazumeva se plastična prerada metala i legura u hladnom stanju iz koje se dobijaju šipke, žice i cevi okruglog, ili nekog drugog, poprečnog preseka. Suština procesa je u provlačenju metalnog proizvoda (2) silom vučenja F_v kroz profilisani otvor matrice (1) od tvrdog metala, čelika ili dijamanta u cilju dobijanja željenog oblika i dimenzija. Na slici 1 data je principijelna šema vučenja koja odgovara vučenju šipkastih materijala kružnog poprečnog preseka.



Slika 1: Principijelna šema vučenja

U cilju smanjenja trenja između dodirnih površina metala i matrice u otvor matrice se uvodi mazivo. Ovim se umanjuju gubici potrebne energije za vučenje, omogućuje dobijanje kvalitetnije površine vučenog proizvoda, znatno smanjuje habanje matrice, a takođe omogućuje realizacija procesa sa većim stepenom deformacije. Trenje

¹⁾ Mr Miodrag Petrović, Valjaonica bakra Sevojno, Srbija, mpetrovic@vbs.point-group.com

²⁾ Dr Bogdan Nedić, vanr. prof. Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, nedic@kg.ac.yu

³⁾ Dr Vesna Mandić, docent, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, mandic@kg.ac.yu

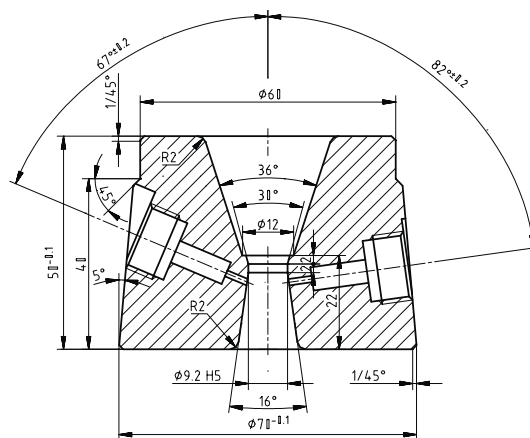
koje se pojavljuje na dodirnim površinama alata i predmeta obrade pri plastičnoj obradi naziva se spoljašnje, odnosno *kontaktno trenje*. Kontaktno trenje kod plastične obrade se bitno razlikuje od trenja mašinskih sklopova jer je izazvano pojavom plastične promene oblika i znatno je veće od običnog trenja klizanja.

2. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

U cilju sprovođenja eksperimentalnih ispitivanja realizovan je pribor kojim se stvaraju fizički i geometrijski uslovi realnog procesa vučenja. Pribor je instaliran na mašini za ispitivanje limova ERICHSEN 142/12, pri čemu je konstruktivnim rešenjem omogućen smeštaj u ram pribora za ispitivanje zatezanjem. Glavno dejstvo mašine, sa opsegom sile 0-130 kN, korišćeno je za ostvarivanje sile vučenja. Na slici 2 prikazan je izgled pribora u ramu za ispitivanje zatezanjem.



Slika 2: Izgled pribora za vučenje



Slika 3: Matrica sa otvorima za merne čivije

Merne čivije predstavljaju varijante velikog broja konstrukcija koje omogućavaju određivanje sile (kontaktnog napona) merenjem elastične deformacije osetljivog elementa. Na slici 3 prikazana je matrica sa otvorima za smeštaj mernih čivija, dok je na slici 4 data konstrukcija merne čivije korišćene u ovom radu. Pritisak materijala o zidove matrice se preko mernog pipka 1, kuglice 3 i potpornog cilindra 4 prenosi na osetljivi element, odnosno merni cilindar 6, na koji su specijalnim postupkom četiri žičane merne trake 7, tako da je obrazovan pun Winstonov most. Da bi se obezbedio pravilan rad pri izvođenju eksperimenta bilo je neophodno brušenje i poliranje otvora matrice u sklopu sa mernim čivijama. Za izradu matrice korišćen je legirani alatni čelik Č 4150, kaljen na 60 ± 62 HRC.

Pored određivanja kontaktnih napona metodu mernih čivija moguće je iskoristiti za definisanje koeficijenta kontaktnog trenja. U tu svrhu neophodno je postaviti dve merne čivije, jedna normalne i jedne nagnute u odnosu na kontaktnu površinu. Na slici 5 prikazane sile koje deluju na pipak normalne merne čivije 2, odnosno, nagnute 3.

Pritisak na pipak merne čivije, postavljene normalno u odnosu na kontaktnu površinu, je:

$$p_{dn} = \frac{F_{dn}}{A_n} = \sigma_n \quad (1)$$

Na osnovu paralelograma sila sledi da je:

$$F_{dt} = F_n' \cos \varphi + F_t \sin \varphi \quad (2)$$

Kako je

$$F_n' = p_{dn} A_t = \frac{F_{dn}}{A} A_t; \quad F_t = F_n' \mu = p_{dn} A_t \mu = \frac{F_{dn}}{A} A_t \mu; \quad \cos \varphi = \frac{A_n}{A_t} \quad (3)$$

to je

$$F_{dt} = \frac{F_{dn}}{A} A_t \cos \varphi + \frac{F_{dn}}{A} A_t \mu \sin \varphi = F_{dn} + \mu F_{dn} \tan \varphi \quad (4)$$

odnosno, nakon sređivanja dobija se:

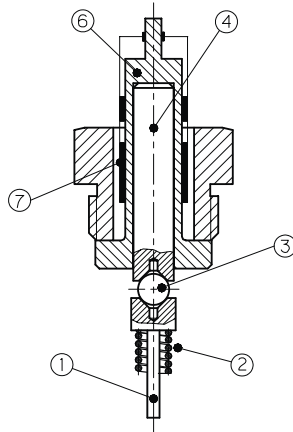
$$\mu = \frac{F_{dt} - F_{dn}}{F_{dn} \tan \varphi} \quad (5)$$

Pri čemu su:

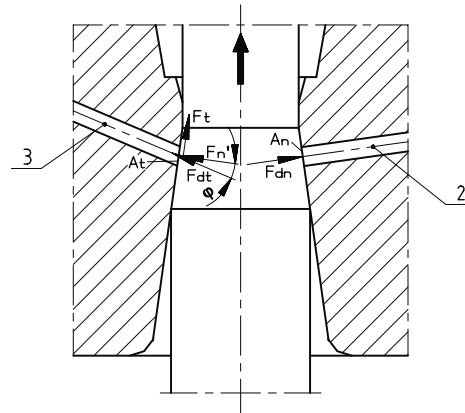
F_{dn} - sila koja deluje na pipak normalne merne čivije,

F_{dt} - sila koja deluje na pipak nagnute merne čivije,

φ - ugao između ose nagnute merne čivije i normalne na kontaktnu površinu.



Slika 4: Sklop merne čivije



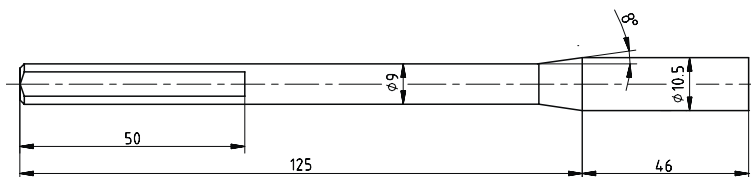
Slika 5: Sile koje deluju na pipke mernih čivija

Pri izvođenju eksperimenta vučenja, u cilju definisanja koeficijenta kontaktnog trenja, bilo je potrebno meriti (registrovati), silu na normalnoj mernoj čiviji – normalnom davaču (F_{dn}), silu na nagnutoj mernoj čiviji – nagnutom davaču (F_{dt}), a sve to u funkciji od dužine vučenja. Sile na mernim čivijama registrovane se pomoću mernih cilindara sa nalepljenim mernim trakama, dok je hod vučenja registrovan preko potenciometarskog davača hoda. Pre bilo kakvih merenja pomoću mernih čivija bilo je neophodno uspostaviti vezu između napona na izlazu iz merno-pojačivačkog mosta i opterećenja na pipak merne čivije, odnosno sila koja deluje na merni cilindar sa mernim trakama. Svi prilagođeni (pojačani, filtrirani) analogni signali dalje su preko A/D konvertora unošeni u računar preko aplikacije za praćenje procesa, urađene pomoću softvera LABTECH CONTROLpro ver 5.0 for DOS. Na slici 6 prikazan je fizički izgled mernog lanca korišćenog za registrovanje potrebnih veličina.



Slika 6: Izgled mernog lanca za kompjutersku akviziciju podataka

Postupak ispitivanja pojedinačne epruvete sastojao se u tome da se na prethodno odmašćenu epruvetu prvo nanese odgovarajuće mazivo. Mazivo 1 (M1 - polusintetičko ulje Tubol 203) je na radni deo epruvete nanošeno pomoću sundera. Što se tiče maziva 2 (M2 - sapunska emulzija od sapunskih rezanaca sa PH 9 i 78% masnih kiselina) ono je na radni deo epruvete nanošeno potapanjem u posudu sa emulzijom zagrejanom na oko 60 °C a potom hlađenjem na vazduhu. Nakon toga, epruveta je postavljena u pribor za vučenje. Po startovanju softvera za praćenje procesa startovano je i glavno dejstvo mašine. Za hod vučenja od 60 mm i brzinu od 100 mm/min proces je trajao 36 s. Dimenzije korišćenih epruveta date su na slici 7, dok je izgled epruveta od mesinga, pre i nakon vučenja, prikazan je na slici 8. Ovde treba napomenuti da je, s obzirom na dimenzije epruvete i matrice, ostvaren stepen deformacije $\varphi=26.4\%$.



Slika 7: Dimenzije ispitivanih epruveta

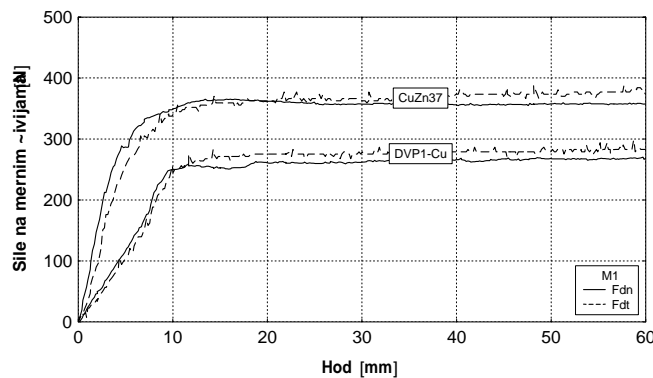


Slika 8: Izgled epruveta pre i nakon vučenja od materijala CuZn37

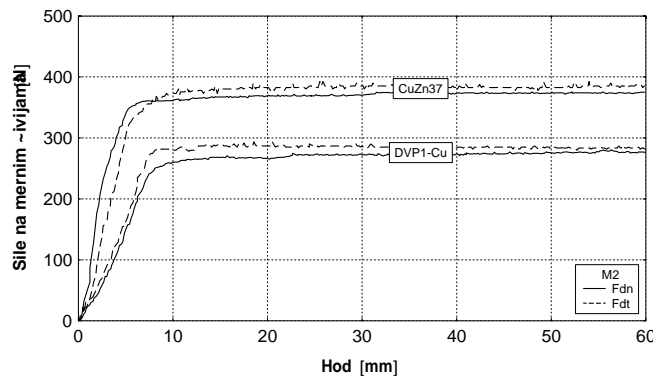
3. ANALIZA REZULTATA

Na slikama 9 i 10 prikazane su dijagramske zavisnosti sila na mernim čivijama za ispitivane materijale i korišćena maziva. Kao što se vidi veće vrednosti sila na obe merne čivije su za materijal CuZn37. Takođe, za iste uslove ispitivanja veće vrednosti sila su na nagnutoj mernoj čiviji, što je u saglasnosti sa izrazom (4). Što se tiče uticaja maziva evidentno je da su uvek nešto veće vrednosti sila na mernim čivijama za mazivo 2, što kako će se kasnije videti dovodi do niže vrednosti koeficijenta trenja. Veća neravnomernost sile na nagnutoj čiviji uslovljena je lakšim prodiranjem materijala u međuprostor mernog pipka i otvora u matrici, što narušava postignutu ravnotežu sila.

Kao što se sa slika može videti trendovi sila F_{dn} i F_{dt} su kvazistatičke prirode, tj. tokom hoda vučenja, nakon dostizanja određene vrednosti, merena veličina se neznatno menja. Iz tog razloga veličine, potrebne za određivanje koeficijenta kontaktnog trenja, dobijene su osrednjavanjem za vrednost hoda 30-50 mm. Nakon osrednjavanja vrednost koeficijenta trenja određivana je preko izraza (5). U tabeli 1 date su srednje vrednosti sila na mernim čivijama i, pomoću njih dobijene, vrednosti koeficijentata kontaktnog trenja za pojedine uslove ispitivanja.



Slika 9: Zavisnosti sila na mernim čivijama od hoda za ispitivane materijale i mazivo 1



Slika 10: Zavisnosti sila na mernim čivijama od hoda za ispitivane materijale i mazivo 2

Tabela 1. Tabela pregled eksperimentalno dobijenih rezultata

		MATERIJAL	DVP1-Cu	CuZn37
MAZIVO	Tubol 203 (M1)	Sila na normalnoj mernoj čiviji F_{dnr} [N]	265.7	357
		Sila na nagnutoj mernoj čiviji F_{dtr} [N]	278.5	370.6
		Koeficijent trenja μ_{sr} [-]	0.18	0.142
	Sapunica (M2)	Sila na normalnoj mernoj čiviji F_{dnr} [N]	273.4	373.6
		Sila na nagnutoj mernoj čiviji F_{dtr} [N]	284.8	383.8
		Koeficijent trenja μ_{sr} [-]	0.156	0.102

Na osnovu svega, srednje, eksperimentalno dobijene vrednosti koeficijenata kontaktnog trenja, za pojedine uslove trenja pri vučenju su:

- DVP1-Cu po alatu od čelika sa mazivom M1: $\mu_{sr}=0.180$
- DVP1-Cu po alatu od čelika sa mazivom M2: $\mu_{sr}=0.156$
- CuZn37 po alatu od čelika sa mazivom M1: $\mu_{sr}=0.142$
- CuZn37 po alatu od čelika sa mazivom M2: $\mu_{sr}=0.102$

Za oba ispitivana materijala niže vrednosti koeficijenta trenja su za slučaj korišćenja maziva M2, odnosno sapunske emulzije. Takođe, za iste uslove ispitivanja niže vrednosti koeficijenta trenja su za materijal CuZn37. Ovo je svakako posledica većeg lepljenja materijala DVP1-Cu za kontaktnu površinu alata, što uslovljava i veće vrednosti koeficijenta trenja u tom slučaju.

4. ZAKLJUČAK

U pojedinim literaturnim izvorima mogu se naći različite vrednosti koeficijenata kontaktnog trenja pri vučenju. U radu [2] eksperimentalno dobijen koeficijent trenja pri vučenju žice od elektrolitičkog Cu sa praškastim sapunom na bazi natrijuma kao mazivom iznosi $\mu=0.04232$. U radu [3], pak, pri vučenju priprema od Cu sa istim mazivom vrednost koeficijenta trenja je $\mu=0.084$, dok su pri korišćenju različitih jestivih ulja kao maziva vrednosti koeficijenata trenja u granicama $\mu=0.096-0.155$. Poredeći vrednosti za koeficijente trenja u ovom radu, sa literaturnim vrednostima može se reći da u realnim granicama, pri čemu se može izvesti zaključak da je veličina koeficijenta trenja dosta zavisna od primenjene metode.

LITERATURA

- [1] Ajvaz V., Merenje deformacija i naprezanja u strojnim i građevinskim konstrukcijama, Tehnička knjiga, Zagreb, 1969.
- [2] Avitzur B., Lubricant Evaluation Laboratory for Fine Wire Drawing, reference #188 of the publications listing by B. Avitzur, Metalforming Inc., 1996.
- [3] Obi. A. I., Oyinlola A. K., Frictional Characteristic of Fatty-based Oils in Wire Drawing, Wear 194, 1996., pp. 30-37.
- [4] Petrović M., Deformabilnost pri vučenju osnosimetričnih profila od obojenih metala, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2005.
- [5] Pešić M., Milenković V., Hladno izvlačenje žica šipki i cevi, Tehnička knjiga, Beograd, 1965.



UVODNI REFERAT

ПРИМЈЕНА ЕНДОСКОПА У ТЕХНИЧКОЈ ДИЈАГНОСТИЦИ БРОДСКИХ МАШИНА

М. Булатовић ¹⁾, Ј. Шушић ²⁾

Резиме. У овом раду ³ указано је на улогу и значај техничке дијагностике и врсте метода и техника дијагностике. Посебно је указано на значај и примјену ендоскопа у дијагностици унутрашњих површина елемената мотора на примјеру бродских машина. У раду су дати изводи из истраживања обављених у оквиру једног истраживачког пројекта. Приказане су примијењене методе дијагностике, карактеристике инструмената и кратак опис њиховог коришћења. Посебно су приказани резултати мјерења илустровани фотографијама уочених појава. Дата је табеларна и текстуална анализа резултата.

Кључне ријечи: Одржавање по стању, техничка дијагностика, ендоскопија.

APPLICATION OF ENDOSCOPE ON TECHNICAL DIAGNOSTICS OF A SHIPS ENGINE

Abstract. This paper shows the role and significance of technical diagnostics as well as of various types of diagnostic methods and techniques. The importance and the application of endoscopes in particular, have been shown in the domain of diagnostics of internal surfaces of engine elements in ship engines.

This paper presents a research that has been performed in the context of a larger research project. It shows applied methods of diagnosis and instrument characteristics and gives a brief description of their use. Furthermore, the results of measurements, illustrated with the photographs of observed phenomena, are shown in particular followed by the analysis of these results.

Key words: Maintenance according to a condition, technical diagnostics, endoscopy.

1. ДИЈАГНОСТИКА У ФУНКЦИЈИ ОДРЖАВАЊА ПО СТАЊУ

Стање неког објекта, машине описује се одређеним скупом параметара (проток флуида, дебљина зида, бука, температура и друге карактеристике) који треба да задовоље пројектовану функцију циља при одређеним условима и у

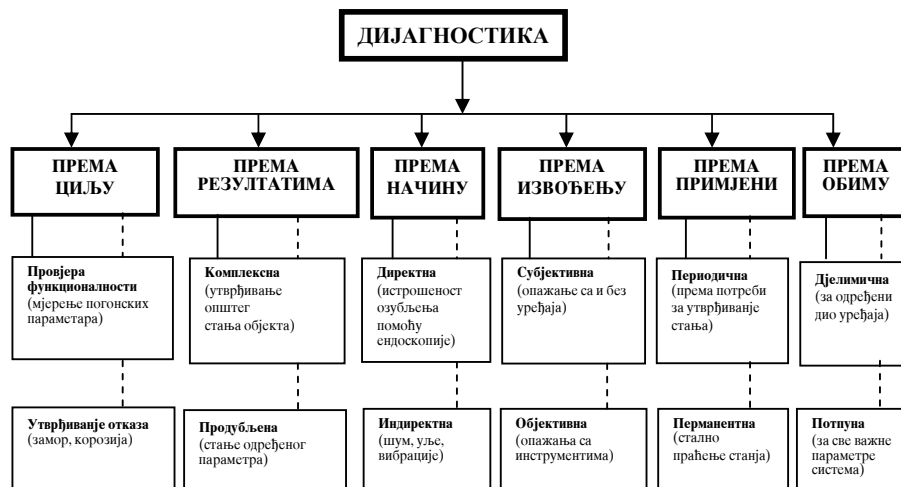
¹⁾ Проф. др Миодраг Булатовић, Машински факултет Универзитета Црна Горе, Подгорица, bulatovm@yahoo.com

²⁾ Јован Шушић, дипл. инг. маш., Машински факултет Универзитета Црна Горе, Подгорица

³⁾ Пројект Министарства за просвјету и науку Црне Горе, "Техничка дијагностика у функцији ефикасности техничких система", Подгорица, Црна Гора, 2005/6.

одређеном временском периоду. Одржавање по стању заснива се на дијагностици стања коришћењем [2]:

- временске слике стања, односно анализе фактора ефикасности система у функцији времена, чему су посвећени претходни дијелови дисертације и
- контроле параметара стања, примјеном техничке дијагностике (сл.1) [1].



Слика 1. Подјела техничке дијагностике

Објективна дијагноза изводи се примјеном уређаја и инструмената за мјерење и читавање стања параметара чиме се искључује субјективност лица које користи инструмент (на пр. број обратаја, притисак, мјерење вибрације, буке, дебљине зида, температуре и др.).

Објективним дијагностичким поступцима обухваћени су параметри стања сврстани у три основне групе: погонски параметри, параметри оштећења елемената уређаја, параметри стања нуспроизвода.

2. ЕНДОСКОПСКЕ МЕТОДА ТЕХНИЧКЕ ДИЈАГНОСТИКЕ - ОПРЕМА

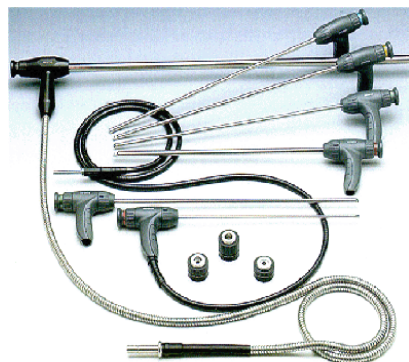
У техници се све више користе оптичка влакна, за посматрање тешко доступних дјелова (обично је ријеч о разним шупљинама и отворима), или у случајевима када друге технике визуелне контроле траже скупу демонтажу.

2.1 Савремени бороскоп (слика 2)

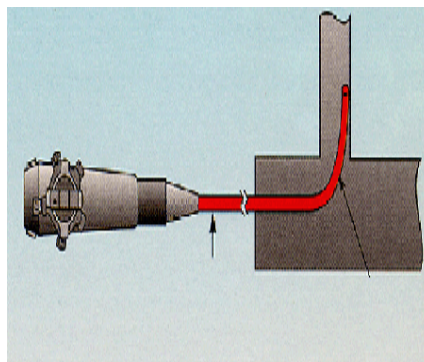
Код бороскопа је слика врло јасна, јер се не формира од неколико хиљада малих светлосних тачкица. Чврстина конструкције, могућност регулисања дужине, пречника, угла и поља вида и једноставност употребе, чине бороскоп распрострањеним прибором контроле.

2.3. Фиберскоп (слика 3)

Главна особина фиберскопа је, да су то гипки уређаји, који имају способност савијања без последица по слику коју обрађују. Они се састоје од извора свјетлости, два влакнаста свјетловода, објектива и окулара. Светловоди за пренос слике се састоје од влакана пречника $0.009 \div 0,017$ мм.



Слика 2. Бороскоп



Слика 3. Фиберскоп

3. ФАЗЕ ЕНДОСКОПСКЕ ДИЈАГНОСТИКЕ ГАСНЕ ТУРБИНЕ М8Г [4]

3.1. Анализа конструктивног решења објекта дијагностике

Први корак за примјену ендоскопске дијагностике је упознавање са карактеристикама, конструкцијом и одржавањем објекта дијагностике. Гасна турбина М8Г уграђена је, као један од погонских мотора на ракетним фрегатама типа РФ-31, РФ-33 (сл.4). Основна намјена гасне турбине јесте постизање максималних брзина брода.

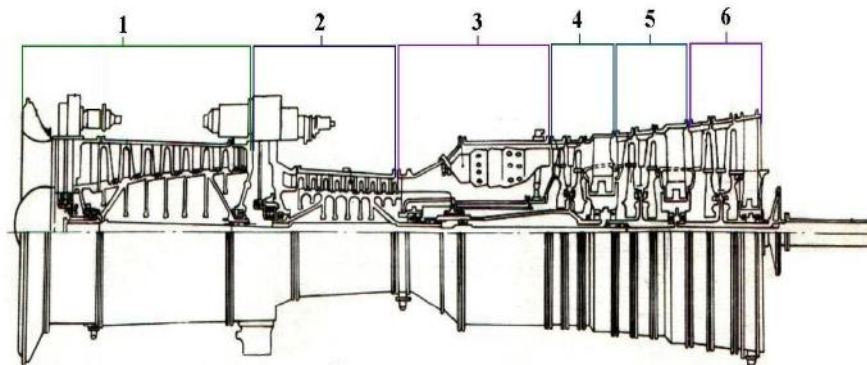


Слика 4. Просторни смјештај гасне турбине М8Г на РФ-33

Гасна турбина је, ради веће чврстоће, монтирана на постоље које је учвршћено на елементе чврстоће бродског трупа, тј. на бродски фундамент.

3.2. Одређивање контролних места и избор отвора за увођење ендоскопа

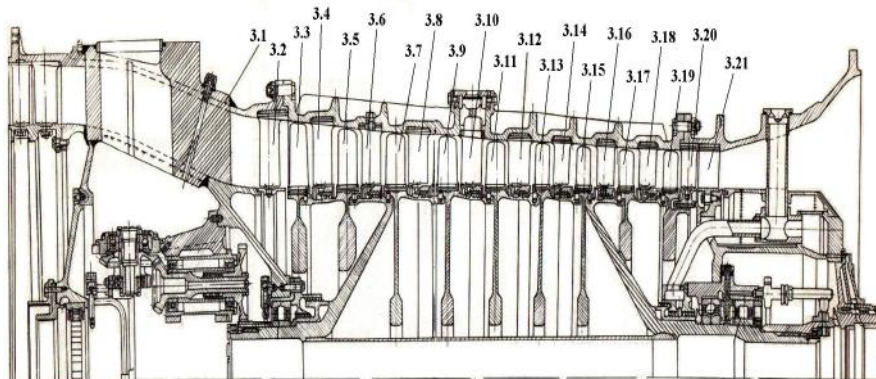
Након детаљне анализе конструкције бродске гасне турбине одређују се контролна места (КМ) која ће се прегледати и бирају се приступни отвори за увођење ендоскопа. За увођење ендоскопа у унутрашњост склопова турбине (компресора, коморе сагоревања, турбина) користе се већ постојећи технолошки отвори и отвори који се обезбјеђују скидањем одговарајуће опреме према слици 5.



Слика 5. ГТ у пресеку са приказаним склоповима за контролу ендоскопском дијагностиком: 1. Компресор ниског притиска (КНП) са уводником ваздуха; 2. Компресор високог притиска (КВП); 3. Комора сагоревања (КС); 4. Турбина високог притиска (ТВП); 5. Турбина ниског притиска (ТНП); 6. Погонска турбина (ПТ)

3.2.1 Ендоскопија компресора високог притиска (КВП)

За Ендоскопску дијагностику компресора високог притиска користе се отворе испод бризгача за прање компресора високог притиска, отвори испод завртњева који учвршћују усмјеравајуће апарате и кроз отворе испод чепова на задњем кућишту компресора. На слици 6. приказан је КВП у пресеку са означеним контролним мјестима (КМ) која ће се прегледати.



Слика 6. КВП у пресеку са контролним мјестима ендоскопске дијагностике

У табели 1 је дат примјер прегледа контролним места, приступних отвора и опреме за вршење прегледа.

Резултати прегледа евидентирани су у листе ендоскопског прегледа бродске гасне турбине М8Г.

На сликама П.1. до П.43. приказани су снимци дјелова проточног тракта компресора високог притиска меморисани на системском анализатору у току ендоскопске дијагностике

Табела 1.

Контролно мјесто		Пристапни отвор	Опрема за преглед и правац гледања
3.1. Паоци		Отвор испод чепа, поз. а (сл. 5.34) на међуспоју	Фиберскоп -поглед у свим правцима
3.2. Лопатице улазног усмјеравајућег апарата, нападна и излазна ивица		Отвори испод бризгача, поз. б (сл. 5.34) за прање проточних дјелова	Фиберскоп -поглед напријед
3.3. Лопатице ротора I степена	нападна ивица,	Отвори испод бризгача, поз. б (сл. 5.34) за прање проточних дјелова	Фиберскоп - поглед напријед
	излазна ивица, аксијалне зазоре диска ротора I степена и радијални зазор лопатица ротора I степена	Отвори испод завртњева, поз. в (сл. 5.35) на статорском венцу I степена и отвора испод чепа а (сл. 5.36)	Фиберскоп -поглед назад

Листа бр. I I. – Компресор високог притиска – примјер резултата

Серијски број:		Тип М8Г ДЕ59Л5, фабрички број Г8919		
Ев. Бр.		Ракетна фрегата РФ-33		
Ред бр.	Предмет (КМ)	Слика број	Нађено стање	Закључак
3.1.	ПАОЦИ	П.1.	мања корозија и налепци	ЗАДОВОЉАВА
3.2.	УЛАЗНИ УСМЈЕРАВАЈУЋИ АПАРАТ - лопатице	П.2. П.3.	мање насlage	ЗАДОВОЉАВА



Слика II.1. – Паок - наљепак



Слика II.2. – Лопатица усмеравајућег апарата на улазу, унутрашњи Ø, – насlage

4. АНАЛИЗА ДОЗВОЉЕНИХ ОШТЕЋЕЊА

Анализа дозвољених оштећења, у циљу доношења одлуке о наставку експлоатације објекта дијагностике, је једна од најважнијих фаза ендоскопске дијагностике.

За оцјену прихватљивости констатованог оштећења најчешће се користи метода поређења са еталонским (прихватљивим) оштећењима на одговарајућем делу техничких система.

Често стање при првом ендоскопском прегледу представља почетно стање за дефинисање критеријума. Посебну пажњу треба обратити на констатована оштећења и њихов развој у периоду између два прегледа.

Након завршеног прегледа извршено је прање проточних делова гасне турбине са одговарајућим средством за прање, после чега је урађен нови ендоскопски преглед. Резултати ендоскопске дијагностике након прања су меморисани на рачунару у циљу даљег праћења стања.

5. ЗАКЉУЧЦИ

Иако се техничка дијагностика може посматрати са више аспеката ниједан од њих не егзистира посебно, сваки у себи задржи више осталих аспеката. Типичан примјер за то је ендоскопска метода која је истовремено према начину - директна, према резултатима - продубљена, према извођењу - објективна, према примјени може бити периодична и перманентна, према обиму може бити дјелимична и потпуна.

Током ендоскопске дијагностике бродског мотора, обухваћена је контрола могућих појава неисправности и оштећења, као што су: цурење расхладног флуида, корозија, механичка оштећења, оштећења галванске заштите, деформације, наслаге нечистоћа и кокса, присуство страних предмета, итд.

На основу резултата добијених ендоскопијом, познајући конструкцију бродског мотора, тј дјелове који се дијагностицирају, њихове техничко-технолошке карактеристике и услове у којима раде, могу се предложити одређене активности одржавања и временски интервали за сљедеће прегледе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bulatovic, M., Vukcevic, M., **Incorporation of the Parameters Condition and Probability of Failures in Expert System in Function of Technical Diagnostics**, The Third World Congress on Intelligent Manufacturing Processes Systems, Cambridge, Massachusetts, USA, June 28-30, 2000.
2. Bulatovic, M., **Expert System in Function of Technical Diagnostics**, 7 International Research/Expert Conference "Trend in The Development of Machinery And Associated Technology" TMT 2003, Loret de Mar, Barcelona - Spain, 15-17 September, 2003.
3. Шушић Ј. **Моделирање одржавања у функцији ефикасности бродова посебне намјене**, Магистарски рад, Машински факултет, Подгорица, 2006.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

PREGLED METODA BALANSIRANJA ROTACIONIH MAŠINA

P. Todorović ¹⁾, B. Jeremić ²⁾, I. Mačužić ³⁾

Rezime: Rotacione mašine su sigurno najviše primenjivani tehnički sistemi, počev od mašina alatki, preko industrijskih turbomašina, pa sve do savremenih mlaznih avio motora. Vibracije izazvane masenim debalansom su jedan od najčešćih problema koji se sreću kod rotacionih mašina. Ova problematika je privukla pažnju značajnog broja istraživača koji su u posledih 100 godina razvili veliki broj teorijskih i praktičnih metoda za potiskivanje nivoa ovih vibracija na prihvatljivu meru. U ovom radu je dat pregled istraživačkog rada, zatim kritička analiza osnovnih tehnika balansiranja i praćenje nivoa vibracija, kao i pregled metoda dinamičkog modeliranja rotacionih sistema.

Ključne reči: maseni debalans, rotacione mašine, metode za balansiranje

ROTATING MACHINERY BALANCING METHODS; A SURVEY

Abstract: Rotating machinery are commonly used technical systems including machining tools, industrial turbo machinery, and modern aircraft engines. Vibration caused by mass unbalance is one of the most recognized problem in rotating machinery. This issue takes attention of great number of researchers whose developed a huge number of theoretical and practical methods for vibration suppression at acceptable level in past 100 years. In this paper, a review of research work and critical analysis of available methods for rotor balancing and vibration control are given, as well as a review of dynamic models for modeling of rotating machinery.

Key words: mass unbalance, rotating machinery, balancing methods

1. UVOD

Potiskivanje vibracija kod rotacionih mašina je važan inženjerski problem. Najčešći uzrok povišenog nivoa vibracija kod rotacionih mašina je maseni debalans. Debalans nastaje kada se osa inercije rotora ne poklapa sa geometrijskom osom rotacije.

¹⁾ Mr Petar Todorović, Mašinski fakultet, Centar za terotehnologiju, Kragujevac, Srbija, petar@kg.ac.yu

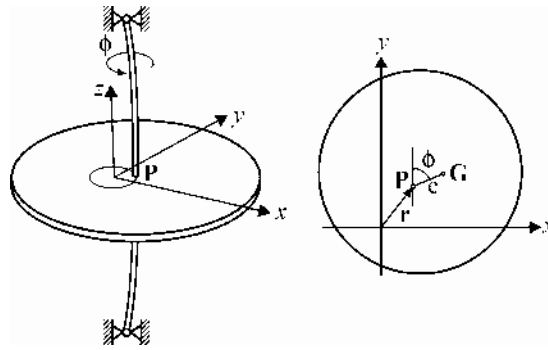
²⁾ Prof. dr Branislav Jeremić, Mašinski fakultet, Centar za terotehnologiju, Kragujevac, Srbija, petar@kg.ac.yu

³⁾ Mr Ivan Mačužić, Mašinski fakultet, Centar za terotehnologiju, Kragujevac, Srbija, petar@kg.ac.yu

Savremene rotacione mašine zahtevaju sve veću gustinu pakovanja ugrađenih elemenata, a samim tim i sve više brojeve obrtaja rotora, tako da brzine obrtanja rotora od 30.000 min^{-1} više i nisu tako retke u savremenim obradnim procesima. To znači, da kontrola nivoa vibracija ima vitalan značaj u težnji ka poboljšanju kvaliteta obrađene površine, produženju veka trajanja uležištenja, produženju veka trajanja alata i glavnog vretena kod alatnih mašina, kao i na smanjenje broja neželjenih otkaza. Kontrolom vibracija kod visokoodgovornih rotacionih mašina kao što su: parne i gasne turbine, pumpe, kompresori i druge rotacione mašine koje se koriste u elektro i petrohemijskoj industriji, mogu se značajno smanjiti troškovi.

2. TEORIJSKE OSNOVE

Prvi jednostavan dinamički model rotora koji se još uvek široko koristi predstavio je *Föppl* (1895) [19]. Ovaj model rotora nosi ime po *Jeffcott*-u (1919) jer je njegov opis istog modela jasniji i šire prihvaćen (*Slika 1*) [1, 3, 10, 19]. Razmatra se samo pomeranje u ravni normalnoj na osu obrtanja.



Slika 1. *Jeffcott*-ov rotor

Po *Jeffcott*-u, usled rotacije diska dolazi do pomeranje njegovog geometrijskog centra **P**, odn. javlja se debalans koji generiše dinamička opterećenja. **G** je centar mase diska. Pomeranje geometrijskog centra **P** je prikazano vektorom **r**. Jednačine kretanja geometrijskog centra **P** prema *Childs*-u (1993) [1, 19] glase:

$$\begin{aligned} m \cdot \ddot{r}_x + c \cdot \dot{r}_x + k \cdot r_x &= m \cdot a_x \cdot \dot{\phi} + m \cdot a_y \cdot \ddot{\phi} \\ m \cdot \ddot{r}_y + c \cdot \dot{r}_y + k \cdot r_y &= m \cdot a_y \cdot \dot{\phi} - m \cdot a_x \cdot \ddot{\phi} \end{aligned} \quad (1)$$

gde je **m** masa rotora, **c** viskozno prigušenje, **k** koeficijent krutosti vratila, $[a_x, a_y]$ je vektor od **P** ka **G** izražen u odnosu na stacionarni koordinatni sistem. ϕ je ugao rotacije rotora. Za slučaj konstantne brzine obrtanja rotora $\dot{\phi} = 0$. Opisani model rotora se široko koristi za proučavanje osnovnih fenomena u dinamici rotora, kao što su kritične brzine, efekti prigušenja i sl.

Po *Jeffcott*-ov modelu, rotor je modeliran krutim diskom oslonjen na elastično vratilo vez mase, koje je oslonjeno na fiksne krute oslonce. Ovaj model je skoro identičan modelu koji razmatra kruto vratilo oslonjeno na elastične oslonce (model krutog rotora). Glavno poboljšanje ovog modela u odnosu na kruti disk je to da je kretanje rotora opisano kretanjem krutog tela realnih dimenzija. Pomoću modela krutog

rotora mogu se opisati pojave vezane za kretanje rotora kao što su orbite usled debalansa, kritične brzine, žiroskopski efekat i dr. Jednačine kretanja ovog modela rotora dali su Zhou i Shi (2000) [1].

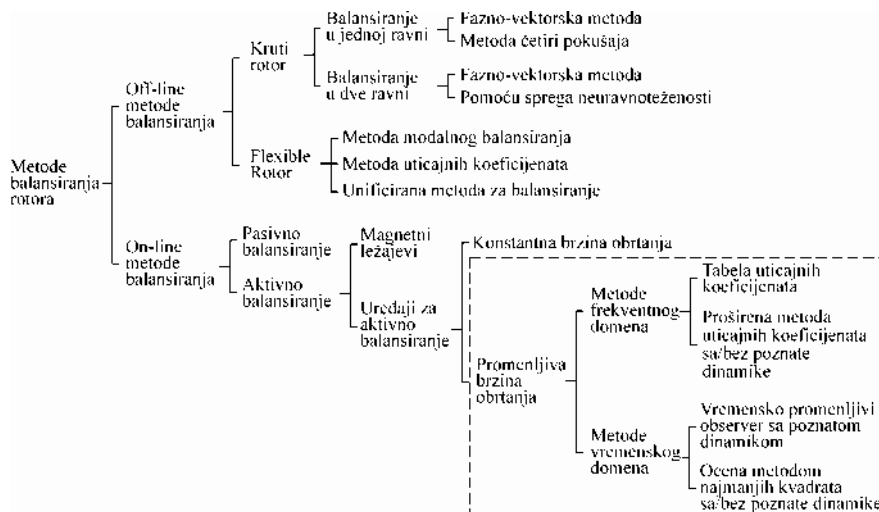
Za još složenije tipove rotora razvijen je **model elastičnog (fleksibilnog) rotora**. Ovaj model dozvoljava elastičnu deformaciju rotora za vreme njegove rotacije i tačniji je od modela krutog rotora. Kompleksni rotorski sistem je podeljen u nekoliko tipova osnovnih elemenata: kruti disk se nalazi na elastičnom vratilu koje je modelirano sa jednim ili više segmenata, uležištenja (obično modelirana kao linearna), prigušenja itd. Osnovne jednačine kretanja elastičnog rotora prema Lalanne-u i Ferraris-u (1998) [1] mogu da se napišu u obliku:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{K}\mathbf{q} = \mathbf{f}(\phi) \quad (2)$$

gde je \mathbf{q} generalisana koordinata koja opisuje pomeranje, \mathbf{M} , \mathbf{C} i \mathbf{K} su matrice sa odgovarajućim koeficijentima. Dimenzije ovih matrica zavise od broja nodova (čvorova) posmatranog modela. U slučaju složenijih dinamičkih sistema rotor-uležištenje-fundament sistem matrica (2) može biti dosta veliki, što značajno komplikuje njegovo rešavanje. Zato je veliki broj istraživača radio na dekompoziciji sistema jednačina (2) u cilju iznalaženja metoda za jednostavnije i pri tome zadovoljavajuće tačno rešenje jednačina kretanja.

3. PREGLED METODA BALANSIRANJA ROTORA

Prethodno opisani teorijski modeli rotora su poslužili za definisanje velikog broja metoda za balansiranje. Jedna od podela metoda za balansiranje rotora data je na Slici 2.



Slika 2. Podela metoda balansiranja [1]

Tehnike balansiranja rotora mogu se podeliti na off-line tehnike (potrebno je zaustavljanje rotora) i na on-line tehnike balansiranja koje se još zovu i tehnike balansiranja u realnom vremenu. Sledi detaljniji opis pojedinih metoda sa kritičkim osvrtom.

3.1 OFF-LINE METODE BALANSIRANJA

Balansiranje zasnovano na metodi krutog rotora se široko primenjuje u savremenoj industrijskoj praksi. Po ovoj metodi rotor se modelira kao kruto vratilo, što znači da on ne može da ima elastične deformacije. Teoretski, bilo kakva raspodela debalansa u krutom rotoru može da se balansira u dve razdvojene korekcijske ravni [21]. Metoda krutog rotora je jednostavna za implementaciju, ali je primenljiva samo na rotorima sa relativno niskim brojevima obrtaja. Grubo posmatrano rotor čiji je broj obrtaja manji od 5000min^{-1} može se razmatrati kao krut [1]. Dobro je poznato da se metode balansiranja krutih rotora ne mogu primeniti na elastične rotore. Iz tog razloga za *off-line* balansiranje elastičnih rotora razvijene su metode modalnog balansiranja i metoda uticajnih koeficijenata.

Metoda modalnog balansiranja se zasniva na modalnoj prirodi odziva rotora. Po ovoj metodi, svaki mod se balansira sa određenim brojem masa izabranih i raspoređenih tako da ne narušavaju prethodno balansirane niže modove. Tu su i dve važne pretpostavke, koje su istovremeno i ograničenja za primenu ove metode: (1) prigušenje rotorskog sistema je tako malo da se može zanemariti i (2) glavni oblici oscilovanja (modovi) leže i ravnima koje su nezavisne za svaki mod. Ukoliko prigušenje rotora nije zanemarivo dolazi do "zakrivljenja" ravni pojedinih modova. Veliki broj istraživača je radio na rešavanju problema koji mogu da se jave kod ove metode balansiranja kao što su balansiranje rotora kod koga su pojedini modovi blizu, zatim kako balansirati rotor za inicijanim zakrivljenjem, kako rešiti problem ugiba usled gravitacije i dr. Većina varijantni modalnog balansiranja su analitičke, što znači da je neophodan što tačniji dinamički model rotora. To ovu metodu udaljava od mogućnosti razvoja automatskih algoritama za balansiranje.

Za razliku od metode modalnog balansiranja, **metoda uticajnih koeficijenata** je eksperimentalna metoda i kao takva može biti lako automatizovana. Ova metoda je uglavnom razvijena u Americi [2]. Osnovna ideja koja se koristi kod metode uticajnih koeficijenata može da se opiše jednačinom [1]:

$$\mathbf{v}_w = \mathbf{C}\mathbf{w} \quad (3)$$

gde je \mathbf{v}_w je kolona odziva debalansa rotora predstavljena kompleksnim brojevima preko amplitude i faze, \mathbf{w} kolona vektora koji predstavljaju debalans u ovim ravnima, dok je \mathbf{C} matrica čiji su elementni uticajni koeficijenti koji pokazuju odnos između debalansa i odziva rotora. Ukoliko sada u rotorski sistem unesemo poznati debalans, uzimajući u obzir debalans sistema i novi kontrolisani debalans, ukupne vibracije će biti:

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + \mathbf{C}\mathbf{w} \quad (4)$$

gde je \mathbf{v} kolona sa vibracijama na mestima senzora, \mathbf{v}_0 je kolona vibracija uzrokovana nepoznatim debalansom na mestima senzora, \mathbf{C} matrica uticajnih koeficijenata, a \mathbf{w} kolona vektora korekcionih masa. Ako je \mathbf{C} kvadratna matrica, što znači da je broj korekcionih ravni jednak broju ravni u kojima se nalaze senzori vibracija tada je:

$$\mathbf{w} = -\mathbf{C}^{-1}\mathbf{v}_0 \quad (5)$$

Nedostatak ove metode je potreba za relativno velikim brojem probnih pokušaja, a u slučaju promene brzine obrtanja potrebno je ponoviti eksperiment zato što uticajni koeficijentni zavise od broja obrtaja.

Kang (2000, 2003) ispred grupe autora [7, 8] predlaže modifikovanu metodu uticajnih koeficijenata za specifičan slučaj balansiranja kolonastih vratila. Isti autor analizira principe i primere izbora ravni za balansiranja [17].

Parkinson, Darlow i Smalley (1980) [2] predlažu **unificiranu metodu za balansiranje fleksibilnih rotora** koja kombinuje metodu modalnog balansiranja i metodu uticajnih koeficijenata u cilju dobijanja boljih rezultata balansiranja sa manjim brojem probnih pokušaja. Potrebno je napomenuti da postoje i drugi pristupi za *off-line* balansiranje rotora koji se ne mogu svrstati u prethodno opisane. Tako na primer *Hassan* (1995) [16] predlaže da se rotorski sistem posmatra kao “crna kutija”.

3.2 METODE BALANSIRANJA U REALNOM VREMENU

Metode balansiranja u relnom vremenu (*on-line* metode) mogu se podeliti u pasivne i aktivne metode balansiranja u zavisnosti od toga koju vrstu uređaja za balansiranje koriste.

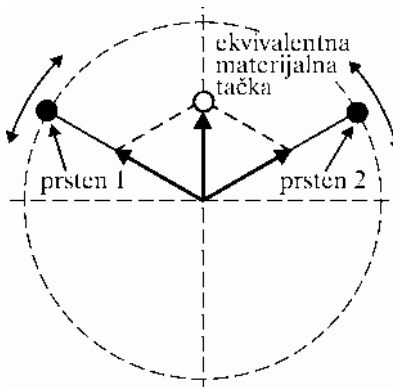
Automatsko balansiranje pasivnim uređajima. Mali broj istraživača je radio na uređajima za pasivno autobalansiranje. Prvi uređaj za pasivno balansiranje predstavio je *Thearle* (1950) [1]. On razmatra uređaj u kome su jedno ili dva tela (korekzione mase) pod uticajem viskoznoeg trenja i slobodno se kreću u posebnom žljebu u rotoru. *Thearle* je pokazao da se kod rotora u obliku diska sa ovim uređajem javlja pojava autobalansiranja. Par drugih autora koji je radilo na ovoj problematici je takođe razmatralo jednostavne modele rotora. Za komplikovanije modele rotora od sistema za automatsko balansiranje zahteva se i aksijalno kretanje korekcionih masa, što često nije izvodljivo u realnim aplikacijama.

Automatsko balansiranje aktivnim balanserima sa redistribucijom masa. Prva rezultate istraživanja na uređaju za aktivnu redistribuciju masa objavio je *Van De Vegte* (1964) [1]. Balanser za redistribuciju masa se zasnivao na kretanju korekcionih masa duž dve upravne ose koje su vezane za rotacioni sistem. Mase su pokretane pomoću dva mala servomotora, pa je postupak balansiranja mogao biti sproveden tokom rotacije rotora. Napajanje servomotora je ostvareno pomoću kliznih prstenova. Jedini ulaz ovom aktivnom uređaju za balansiranje bilo je merenje vibracija uzrokovano debalansom na osloncima. *Van De Vegte* je utvrdio da ako je brzina obrtanja dovoljno udaljena od kritične brzine tada je moguće izračunati koliki je zaostali debalans sistema pomoću merenja vibracija i poznavanjem uticajnih koeficijenata. U slučaju da je brzina obrtanja bliska kritičnoj brzini greške merenja i greške u proceni uticajnih koeficijenata dovešće do značajnih grešaka na uređaju za aktivno balansiranje. U ovom slučaju je potrebno primeniti metodu modalnog balansiranja. U svojim narednim istraživanjima *Van De Vegte* (*Van De Vegte and Lake*, 1978 i *Van De Vegte*, 1981) razmatra aktivni balanser koji se sastoji iz dve “glave” za balansiranje za dve korekzione ravni. Kako *Van De Vegte* nije imao odgovarajuće upravljanje servomotorima nije bilo moguće koordinirati preraspodelom masa u obe ravni istovremeno.

Goseiwski (1985, 1987) [1] je predstavio svoj rad na uređaju za automatsko balansiranje elastičnih rotora. On je koristio računar kao kontroler. *Goseiwski* je koristio priširenu metodu uticajnih koeficijenata i *Van De Vegte*-ov i *Lake*-ov uređaj za redistribuciju masa. Za ovu metodu potrebno je prethodno poznavanje uticajnih koeficijenata za nekoliko opsega brojeva obrtaja. Ovi uticajni koeficijenti se smeštaju u memoriju računara. *Goseiwski* je tvrdio da je primenom pokretnih masa moguće utvrditi matricu uticajnih koeficijenata bez zaustavljanja rotora, ali nije jasno objasnio kako je to uradio i kako to utiče na upravljanje.

Uspešnu primenu *on-line* metode procene uticajnih koeficijenata i aktivnu kontrolu objavili su *Dyer* i *Ni* (1999) [1]. U njihovom radu adaptivni sistem upravljanja koji kombinuje *on-line* estimaciju (procenu) uticajnih koeficijenata kao i metoda

balansiranja elastičnih rotora su uspešno realizovani korišćenjem aktuatora za aktivnu redistribuciju masa. Šematski prikaz uređaja za automatsko balansiranje (balanser) je prikazan na Slici 3.



Slika 3. Uređaj za automatsko balansiranje [1]

Balanser se montira na rotor i sastoji se iz dva prstena. Ova dva prstena nisu balansirana i mogu se predstaviti kao dve materijalne tačke. Kada balanser nije aktivan, ova dva prstena su zakočena dejstvom magnetne sile. Prsteni mogu da rotiraju zajedno sa rotorom i takođe mogu kontrolisano da se zakreću o odnosu na rotor. Kombinacija ove dve materijalne tačke je ekvivalentna jednoj materijalnoj tački čija amplituda i faza mogu da se menjaju.

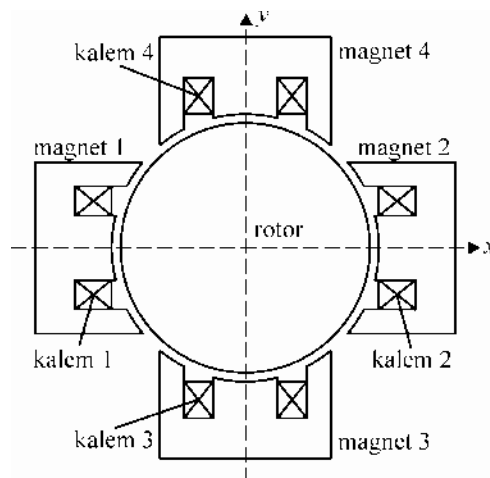
Aktivno balansiranje za slučaj promenljive brzine obrtanja rotora je takođe neophodno u pojedinim aplikacijama. Na primer, kod visokoproduktivne obrade, alat treba da započne sa obradom što je pre moguće i to čim radno vreteno dostigne stabilan rad. Ako se aktivno balansiranje primeni na jednoj ovakvoj mašini, proces balansiranja treba da se odvija tokom perioda zaletanja kako bi se smanjilo vreme rezanja. Sa druge strane, najviši nivo vibracija obično se ispoljava kada rotor prolazi kroz svoje kritične brzine.

Za slučaj konstantnih brojeva obrtaja potrebno je poznavati odziv samo na jednoj pobudnoj učestanosti (učestanosti obrtanja). To znači da je moguće koristiti jednostavnije dinamičke modele rotora (na pr. model uticajnih koeficijenata) da bi se razvio algoritam aktivnog balansiranja. Sa druge strane za slučaj promenljive brzine obrtanja potrebno je poznavati kompletno dinamičko ponašanje rotora tokom njegovog zaletanja. Potrebno je poznavanje mnogo detaljnijeg modela rotora kao i primena daleko sofisticiranijeg algoritma upravljanja.

Aktivna kontrola vibracija rotacionih mašina je specijalan slučaj aktivne kontrole vibracija elastičnih struktura. Generalna razlika između rotacionih mašina i elastičnih struktura je u tome što se dinamičko ponašanje rotora menja sa promenom brzine obrtanja. Najbolje karakteristike upravljanja dobijaju se ako se jačina upravljanja menja sa promenom brzine. Kako je rotor pokretni deo potrebno je koristiti bezkontaktni aktuator da bi se korekcionim silom delovalo na rotor. Postoji više tipova aktuatora koji se koriste za direktnu aktivnu kontrolu vibracija i to [1]: elektromagnetni, hidraulični, piezoelektrični i dr. Tehnologija aktivnog elektromagnetnog uleživanja se već uveliko koristi u savremenoj industrijskoj praksi.

Magnetni ležajevi se koriste da saopšte sinhronu silu na vratilo u cilju kontrole debalansa, ili da ponište silu koja se prenosi na fundament mašine ili da kompenziju vibraciono pomeranje vratila. *Knospe* ispred grupe autora (1995) [15] je predstavio adaptivnu metodu sa otvorenom petljom za kontrolu pomeranja usled debalansa korišćenjem magnetnih ležajeva. Sinusoidna sinhrona sila deluje na vratilo preko magnetnih ležajeva na ugaonu poziciju koja se dobija od signala davača referentne pozicije. Amplituda i faza ovih sinusoida se periodično menja u cilju minimizacije neuravnoteženog odziva rotora.

Li sa grupom autora (2003) [20] objavljuje svoj rad na kompenzaciji debalansa rotora za precizne rotore pomoću magnetnih ležajeva. Rotor koji *Li* razmatra je oslonjen na vazдушnim jastucima i pozicioniran radijalnim magnetnim ležajevima sa nanometarskom preciznošću. Principijelna šema *Li*-evog magnetnog ležaja data je na *Slici 4*.



Slika 4. Magnetni ležaj [20]

Li koristi duplu petlju za kompenzaciju. Jednom kada centar masa dostigne svoju poziciju, rotor nastavlja sa rotacijom vrlo bliskom dostignutoj poziciji i na različitim brojevima obrtaja bez tranzijentnih pojava. Rezultati koje je *Li* dao pokazuju da je pomeranje centra rotacije za slučaj aktivne kompenzacije u granicama manjim od ± 20 nm (razmatrani su brojevi obrtaja od 500min^{-1} , 1000min^{-1} i 1500min^{-1}). Kada aktivna kompenzacija nije u funkciji ova pomeranja idu i do ± 170 nm za 1500min^{-1} .

4. PRAVCI DALJIH ISTRAŽIVANJA AKTIVNIH TEHNIKA BALANSIRANJA

Trenutno aktivna oblast istraživanja je iznalaženje optimalnog odnosa pozicija aktuator/senzor. Ograničavajući faktor je nedostatak korisnog prostora za položaj aktuatora odn. senzora. Dostupna literatura vrlo malo razmatra problem položaja aktuator/senzor. *Bishop* (1982) [1] je istakao da je moguće balansiranje elastičnog rotora tokom njegove rotacije pod uslovom da su kritične brzine dovoljno udaljene jedna od druge. Takođe je preporučio da ravan za balansiranje ne bi trebala da bude blizu noda (čvora) u bilo kom od nižih n osnovnih modova oscilovanja.

Kang ispred grupe autora (1997) [17] ističe da se kod kompleksnih rotorskih sistema kao što višecilindrična kolenasta vratila javlja potreba balansiranja u više ravni kako bi se izbegla koncentracija masa u dve korekzione ravni. Pri tome daje predlog tehnike razdvajanja i izbora ravni za korekciju.

Zhou ispred grupe autora (2001) [1] prelaže novu proceduru za određivanje položaja korekcionih ravni. Ovaj postupak optimizacije se bazira na analitičkom predstavljanju uticajnih koeficijenata. Pomenuti problem je rešen primenom tehnike višekriterijumske optimizacije.

5. ZAKLJUČAK

Dinamika rotacionih mašina je problem koji drži pažnju istraživača već više od 100 godina. U ovom radu je dat pregled i kritička analiza postojećih tehnika balansiranja rotacionih mašina.

Analiza dinamičkog ponašanja, kao i aktivna kontrola vibracija rotacionih mašina je važan inženjerski problem koji se tiče i industrije i istraživačkih institucija. Osnovni problem sa kojim se susreće aktivna kontrola vibracija je korišćenje ograničenog broja aktuatora u cilju kontrole većeg broja modova oscilovanja.

Očigledno je da aktivne metode balansiranja mogu da potisnu vibracije izazvane debalansom. Takođe je jasno da aktivne metode balansiranja utiču na poboljšanje kvaliteta proizvoda i mogu da produže vreme eksploatacije mašine i reznih alata. Sa druge strane, postavljanje i održavanje uređaja za aktivnu kontrolu vibracija i aktivno balansiranje rotacionih mašina značajno povećava njihovu cenu. Nije detaljno analizirano kako i koliko uređaji za aktivnu kontrolu vibracija utiču na konačnu cenu proizvoda.

Dalji razvoj uređaja za aktivnu kontrolu vibracija i njihova masovna proizvodnja sigurno će dovesti značajnog sniženja njihove cene koštanja i time ih učiniti dostupnijim za primenu u velikom broju realnih aplikacija.

LITERATURA

- [1] *Zhou, S., Shi, J.*, Active Balancing and Vibration Control of Rotating Machinery: A Survey, article, The Shock and Vibration Digest, Vol. 33, No. 4, July 2001, pp 361-371, 2001 Sage Publication
- [2] *Parkinson, A. G., Darlow, M. S., Smalley, A. J.*, A Theoretical Introduction to the Development of a Unified Approach to Flexible Rotor Balancing, Journal of Sound and Vibration, 68(4), pp.489-506, 1980.
- [3] *Sharp, R. S.*, Flexible Rotor Balancing: A Review of Principle and Practices, Tribology International October 1980, pp 211-217, 1980.
- [4] *Gnielka, P.*, Modal Balancing of Flexible Rotors Without Test Runs: An Experimental Investigation, Journal of Sound and Vibration, 90(2), pp.157-172, 1983.
- [5] *Kang, Y., Liu, C. P., Sheen, G. J.*, A Modified Influence Coefficient Method for Balancing Unsymmetrical Rotor-Bearing System, Journal of Sound and Vibration, 194(2), pp.199-218, 1996.
- [6] *Xu, B., Qu, L., Sun, R.*, The Optimization Technique-Based Balancing of Flexible Rotors Without Test Runs, Journal of Sound and Vibration, 238(5), pp.877-892, 2000.

- [7] Kang, Y., Tseng, M. H., Wang, S. M., Chaing, C. P., Wang, C. C., An Accuracy Improvement for Balancing Crankshaft, *Mechanism and Machine Theory* 38 (2003), pp. 1449-1467, 2003.
- [8] Kang, Y., Chang, Y. P., Tseng, M. H., Tang, P. H., Chang, Y. F., A Modified Approach Based on Influence Coefficient Method for Balancing Crank-Shafts, *Journal of Sound and Vibration*, 234(2), pp.277-296, 2000.
- [9] Edwards, S., Lees, A. W., Friswell, M. I., Experimental identification of Excitation and Support Parameters of a Flexible Rotor-Bearings-Foundation System From a Single Run-Down, *Journal of Sound and Vibration*, 232(5), pp.963-992, 2000.
- [10] Zeng, S., Wang, X. X., The Influence of the Electromagnetic Balancing Regulator on the Rotor System, *Journal of Sound and Vibration*, 219(4), pp. 723-729, 1999.
- [11] Zeng, S., Wang, X. X., The Electromagnetic Balancing Regulator and the Automatic Balancing System, *Journal of Sound and Vibration*, 209(1), pp. 5-13, 1998.
- [12] Chung, J., Jang, I., Dynamic Response and Stability Analysis of an Automatic Ball Balancer for a Flexible Rotor, *Journal of Sound and Vibration*, 259(1), pp. 31-43, 2003.
- [13] Chung, J., Jang, I., Dynamic Analysis of an Automatic Dynamic Balancer for Rotating Mechanisms, *Journal of Sound and Vibration*, 228(5), pp. 1035-1056, 1999.
- [14] Rajalingham, C., Bhat, R. B., Rakheja, S., Automatic Balancing of Flexible Vertical Rotors Using a Guided Ball, *International Journal of Mechanical Science*, Vol. 40, No. 9, pp. 825-834, 1998.
- [15] Knospe, C. R., Hope, R. W., Fedigan, S. J., Williams R. D., Experiments in the Control of Unbalance Response Using Magnetic Bearings, *Mechatronics*, Vol. 5, No. 4, pp. 385-400, 1995.
- [16] Hassan, G. A., New Approach for Computer-Aided Static and Dynamic Balancing of Rigid Rotors, *Journal of Sound and Vibration*, 179(5), pp. 749-761, 1995.
- [17] Kang, Y., Sheen, G. J., Tang, P. H., The Principle and Applications of Multi-Plane Separation for Balancing Machines, *Journal of Sound and Vibration*, 208(2), pp. 167-173, 1997.
- [18] Shih, Y. P., Lee A. C., Identification of the Unbalance Distribution in Flexible Rotors, *International Journal of Mechanical Science*, Vol. 39, No. 7, pp. 841-857, 1997.
- [19] Holopainen, T. P., Electromechanical Interaction in Rotordynamics of Cage Induction Motors, Dissertation for the Degree of Doctor of Science in Technology, Helsinki University of Technology, Finland, August 2004.
- [20] Li, L., Shishi, T., Lijama, C., Zhang, X., Shimokohbe, A., Compensation of Rotor imbalance for Precision Rotation of a Planar Magnetic Bearing Rotor, *Precision Engineering* 27, pp. 140-150, 2003.
- [21] Gligorić, B., Dinamičko uravnotežavanje masa rotora obrtnih mašina – teorijske osnove i merni principi, Univerzitet “Svetozar Marković”, Mašinski fakultet Kragujevac, 1978.
- [22] Dynamic Balancing, Interfacing Level Recorder to a Computer, Brüel&Kjær Technical Review, No. 3, 1979.
- [23] Girdhar P., *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*, Newnes, Elsevier, 2004.
- [24] ISO 1940-1: 1986 (E), Mechanical vibration – Balance quality requirements of rigid rotors – Part 1: Determination of permissible residual unbalance, International Organization for Standardization

- [25] ISO 1940-2: 1997 (E), Mechanical vibration – Balance quality requirements of rigid rotors – Part 2: Balance errors, International Organization for Standardization
- [26] ISO 2953, Mechanical vibration – Balancing machines – Description and evaluation, International Organization for Standardization
- [27] ISO 8821: 1989 (E), Mechanical vibration – Balancing – Shaft and fitment key convention, International Organization for Standardization
- [28] ISO 10814: 1996 (E), Mechanical vibration – Susceptibility and Sensitivity of machines to unbalance, International Organization for Standardization
- [29] ISO 11342: 1988 (E), Mechanical vibration – Methods and criteria for the mechanical balancing of flexible rotors, International Organization for Standardization



APPLICATION OF THE THEORY OF REGENERATION TO MACHINE PRODUCTS AND EQUIPMENT

D. Knežo ¹⁾, D. Šebo ²⁾, Z. Kimáková ³⁾

Abstract: *This contribution deals with the theoretical model of operating costs of machine equipment and with the procedure concerning estimate of cost function parameters. The obtained results allow to define optimal regeneration period for concrete machine products or equipment. This helps users to diminish possible technical and environmental hazards connected with machine operation.*

Key words: *optimal regeneration period, method of minimal squares, application of the Method*

1. INTRODUCTION

To determine becomes crucial nowadays since it allows not only to avoid financial loss, but also to diminish possibility of technical incidents or environmental disasters by setting an appropriate date for repairs and maintenance of a machine, or by discarding it from service.

The contributions [1], [2] contain calculations of cost function parameters in dependence on time by using approximative methods, and the obtained dependence of costs on time is approximating to real costs. In the following paper we would like to describe another method suitable for cost evaluation and at the same time, using a car as an example, to determine not only the relation costs – time, but also the optimal regeneration period depending on kilometres.

2. CALCULATING OF COST EQUATION PARAMETERS

The relation $N = A + B \cdot t + C \cdot t^\delta$ is used to characterize dependence of machine operating cost. The parameters of this equation can be determined by regression analysis, especially by using minimum squares method.

¹⁾ **Dušan Knežo**, The Department of Applied Mathematics, The Faculty of Mechanical Engineering of Technical University in Košice, Slovak Republic, dusan.knezo@tuke.sk

²⁾ **Dušan Šebo**, The Department of Environmental Studies and Control Processes, The Faculty of Mechanical Engineering of Technical University in Košice, Slovak Republic, dusan.sebo@tuke.sk

³⁾ **Zuzana Kimáková**, The Department of Applied Mathematics, The Faculty of Mechanical Engineering of Technical University in Košice, Slovak Republic, zuzana.kimakova@tuke.sk

The regression analysis is based on data on cumulative costs N_i covering in-service periods t_i . The minimum squares method requires approximate coefficients A_0, B_0, C_0 and the exponent δ_0 to be determined.

This is done by calculating randomly chosen points, which consists of the following steps:

a) determining A_0

Determining A_0 according to the relation $A = OC - ZC$, where A is commission price, OC is buying price and ZC is balance price.

b) determining δ_0

Since we assume that the exponent is higher than 2, and that the used method of curves fitting is an iteration one, it means that the solution is obtained after several calculations, and that initially estimated parameters approximate real ones, and the selected exponent is δ_0 from the interval $\langle 2; 4 \rangle$.

c) determining B_0, C_0

At this stage, the parameters A_0 and δ_0 are already known, and for this reason, the easiest way how to determine values B_0 and C_0 is to use two-equation set:

$$\begin{aligned} N_1 &= A_0 + B_0 \cdot t_1 + C_0 \cdot t_1^{\delta_0} \\ N_2 &= A_0 + B_0 \cdot t_2 + C_0 \cdot t_2^{\delta_0} \end{aligned}$$

characterized by sufficiently distant points $[t_1, N_1], [t_2, N_2]$ of the cost function.

3. ALGORITHM OF CALCULATION

Curve fitting $N = A + B \cdot t + C \cdot t^\delta$ by the method of minimal squares consists of the following steps:

1. Calculation of partial derivations of the function $N = A + B \cdot t + C \cdot t^\delta$ by sought parameters

$$\frac{\partial N}{\partial A} = 1, \quad \frac{\partial N}{\partial B} = t, \quad \frac{\partial N}{\partial C} = t^\delta, \quad \frac{\partial N}{\partial \delta} = C t^\delta \ln t.$$

Setting factors of normal equation into matrix.

Mark the matrix of normal factors of cost equation K

$$K = \begin{pmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} \\ k_{12} & k_{22} & k_{23} & k_{24} \\ k_{13} & k_{23} & k_{33} & k_{34} \\ k_{14} & k_{24} & k_{34} & k_{44} \end{pmatrix},$$

where

$$k_{11} = \sum_{i=1}^m 1 = m, \quad k_{12} = \sum_{i=1}^m t_i, \quad k_{13} = \sum_{i=1}^m t_i^\delta, \quad k_{14} = \sum_{i=1}^m C t_i^\delta \ln t_i,$$

$$k_{22} = \sum_{i=1}^m t_i^2, \quad k_{23} = \sum_{i=1}^m t_i^{\delta+1}, \quad k_{24} = \sum_{i=1}^m C t_i^{\delta+1} \ln t_i, \quad k_{33} = \sum_{i=1}^m t_i^{2\delta},$$

$$k_{34} = \sum_{i=1}^m C t_i^{2\delta} \ln t_i, \quad k_{44} = \sum_{i=1}^m (C t_i \ln t_i)^2, \text{ where } m \text{ is the number of}$$

input data.

The vector of constant terms is as follows:

$$b = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{pmatrix}, \text{ where } b_1 = \sum_{i=1}^m (N_i - N_0), \quad b_2 = \sum_{i=1}^m (N_i - N_0) t_i,$$

$$b_3 = \sum_{i=1}^m (N_i - N_0) t_i^\delta, \quad b_4 = \sum_{i=1}^m (N_i - N_0) \cdot C t_i^\delta \cdot \ln t_i,$$

$N_0 = A_0 + B_0 \cdot t_i + C_0 \cdot t_i^{\delta_0}$ and N_i is measured value of cost at i in-service period of equipment.

2. Solution of normal equations set

By using Gaussian elimination we obtain values of estimation inaccuracies of parameters $\Delta a, \Delta b, \Delta c, \Delta \delta$.

Then $A = A_0 + \Delta a$, $B = B_0 + \Delta b$, $C = C_0 + \Delta c$, $\delta = \delta_0 + \Delta \delta$.

3. Verification of calculation accuracy

The calculations described in 2. and 3. are repeated until the increments $\Delta a, \Delta b, \Delta c, \Delta \delta$ attain the value lower than the selected accuracy ε .

4. Determination of optimal regeneration period

To determine this we use the relation

$$t_{opt} = \sqrt[\delta]{\frac{A}{(\delta - 1) \cdot C}}.$$

4. APPLICATION OF THE METHOD FOR A CONCRETE TASK SOLUTION

The above described method is applied to a car. The input data come from an existing company that provided us with data on costs concerning several months of the the car's in-service. In order to simplify the task, time data are put into quarters. We disposed also of data on kilometres at the value i of cumulative costs.

The cumulative costs cover: fuel consumption and consumption of other liquids needed for car maintenance (oil, distilled water, brake liquid...), current servicing (new oil, tyres,...), accessories needed for a reliable use of the car (summer, winter tyres, lamps...) and necessary repairs (servicing after a road accident...)

If we issue from the mutual relation between cumulative costs and car age, the optimal regeneration period is 13,279 quarters (3,32 of years). This regeneration period is realistic because the literature dealing with the theory of regeneration [3] says that a utility car requires regeneration after its three-four-year use.

If we apply a similar model to dependence of cumulative costs on kilometres, we obtain T_{opt} for 148 919 kilometres, which corresponds to the car's 18th quarter of age (4,5 year).

The different values can be explained by the fact that costs per unit depending on time begin to be realised immediately after the purchase without taking into consideration whether the machine is in operation or not. The data used in the example show that during two first in-service years, the car just started to be used and it was not used as often as later and that is why the optimal regeneration time was delayed by one and half years.

While taking decisions concerning optimal regeneration time we should also think about moral and material ageing of equipment and the solution based on cumulative costs and kilometres should be used as the latest possible moment of regeneration.

5. CONCLUSION

The theory of the regeneration ranks among technical, physical and mathematical sciences, which are under the constant progress, and it assists many industrial branches in prevention of the incidents caused by the technical equipment. The application of the method allows to optimize operating costs and at the same time to determine suitable timing for the regeneration of the equipment in the use.

The contribution elaborated within the grant task solution VEGA 1/2194/05 Models of hazards in machine industry by applying disaster theory.

REFERENCES:

1. Knežo, D., Šebo, D., Kimáková, Z., Tižová, M.: Matematický model prevádzkových nákladov strojárskych výrobkov a zariadení, Acta Mechanica Slovaca, Košice, 2-B/2005, EIaM 05, Roč.9.
2. Šebo, D., Knežo, D., Tižová, M., Kimáková, Z.: Environmentálne riziká dožitých výrobkov a ich obnova, Acta Mechanica Slovaca, Košice, 2-B/2005, EIaM 05, Roč. 9.
3. Internet- www.ihned.logistika.cz

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

FAZI EKSPERTNI SISTEM ZA DIJAGNOSTIKU PLC KONTROLISANIH SISTEMA U INDUSTRIJI DUVANA BANJALUKA

T. Latinović¹⁾, R. Zrilić²⁾, M. Šljivić³⁾

UVOD. Ovaj rad predstavlja pristup fazi ekspertskom sistemu za dijagnostiku PLC kontrolisanih proizvodnih sistema. Znanje koje ima dizajner proizvodnog sistema i funkcionalna i operaciona logika u PLC kontrolisanom proizvodnom sistemu kada se objedine daju integrisani sistem. Ovaj model sadrži znanja inženjera o proizvodnom sistemu koji se dijagnosticira. Tokom operacije u proizvodnom sistemu, dijagnostički sistem može kontinualno da uzima podatke od PLC-a, identifikuje moguće greške, traži moguće uzroke i predlaže korektivne akcije.

Ključne riječi: Fazi, Ekspertski sistem, PLC

A FUZZY REAL-TIME EXPERT DIAGNOSTIC SYSTEM FOR PLC CONTROLLED MANUFACTURING SYSTEMS IN TOBACCO INDUSTRY BANJALUKA

ABSTRACT. This paper presents an approach to a fuzzy real-time expert diagnostic system for PLC controlled manufacturing system in Tabaco Industry in Banjaluka. The knowledge is the description of the functional and operational logic embedded in the PLC in a more usable form compared to that held in the mind of manufacturing system designers themselves. These models contain the design and engineering knowledge about the manufacturing system to be diagnosed. During the operation of the manufacturing system, the diagnostic system can continuously acquire data from the PLC, identify possible faults, search for their causes and suggest corrective actions.

Key word: Fuzzy, Ekspert System, PLC

-
- ¹⁾ Dr T. Latinovic, Department of Mechatronic, Mechanical Faculty, University in Banjaluka, Republic of Srpska, Bosnia and Hercegovina, tiho@inecco.net
²⁾ Dr R. Zrilic, Department of Mechatronic, Mechanical Faculty, University in Banjaluka, Republic of Srpska, Bosnia and Hercegovina
³⁾ Dr M. Šljivić, Dean of Mechanical Faculty, University in Banjaluka, Republic of Srpska, Bosnia and Hercegovina

1. UVOD

Da bi se automatizovali mnogi kompleksni proizvodni sistemi moraju se kontrolisati Programibilnim Logičkim Kontrolerima (PLC) [1]. To je zato što su PLC – ovi adaptibilni, modularni, lako programabilni i jeftini. Ali zbog nefleksibilnog programabilnog sistema za PLC-ove mogućnosti za detekciju kvarova su ograničene. Greške u operacijama PLC-ova često stvaraju nedoumicu kod osoblja koje održava proizvodnju. Statistika pokazuje da se te greške dešavaju češće (oko 70%) u odnosu na sve greške i kad se takva greška desi, oko 80% vremena se provede tražeći uzrok greške i samo 20% na popravku [2].

Obično kad se greška dogodi, osoblje koje održava provjerava Ulaze i Izlaze PLC-a. Zatim puštaju PLC programe za određivanje signala u PLC-u uz pomoć PLC izvršnog koda, dokumentacije mašine dok se ulazni signal koji uzrokuje grešku ne otkrije. Ponekad taj posao zahtijeva vrijeme. Ovakva vrsta dijagnostičkog procesa ima sledeća uska grla [3]:

- PLC jedinice ne podržavaju automatsku analizu logičkih kola, koja mogu pomoći u nalaženju uzroka greške.
- Najviše PLC koda je grafički predstavljeno sa funkcionalnim blok dijagramom, pa je teško čitati i pratiti funkcije kompleksnog programa.
- Postoji mnogo dokumentacije o mehaničkim, električkim i operativnim osobinama proizvodnog sistema. Mnoge su potrebne za rješenje problema, ali su često nedovoljne za osoblje.

Zbog toga automatski algoritmi i inteligentni sistemi omogućavaju povećanje korisnosti dijagnostike kompleksnih PLC kontrolisanih proizvodnih sistema.

U ovom radu koriste se tehnike bazirane na fazi eksperstskim sistemima i bazi znanja da implementira inteligentne dijagnoze u realnom vremenu PLC kontrolisanih proizvodnih sistema. Dijagnostički sistem je konstruisan većim dijelom povezivanjem sa stanjima mašine (indiciranih sa PLC signalima) sa mogućim greškama. Povezivanje uzroka i greške koje zovemo dijagnostičko znanje u dijagnostičkom sistemu omogućen je metodom umjetne inteligencije ili model metodom.

2. PLC KONTROLA PROIZVODNOG SISTEMA

U proizvodnom sistemu, PLC se koristi da kontroliše ponašanje sistema. Operacione akcije sistema i sekvence tih akcija unose se preko kontrolnog programa u PLC. Kontrolni program postavlja seriju operacija proizvodnog sistema, koji kaže PLC-u kako da kontroliše sistem.

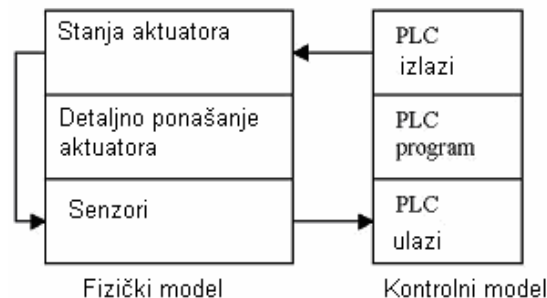
Kontrolna petlja PLC-a i model PLC kontrolisanog proizvodnog sistema opisana je na slici 1 i slici 2, respektivno [4].

```

For (stalno)
{
    Čita sve PLC ulaze;
    Vrednuje PLC program;
    Postavlja PLC izlaze;
}

```

Slika 1. PLC kontrolna petlja



Slika 2. PLC kontrolisani proizvodni sistem

PLC kontrolisani proizvodni sistem kontroliše proizvodni sistem preko kontrolnog programakoji je ugrađen u kontroler. Kad se greška dogodi tekuća stanja svih senzora i aktuatora se memoriše kao polje lažnih, izlaznih i flag signala u PLC memoriju. Zbog toga PLC program je baza dijagnostike PLC kontrolisanog proizvodnog sistema.

3. DIZAJN DIJAGNOSTIČKOG SISTEMA

Sa Slike 2 vidimo da kada dijagnosticiramo PLC kontrolisani proizvodni sistem, moramo uvijek uzeti u obzir oba pod sistema i to kontrolni sistem (PLC) i fizički sistem (sistem koji se kontroliše), koji su žično povezani. Obično da bi razumeli ponašanje proizvodnog sistema, moramo razumjeti oba pod sistema i njihovu interakciju [1]. Moramo poznavati i hardverski i softverski sve o vezi PLC i sistema kao i pneumatske i hidraulične parametre.

PLC kontrolisani proizvodni sistemi memorišu stanja u svojoj memoriji o ulazima i izlazima i u trenutku greške. Ti diskretni signali indiciraju operativna stanja proizvodnog sistema za dalju dijagnostiku. Ti signali mogu se direktno upotrijebiti i prenijeti preko (RS232 serijskog interfejsa) između PLC U/I ploče i dijagnostičkog sistemskog kompjutera (To je takođe moguće preko LAN ili WAN mreže), i memorisati u dijagnostičkoj sistemskoj bazi podataka.

Slika 3 daje generalnu strukturu ekspertskeg dijagnostičkog sistema za PLC kontrolisani proizvodni sistem u realnom vremenu. Sistem kontinualno uzima podatke sa PLC-a, identifikuje moguće greške i njihove uzroke i predlaže korektivne akcije.

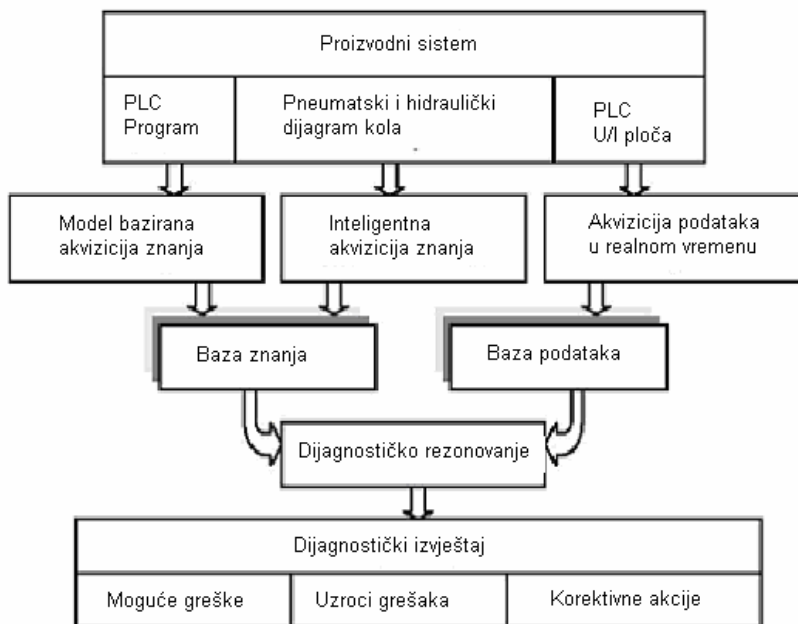
4. AKVIZICIJA DIJAGNOSTIČKIH ZNANJA

4.1 Inteligentna akvizicija dijagnostičkih znanja

U PLC kontrolisanom proizvodnom sistemu, postave se neki alarmi za samozaštitu takvih sistema. Svaki alarm indukuje se kao PLC signal ili kombinacija signala. Ovi alarmi štite proizvodni sistem od rada u kritičnim granicama. Jedan alarm se događa kada je :

- temperatura je prevelika (temperatura motora, temperatura the temperature is too high, temperature of a motor, temperatura ležaja, temperatura kontrolnog kabineta),
- pritisak je prenizak (hidraulični i pneumatski pritisak);

- kolo je prekinuto (struja je prevelika);
- nivo ulja nije dovoljan (hidraulični sistemi i ulje za rashlađivanje);
- greška u operaciji (otvorena vrata mašine, pogrešno dugme pritisnuto) itd.



Slika 3. Generalna struktura dijagnostičkog sistema

Znanje o alarmu greške može se opisati kao:

$$\text{greška} \leftarrow (\text{signal}, \text{stanje}) \{, (\text{signal}, \text{stanje})\}$$

gdje {} znači da je to kombinacija više signala.

Nekad je stanje greške je 0. Ponekad je 1. Ta dva stanja mogu se predstaviti kao:

$$\text{greška} \leftarrow (\text{signal}, 1) \text{ or } \text{greška} \leftarrow (\text{signal}, 0)$$

Ponekad se greška može indicirati preko kombinacije stanja dva i više signala. U tom slučaju trebamo fazi logiku, koja nam daje mogućnost da nešto smatramo greškom ako većina signala iz grupe ima odgovarajuće stanje. Greška postaje fazi veličina i omogućava nam softificiranije određivanje praga greške.

Osim znanja o greškama koje sistem alarmira, treba nam znanje o greškama čije se akcije ne završavaju nakon što se primi kontrolna komanda. Nezavršene akcije može značiti da aktuator nije na odgovarajućoj poziciji.

4.2 Akvizicija znanja bazirana na modelu

Ponašanje PLC kontrolisanog proizvodnog sistema je definisano PLC programom [6]. PLC program određuje kontrolne procese sistema koje se mogu posmatrati kao logiška kontrola i sekvencijalna kontrola. Zbog toga modeliranje ponašanja proizvodnog sistema zahtjeva veliku količinu dijagnostičkih znanja. Za te namjene razvijena su:

MODEL BAZIRAN NA PLC KONTROLNOJ LOGICI. U tom modelu sve varijable koje se vezuju sa PLC kontrolnom logikom su opisane u binarnoj formi. Te binarne varijable uključuju sve signale u PLC (ulazne signale, izlazne signale i fleg signale, itd.). Model je konstruisan u skladu sa PLC kontrolnom logikom.

MODEL BAZIRAN NA PLC KONTROLNOJ SEKVENCI. Ovaj model se sastoji od izvjestnog broja sistemskih stanja i stanja promjene u PLC kontrolnoj sekvenci. On opisuje sekvencijalna stanja proizvodnog sistema tj. njegovih operativnih stanja. Akcija u određenim koracima nije samo uzrokovana kontrolnom komandom u tom koraku, nego i kontrolnom komandom u prethodnom koraku. Tekući korak se starta nakon pod uslovom da je prethodni korak završen i tekuća kontrolna komanda primljena. Da li je korak završen ili nije zavisi od stanja tog koraka. To je i osnova takvog modela.

MODEL BAZIRAN NA LOGICI PROGRAMIRANJA. Ovaj model je prvi put upotrebljen u sistemu REVISE [8], to je nemonotoni sistem zaključivanja koji revidira prošireno logičko programiranje [9]. To je logičko programiranje sa izričitom negacijom i integrisanim ograničenjem i omogućava dvo vrijednosnu reviziju pretpostavke da izbriše kontradikcije iz baze znanja.

5. DIJAGNOSTIČKO REZONOVANJE

Kada proizvodni sistem pogriješi u radu, dijagnostičko rezonovanje se koristi za kreiranje dijagnostičkog izvještaja. Izvještaj uključuje moguće pozicije greške, uzroke greške i odgovarajuće korektivne akcije. Rezonovanje je bazirano na dijagnostičkom znanju kao i na podacima o greškama prikupljenim u bazi podataka u realnom vremenu. Za različita dijagnostička znanja, mi razvijamo različite mehanizme rezonovanja.

DIJAGNOSTIČKO REZONOVANJE KOD GREŠKE LOGIČKE KONTROLE Koristeći logički izraz kod stanja greške mašine i koristeći logički dijagnostički model, možemo vidjeti da svaki izraz jednačine predstavlja mogući uzorak signala koji uzrokuje grešku.

Sljedeći korak je da analiziramo sve moguće kombinovane uzorke, dok ne nađemo ulazni signal koji uzrokuje grešku ili moguće kombinovane uzorke, dok ne nađemo ulazni signal koji uzrokuje grešku ili neodgovarajući flag signal.

DIJAGNOSTIČKO REZONOVANJE ZA SEKVENCIJALNE KONTROLNE GREŠKE. Kada su normalni radni uslovi PLC kontroliše proizvodni sistem u skladu sa pojedinim programiranim akcijama. U isto vrijeme, svaki korak u kontrolnoj sekvenci se monitoriše sa watch-dog-timer u PLC-u. To radi sekvencijalno u skladu sa postavljenom sekvencijom. Prekoračenje kontrolnog statusa mašine u nekim slušajevima uzrokuje grešku.

DIJAGNOSTIČKO REZONOVANJE BAZIRANO NA LOGIČKOM PROGRAMIRANJU. Kod ovog rezonovanja uveli smo fazi adaptivni ekspertski sistem za prediktivno upravljanje kvalitetom. Zadatak sistema je da pamti sve podatke u bazu podataka, Fazi logikom se normalizuju podaci i prave skupovi podataka na osnovu kojih se odlučujemo o prirodni podataka i lakše otkrivamo greške. Ekspertski sistem baziran na pravilima odlučuje da li je moguća greška u sistemu i šalje FMEA analizi koja dalje odabira na osnovu faktora rizika moguće korektivne mjere za rješenje greške. Sistem može da dijeluje preventivno i koriguje neke ulaze da ne dođe do greške.

6. ZAKLJUČAK

Proizvodni sistemi predstavljaju pravo mjesto za dijagnostičke aplikacije. Razvoj automatskih dijagnostičkih tehnika i sistema može pomoći da minimizira vrijeme pada sistema i vrijeme održavanja takvih sistema. Fazi ekspertski sistem sa dijagnostikom u realnom vremenu je razvijen upravo za te potrebe. On može kontinualno prihvatati podatke od PLC-a, identifikovati moguće greške, tražiti uzroke i predlagati korektivne akcije. U Fabrici duvana u anjaluci ovaj sistem je implementiran na Molins Mark 5 mašinu za proizvodnju cigareta.

To je područje koje se brzo razvija i koje privlači sve više istraživača. Sa autorove tačke gledišta budući rad bi se mogao koncentrisati na:

- Usavršavanje dijagnostičkih metoda za akviziciju znanja i algoritama rezonovanja da povećaju korisnost dijagnostičkih sistema.
- Istraživati modele koji inkorporiraju PLC kontrolu na kontinualnim procesima u proizvodnim sistemima, implementirajući metodologije predikcije, monitoringa i dijagnoze.
- Definirati dijagnoze koje se mogu ugraditi u PLC sistem da bi greška bila dijagnosticirana u realnom vremenu.

7. REFERENCE

1. J. Jarvis and D. Jarvis, "Life Cycle Support for PLC Controlled Manufacturing Systems", in A. Storr and D.H. Jarvis (Eds), *Software Engineering for Manufacturing Systems: Methods and CASE Tools*, Chapman & Hall, 1996.
2. R.L. Kegg, "On-line Machine and Process Diagnostics," *Annals of the CIRP*, 32(2), 1984, pp. 469-473.
3. P. Huuskonen, K. Kaarela, J. Okkonen and A. Vaisanen, "Explaining Control Logic to Process Operators," *Proc. of 8th Int. Conf. On Industrial & Engineering Applications of AI & Expert Systems*, Melbourne, Australia, 1995, pp. 203-211.
4. J. Jarvis and D. Jarvis, "Simulation of a PLC-Controlled Assembly Line," *Proc. of 9th European Simulation Symposium*, 1997, pp. 342-346.
5. J. Plomp, P. Huskonen and E. Malm, "Operator and maintenance Support Through PLC Logic Analysis and Hypertext Documentation," *Proc. of Int. Conf. on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering management*, 1997, pp. 354-363.
6. Z. S. Matthias, "Model-based Diagnosis of PLC Controlled Assembly Equipment," *Proc. of 6th Int. Conf. On Data and Knowledge Systems for Manufacturing and Engineering (DKSME'96)*, Tampe (Arizona), USA. 1996, pp. 11-22.
7. W. Hu, *Research on a Quality-Control-Based Fault Diagnosis System in a Flexible Manufacturing Environment*, PhD Thesis, Huazhong Uni. Of Sci. & Tech., 1995.
8. J. J. Alferes and L. M. Pereira, *Reasoning with Logic Programming*, 1996, LNAI 1111, Springer-Verlag.
9. T. Latinovic, *Fazi-adaptivni ekspertski sistem za prediktivno upravljanje kvalitetom u industrijskim procesima*, Doktorat, FTN Novi Sad, 2006.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

REGENERACIJA POVRŠINA UNUTRAŠNJE TRASE CEVI STRELJAČKOG ORUŽJA

D. Jovanović ¹⁾, B. Nedić ²⁾

Rezime: Cev je najbitniji deo oružja (oruđa). Ona predstavlja element u kome se vrši dvostruka transformacija energije: hemijska energija sagorevanja baruta pretvara se u toplotnu, a zatim iz toplotne u mehaničku energiju. Cev projektilu omogućava potrebnu početnu brzinu i pravac poleta, a preko zavojnih žlebova, visoku rotaciju, potrebnu za stabilnost pri kretanju do cilja. Izloženost cevi kombinovanom dejstvu toplote, visokih pritisaka, hemijskom dejstvu barutnih gasova i spoljašnjim uticajima, ukazuje na nužnost sveobuhvatnog istraživanja ovog elementa oružja. Predmet rada je prikaz unapređenja unutrašnjih trasa cevi streljačkog oružja primenom savremenih sredstava za modifikaciju površina u uslovima visokih temperatura i pritisaka.

Ključne reči: Cev, habanje, gel

SURFACE REGENERATION OF BARREL INTERIOR LINE OF SMALL ARMS

Summary: Barrel is the most important part of any weapon. It represents the element in which double transformation of energy is done: chemical energy of gun powder burning is transformed into thermal energy, and then thermal energy is transformed into mechanical energy. The barrel gives a projectile needed velocity and direction of flight, and through spiral grooves it gives it high rotation, needed for stability during the motion towards the aim. The exposure of barrel to combined effect of heat, high pressure, chemical effect of gun powder gas and external influences, points to necessity of thorough research of this element of weapons. The subject of the paper is a display of improvement of barrel interior line of small arms by applying state-of-the-art means for modification of surfaces in conditions of high temperatures and pressure.

Key words: Barrel, wearing out, gel

1. UVOD

Cev streljačkog oružja predstavlja element u kome se vrši dvostruka transformacija energije: hemijska energija sagorevanja baruta pretvara se u toplotnu, a zatim iz toplotne u mehaničku energiju. Cev projektilu omogućava potrebnu početnu

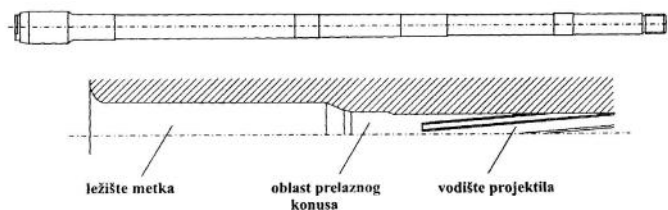
¹⁾ Mr Desimir Jovanović, Zastava oružje DP, Kragujevac, znptri@ptt.yu

²⁾ Prof. dr Bogdan Nedić, Mašinski fakultet, Kragujevac, nedic@kg.ac.yu

brzinu i pravac poleta, a preko zavojnih žlebova, visoku rotaciju, potrebnu za stabilnost pri kretanju do cilja.

Pri proučavanju unutrašnje - balističkog problema interesuje nas samo unutrašnja trasa cevi. Osnovni pojmovi koji definišu cev oružja (slika 1) su:

- ♦ barutna komora,
- ♦ prelazni konus, i
- ♦ vodište projektila.

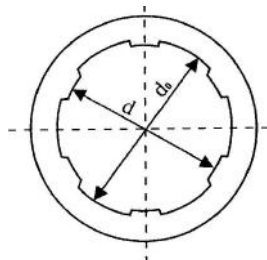


Slika 1. Unutrašnja trasa cevi

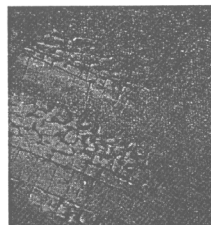
Barutna komora - je prostor u kome je smešteno barutno punjenje pre opaljenja. Za konstruktore cevi, termin barutna komora podrazumeva celu unutrašnju neolučenu zapreminu cevi, osim prelaznog konusa. Za unutrašnju balistiku ovaj pojam predstavlja samo onaj u kome počinje da sagoreva barutno punjenje.

Prelazni konus – je konični deo cevi na koji se naslanja košuljica projektila. On spaja ožljebljeni deo cevi i glatki deo u koji se smešta čaura.

Vodište projektila – je prednji, obično ožljebljeni deo cevi po kojem se kreće projektil i koji mu određuje pravilno kretanje.



Slika 2. Poprečni presek olučenog dela cevi



Slika 3. Izgled istrošene hromirane unutrašnje trase cevi

Izgled olučenog dela cevi prikazan je na slici 2. Udubljenja u olučenom delu nazivaju se žlebovi a ispupčenja između dva žleba su polja. Kalibar oružja »d« je rastojanje između dva suprotna polja. Dubina žleba obično iznosu $0,01d$. Sami žlebovi nisu paralelni osi cevi, nego sa njom čine izvesni ugao β , za koji se definiše ugao uvijanja.

Ugao uvijanja (kreće se od $3 - 9^\circ$) je najčešće konstantan duž cevi, a može biti i progresivan. Smer uvijanja žlebova je najčešće s leva na desno.

Kroz istrošenu cev zrno lakše prolazi, jer je kalibar cevi povećan, a prečnik vodećih delova zrna je uvek isti (kod streljačkog oružja vodeći deo je košuljica). Usled lakšeg kretanja zrna kroz cev otpor je manji a time i pritisak odnosno početna brzina. Gubitak početne brzine usled habanja cevi može dostići do 5% njene vrednosti, i ta vrednost je opšte prihvaćen kriterijum istrošenosti cevi.

Odgovarajućim konstrukcijskim i tehnološkim rešenjima cevi, obezbeđuje se sporije habanje, odnosno erozija, što održavanje čini lakšim i efikasnim. Jedan od načina povećanja otpornosti unutrašnjih površina cevi na mehanička, termička i hemijska dejstva je zaštitna prevlaka od elektrolitičkog hroma [5]. Na slici 3 dat je izgled jedne istrošene hromirane unutrašnje trase cevi. Najnoviji postupci zaštite unutrašnje trase cevi oružja podrazumevaju specifična sredstva koja sa površinom metala formiraju metalokeramičke prevlake debljine do 10 μ m, povećane mikrotvrdoće, otpornosti na koroziju i smanjenje površinske hrapavosti.

2. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

Ispitivanja mogućnosti unapređenja eksploatacionih karakteristika streljačkog oružja dejstvom specijalnih gelova za regeneraciju, na osnovu promene parametara preciznosti, brzine zrna i promene unutrašnje geometrije kanala cevi (promene prečnika cevi na olučenom delu) izvršena su sa oružjem kalibra 7.62 i 9 mm sa hromiranom i nehromiranom unutrašnjom trasom cevi [6].

Program ispitivanja pre i posle tretmana gelom za reparaciju unutrašnje trase cevi obuhvatio je:

- ♦ određivanje brzine zrna na rastojanjima 10, 50, 100 m,
- ♦ određivanje preciznosti na rastojanju od 100m,
- ♦ merenje kalibra cevi posle gađanja.

Ispitivano sredstvo je višekomponentna fina mešavina prirodnih minerala, aditiva i katalizatora. Osnovna karakteristika sredstava je mogućnost formiranja zaštitne prevlake sa metalnim površinskim slojem na mestima dodira na kojima se javlja habanje [7]. Proces modifikacije se odvija tokom gađanja. Gel se nanosi na unutrašnju trasu cevi i na zrno. Broj gađanja zavisi od tipa cevi i kreće se od minimalno 3 do maksimalno 10. Za tretman gelom potrebni su visoka temperatura i pritisak. Oružje se tretira ispaljivanjem, pri čemu se u trenutku ispaljivanja na površini metala obrazuje vrlo tanak sloj metalo-keramike, otklanjajući posledice triboloških procesa na unutrašnjoj trasi cevi. Posle toga karakteristike cevi se poboljšavaju, odnosno povećava se kompresija, grupisanje pogodaka i početna brzina zrna.

Na slici 4 i u tabeli 1, prikazani su rezultati gađanja poluautomatskog karabina Simo-nov, koji je ispalilo oko 5 000 metaka, pre tretmana gelom, posle tretmana i posle ispaljenih 200 metaka u tehničkom modu rada, neprekidno gađanje sa pauzama za punjenje magacina. Oružje je tretirano prema instrukcijama, tretman je izvršen sa devet metaka odnosno po tri metka za svaku komponentu gela. Cev je premazivana samo pre prvog gađanja sa sve tri komponente a za ostala dva gađanja samo je gel nanošen na zrno. Ispitivanje preciznosti je izvršeno gađanjem tri serije sa po 10 metaka.

Posle tri meseca obavljena je provera karakteristika ponovnim gađanjem. U poređenju sa početnim vrednostima, karakteristike R_{100} i R_{50} su poboljšane 45% i 12% respektivno.

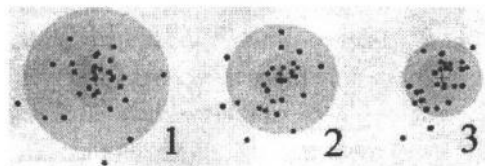
Tabela 1 – Rezultati grupisanja pogodaka karabina SKS

Uslovi gađanja	R_{100} mm	R_{50} mm
1 – pre tretmana gelom	148	56
2 – posle tretmana gelom	114	52
promena parametara %	23	7,1
3 – posle tretmana gelom i ispaljenih 200metaka	79	49

NAPOMENA:

R_{100} – poluprečnik kruga čiji je centar tačka srednjeg pogotka (SP) i koji sadrži 100% pogodaka,

R_{50} – poluprečnik kruga čiji je centar tačka srednjeg pogotka (SP) i koji sadrži 50% pogodaka,



Slika 4. Rezultati gađanja poluautomatskog karabina Simonov, 7,62 mm, udaljenost 100m

Na slici 5 i u tabelama 2 i 3, prikazani su rezultati gađanja automatskom puškom M16A1 koja je ispalila oko 10 000 metaka, unutrašnja trasa cevi nije hromirana, municija prevučena tombakom, radni tribološki par je čelik - tombak.

U tabeli 2 su date izmerene vrednosti grupisanja pogodaka pre i posle tretmana unutrašnje trase cevi gelom za modifikaciju. Ispaljeno je 30 metaka u tri serije, zanemarujući devet metaka ispaljenih tokom samog tretmana unutrašnje trase cevi. Tokom izvođenja tretmana i unutrašnja trasa cevi i zrno su mazani odgovarajućom komponentom gela za reparaciju. Vidi se da je vrednost R_{100} na udaljenosti od 100 m smanjena za 35,6mm odnosno 29% posle tretmana, što ukazuje na pozitivan efekat gela na grupisanje pogodaka, odnosno modifikacijom unutrašnje trase cevi puška je dovedena u tehničko stanje pri kome sigurno pogada cilj.

Tabela 2 Grupisanost pogodaka automatske puške M 16A1

broj serije	pre tretmana	pre tretmana	posle tretmana	posle tretmana
	R_{100}	R_{50}	R_{100}	R_{50}
1	102.7	48.4	82.2	57.7
2	102.3	74.1	86.0	48.2
3	152.2	42.6	90.1	45.2
srednja vrednost	121.7	55.0	86.1	50.4

Rezultati merenja početne brzine zrna dati su u tabeli 3. Zapaža se da u ovom eksperimentu nije došlo do značajnije promene početne brzine na ustima cevi. Razlika promene brzine nalazi se u opsegu normalnih varijacija za ovo oružje i municiju.

Početna brzina AP M16 imala je dovoljno dobru vrednost i pre tretmana iako je unutrašnja trasa cevi bila pohabana.

Tabela 3 Vrednosti brzine automatske puške M 16A1

broj serije	pre tretmana	pre tretmana	posle tretmana	posle tretmana
	V_{10}	V_{100}	V_{10}	V_{100}
1	937.9	830.1	937.8	826.7
2	938.4	827.7	932.1	824.1
3	933.2	819.9	934.8	828.6
srednja vrednost	936.5	825.9	934.9	826.5

Na slici 5 prikazani su snimci metalografskih uzoraka cevi bez prevlake i na slici 6 izgled površine sa jasno uočljivom formiranom prevlakom.



Slika 5. Mikrografski šlif pre tretmana Slika 6. Mikrografski šlif posle tretmana

3. ZAKLJUČAK

Kao i bilo koji drugi proizvod i streljačko oružje ima svoj radni vek, koji se određuje prema stanju istrošenosti unutrašnje trase cevi. Kriterijumi koji ga određuju se odnose se na način ustanovljavanje stanja cevipreko zahteva preciznosti oružja ili preko vrednosti početne brzine zrna. Iako se stalno radi na razvijanju novih materijala i tehnologija za izradu cevi poboljšanih karakteristika, potrebno je da i proizvođači i korisnici oružja posvete posebnu pažnju stanju unutrašnje trase cevi. Jedan od načina za poboljšanje stanja unutrašnje trase cevi i poboljšanja balističkih karakteristika iste je i primena specijalnih gelova za modifikaciju površina. Specijalna sredstva za unapređenje eksploatacionih karakteristika cevi streljačkog oružja, poseduju remontno reparirajuća svojstva, poboljšavaju parametre preciznosti i produžavaju radni vek oružja, kako novih tako i cevi koje su u procesu eksploatacije ali nisu dostigle granicu istrošenosti. Formirana metalo-keramička prevlaka na unutrašnjoj trasi cevi štiti istu od efekata barutnih gasova, čini je otpornijom na koroziju, prašinu, i vlagu. Ispitivanja su pokazala da ne daju uvek pozitivne rezultate kod hromiranih unutrašnjih trasa cevi.

Gel nije pogodan za reparaciju balističkih cevi koje se nalaze u stanju istrošenih resursa, zbog daljeg smanjenja brzine zrna i povećanog rasturanja pogodaka.

Na osnovu dobijenih rezultata da se zaključiti da primena remontno – reparirajućeg gela za poboljšanje unutrašnje trase posmatranih cevi olučenog oružja omogućava:

- ♦ smanjenje veličine rasturanja pogodaka za oružja koja su ispucala 5000 - 6000 metaka do 30%, odnosno dovođenja parametara preciznosti do vrednosti koje su karakteristične za nove cevi. Reparirajući efekat se pravilnim skladištenjem i eksploatacijom, u skladu sa tehničkim uslovima može povećati i do 60%.
- ♦ primena remontno-reparirajućeg gela za poboljšanje unutrašnje trase cevi koje su dostigle stanje maksimalne pohabanosti ili zaokrugljivanja žlebova, koje dovodi do neurezivanja zrna u njegovom vodištu, ne otklanja nedovoljnu stabilizaciju zrna, koja se ogleda stvaranjem ovalnih i bočnih pogodaka,

Ostao je još jedan veoma bitan aspekt za proveru koji se odnosi na ponašanje i stanje tretiranih cevi posle izgađanih nekoliko desetina hiljada metaka. Ovaj problem je značajniji za automatsko oružje, dok karabini kao poluautomatsko oružje ne izgađaju više od par hiljada metaka u svom radnom veku.

LITERTATURA

1. **Marinković J.:** Balistika, Vojnotehnička biblioteka, 1950.
2. **Petrović M.:** Analiza novog oblika vodišta zrna za cev *cal.5.56 mm*, doktorska disertacija, Vojnotehnička akademija Vojske Jugoslavije, Beograd, 1999.
3. **Mitrović N.:** Istraživanje postupaka za produženje balističkog života cevi oružja i oruđa, Int. dok.04-Pr-3,VTI, Beograd, 1987.
4. **Corner J.:** Theory of the InteriorBallistic of Guns, New York, John Wiley&Sons, Inc., London, Champan&Hall, 1950.
5. **Petrović B, Stojanović M.:** Ispitivanje uticaja hromiranja na otpornost prema erozionom delovanju barutnih gasova, Naučnotehnički pregled, vol.L, br.6, 2000.
6. ОТЧЁТ по испытаниям геля для восстановления стволов нарезного оружия "ХАДО" производства АОЗТ "ХАДО - ИНВЕСТ", Санкт-Петербург, 2001.
7. www.corrison-doctors.org/MetalCoatings/physical.htm
8. www.xado.com

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

UPRAVLJANJE ODOBRENJIMA ZA IZVOĐENJE RADOVA ODRŽAVANJA

V. Komadinić ¹⁾, M. Jevtić ²⁾, V. Vukićević ³⁾

Rezime. Cilj rada je da se ukratko prikaže značaj funkcije upravljanja odobrenjima za izvođenje radova održavanja i njena povezanost sa funkcijom upravljanja održavanjem. Takođe će biti prikazane faze, sadržaji faza i zaduženja (odgovornost) pri izvođenju poslova u okviru ovih funkcija.

Ključne reči: upravljanje, odobrenje, održavanje

WORK CLEARANCE MANAGEMENT

Summary. The aim of this paper is to explain the importance of work clearance management function and its relationship with maintenance management function. Also, phases, contents of phases and responsibility for job operation in this function will be shown.

Key words: management, clearance, maintenance

1. UVOD

Obaveznost sprovođenja zaštite na radu pri izvođenju radova održavanja ima i zakonsku regulativu, ali najčešće samo u vidu opštih mera i normativa, pa je pri planiranju i izvođenju radova održavanja, bez obzira na nivo njihove složenosti, neophodno sagledati i sprovesti skup aktivnosti koje omogućavaju bezbedan pristup tehničkim sistemima i rad na njima. Pri razmatranju ove problematike autori su fokusirali pažnju na procesnu industriju, koja obiluje brojnim složenim zahvatima u održavanju, pa samim tim i prikazani podsistem planiranja i upravljanja zaštitom na radu ima značajan stepen složenosti. Ovaj podsistem je segment integralnog sistema planiranja i upravljanja održavanjem i zbog osetljivog značaja obezbeđenja sigurnosti izvršioca radova, ovaj proces zahteva učešće svih tehničkih struktura: tehnološke i operativne pripreme, izvršenja i proizvodnje. Iz tog razloga je, na prvi pogled, tok informacija u procesu obezbeđenja komplikovan, ali samo tako se mogu ispoštovati važeći propisi i tehnološki zahtevi, koji proističu iz konkretnog radnog naloga.

Podsistem (proces) planiranja i upravljanja zaštitom na radu (upravljanja odobrenjima za izvođenje radova održavanja) pri izvođenju radova održavanja ima sledeće osnovne zadatke:

¹⁾ Mr Velimir Komadinić, dipl. ing., LOLA Institut, 11030 Beograd,
Kneza Višeslava 70a. vanjavukicevic@yahoo.com

²⁾ Dr Milenko Jevtić, dipl. ing., LOLA Institut, 11030 Beograd, Kneza Višeslava 70a.

³⁾ Vladimir Vukićević, dipl. ing., LOLA Institut, 11030 Beograd, Kneza Višeslava 70a.

- održavanje stalne veze između proizvodnje i održavanja u cilju usaglašavanja njihovih aktivnosti, kako bi se obezbedila maksimalna sigurnost izvršioca angažovanih na radovima održavanja.
- blagovremeno obezbeđenje odgovarajućih pribora i materijala za potrebe zaštite izvršioca pri izvođenju radova.
- blagovremeno izvršavanje operacija zaštite na radu (isključivanje, obezbeđenje, označavanje) prema planu rada koji je definisan u okviru tehnološkog postupka.
- prikupljanje svih podataka i informacija u vezi sa zaštitom na radu u toku izvođenja radova održavanja u cilju usaglašavanja i koordinacije tih radova.

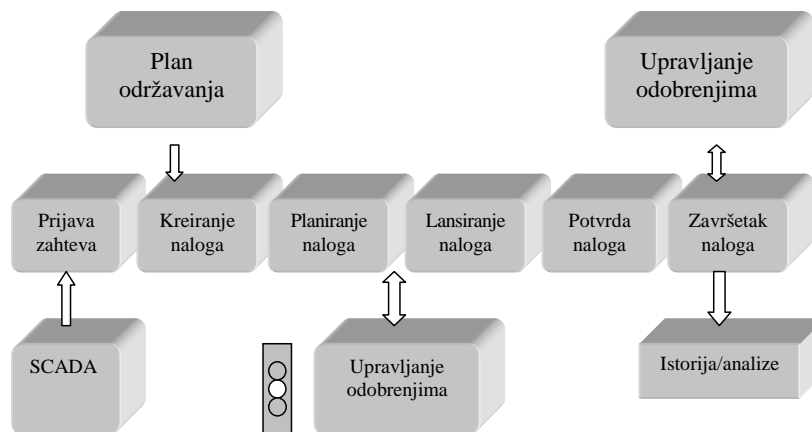
Principi na kojima se koncipira ovaj podsistem ne razlikuju se od principa na kojima se zasniva sistem za planiranje i upravljanje radovima održavanja, jer su to integralne celine jedinstvenog informacionog sistema planiranja i upravljanja poslovanjem.

Nabrajaćemo neke ključne razloge koji zahtevaju odobrenja za izvođenje radova održavanja:

- timovi za održavanje rade u rizičnom okruženju (visoki napon, obrtna kretanja mašina, visoki pritisci i temperature i dr.);
- aktivnosti održavanja treba planirati i sprovesti dok je sistem u radnom stanju;
- rad na održavanju tehnološkog sistema mora biti bezbedan za izvršioca;
- postoje profesionalna oboljenja (oboljenja koja su posledica rada u agresivnim uslovima) koja zahtevaju specijalne zdravstvene i sigurnosne mere.

2. VEZA UPRAVLJANJA ODOBRENJIMA I PROCESA ODRŽAVANJA

Inspekcije, popravke ili bilo koji posao u održavanju na tehničkom sistemu mogu se uspešno izvršiti samo kada su sprovedene mere koje obezbeđuju sigurnost izvođenja posla. Ove sigurnosne mere uključuju, na primer, isključenje tehničkog sistema iz eksploatacije, protiv-požarnu zaštitu, zaštitu od zračenja. Upravljanje odobrenjima zahteva kontrolu i nadzor pri sprovođenju ovih aktivnosti. To znači da se obezbeđuje sigurnost radnih uslova za zaposlene u održavanju, uz zaštitu životne sredine i raspoloživosti tehničkih sistema. Na slici 1 je šematski prikazana veza upravljanja odobrenjima i procesa održavanja.



Slika 1. Veza upravljanja odobrenjima i procesa održavanja

Skup i sadržaj aktivnosti pri upravljanju odobrenjima za izvođenje radova mora da je u skladu sa planovima aktivnosti radnih naloga održavanja.

3. MODEL SISTEMA UPRAVLJANJA ODOBRENJIMA

Postoji standardan i proširni model arhitekture sistema upravljanja odobrenjima. Standardan model uključuje sledeće objekte:

- prijava za odobrenje posla
- radni dokument za odobrenje posla

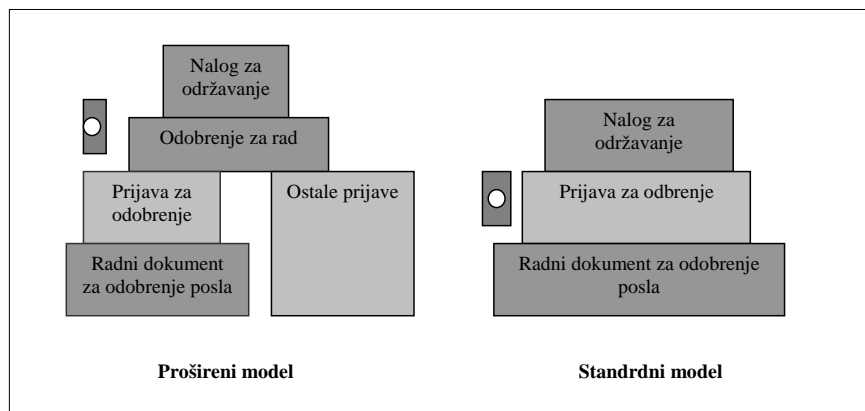
Prijava za odobrenje posla predstavlja sertifikat sigurnosti za isključenje/uključenje. U standardnom modelu prijava za odobrenje posla se koristi za kontrolu komunikacije između naloga za održavanje i radnog dokumenta za odobrenje posla. Direktno pridruživanje nalozima za održavanje omogućava prijavi za odobrenje posla da upravlja statusom naloga "Lansiran za izvođenje".

Prošireni model uključuje dodatne objekte:

- odobrenje za rad
- ostale prijave za odobrenje

Odobrenje za rad se koristi samo u proširenom modelu i predstavlja centralni sertifikat sigurnosti. Sa jedne strane, odobrenja za rad se pridružuju nalozima za održavanje gde kontrolišu status «Lansiran za izvođenje». Sa druge strane, odobrenja za rad se pridružuju prijavama za odobrenje koje kontrolišu i proveravaju. Odluka, koji će se model koristiti, se donosi na nivou pojedine kompanije za svaki pogon za koji se vrši planiranje održavanja.

Na slici 2. su šematski prikazani pomenuti modeli.



Slika 2. Standardan i proširen model sistema odobrenja poslova održavanja

U radni dokument za odobrenje posla se unose svi objekti koji će biti isključeni/uključeni da bi se izveli radovi održavanja. Ti objekti uključuju opremu, funkcionalne lokacije, tehničke objekte i različite komentare neophodne za izvršenje posla. Radni dokument uključuje detaljan opis kako sistem treba izolovati, kontroliše fizičku izolaciju i postavljanje oznaka (etiketa) na uticajne tehničke objekte.

4. FAZE U PROCESU ODOBRENJA POSLOVA ODRŽAVANJA

Da bi smo opisali faze u procesu odobrenja poslova održavanja navešćemo jedan primer.

Na slici 3 su prikazane faze, sadržaj i uloge u standardnom modelu sistema odobrenja poslova održavanja.

	Faza/objekat	Sadržaj	Zaduženje
1	Nalog	Kreiranje naloga	Planer održavanja
	↓	↓	↓
2	Prijava za odobrenje posla	Planiranje naloga Zahtev za isključenje	Planer održavanja
	↓	↓	↓
3	Radni dokument za odobrenje posla	Specificira objekte sa detaljima za isključenje i obeležavanje	Planer za odobrenje poslova
	↓	↓	↓
4	Prijava za odobrenje pposla	Odobrenje isključenja i obeležavanja	Planer za odobrenje poslova
	↓	↓	↓
5	Radni dokument za odobrenje posla	Izvođenje označavanja i isključenja	Planer za odobrenje poslova
	↓	↓	↓
6	Nalog	Lansiranje naloga	Planer održavanja
	↓	↓	↓
7	Nalog	Potvrda završetka posla po nalogu	Planer održavanja
	↓	↓	↓
8	Prijava za odobrenje posla	Ažuriranje prijave za odobrenje posla	Planer za odobrenje poslova
	↓	↓	↓
9	Radni dokument za odobrenje posla	Uklanjanje etiketa (obeležja)	Planer za odobrenje poslova
	↓	↓	↓
10	Nalog	Tehničko kompletiranje naloga	Planer održavanja

Slika 3. Faze, sadržaj i uloge u sistemu odobrenja poslova održavanja

Potrebno je otkloniti curenje vodene pumpe postrojenja za prečišćavanje vode. Pumpa se mora otvoriti. Uočavaju se sledeći koraci naloga za održavanje koji sadrži elemente odobrenja za održavanje:

1. Planer održavanja kreira nalog za održavanje.
2. Kreiranjem zahteva za odobrenje naloga održavanja, planer održavanja zahteva označavanje i isključenje pumpe tako da se posao može bezbedno izvršiti.
3. U radnom dokumentu za odobrenje poslova, planer za odobrenje posla (inženjer za sigurnost) zapisuje ventile 1 i 2 sa oznakom *zatvoreno*.
4. Planer za odobrenje posla (inženjer za sigurnost) obezbeđuje dokument Prijavu odobrenja isključenja i označavanja.
5. Označavanje se izvršava na licu mesta. Ventili 1 i 2 su zatvoreni i obeleženi.
6. Kada je izvršeno obeležavanje, planer održavanja lansira nalog za izvođenje radova održavanja.
7. Nakon izvršenja aktivnosti održavanja, isključenje više nije potrebno i planer održavanja daje status nalogu *Posao završen*.
8. Prijava za odobrenje posla je kompletirana i dozvoljeno je skidanje etiketa (obeležja).
9. Uklanjanje etiketa je izvršeno na licu mesta: ventili 1 i 2 su ponovo otvoreni, a oznake uklonjene.
10. Planer održavanja tehnički obrađuje i kompletira radni nalog.

5. ZAKLJUČAK

Bezbednost operatera na proizvodnoj opremi, bezbednost radika održavanja, zaštita opreme od većih havarija, kao i zaštita životne sredine ima sve veći značaj u savremenom industrijskom okruženju (preduzeću). Pri planiranju i izvođenju radova održavanja na složenim tehničkim sistemima neophodno je sagledati i sprovesti skup aktivnosti koje omogućavaju bezbedan pristup i rad na njima. Upravljanje odobrenjima za izvođenje radova održavanja je samo jedan segment koji treba da doprinese napred navedenom cilju. U radu je ukratko opisan sadržaj ove funkcije i njena veza sa funkcijom održavanja proizvodne opreme.

6. LITERATURA

- [1] Spasić Ž., Komadinić V., Joksimović V., Pijevac T., Lukić Lj., *MAPICS Modules in CIM Environment*, International Conference on Computer Integrated Manufacturing CIM'96, Zakopane, 1996.
- [2] SAP R/3 System, Plant Maintenance, SAP AG, 2002.
- [3] Komadinić V., Vukićević V., *Analiza softverskih proizvoda za upravljanje održavanjem tehničkih sistema*, 29. JUPITER konferencija, Beograd, 2004.
- [4] Vukićević V., Komadinić V., Bošković V., *Prilog izboru koncepcija održavanja tehničkih sistema*, 30. JUPITER konferencija, Beograd, 2004.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

REINŽENJERING PROIZVODNIH LINIJA U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI U FUNKCIJI NIVOVA FLEKSIBILNOSTI I KVALITETA PROIZVODA

A. Marić ¹⁾, Lj. Đorđević ²⁾

Rezime: U savremenim uslovima privređivanja promene su postale sve snažnije i sve brže, a preduzeća moraju da ulože značajne napore da bi ih adekvatno pratila. Današnje vreme zahteva i nove odgovore na pitanja opstanka, rasta, razvoja i upravljanja preduzećima. U tom smislu posebno se ističu tehnike koje imaju za cilj povećanje produktivnosti poslovanja i unapređenje kvaliteta. Pristup koji bi mogao na adekvatan način da odgovori na novonastale promene je reinženjering. Radom je predstavljen model reinženjeringa linija industrijskih pogona za proizvodnju hleba u funkciji fleksibilnost i kvaliteta proizvoda, kao i efekti koji se pri tom postižu.

Ključne reči: reinženjering, pekarska industrija, fleksibilnost, parametri linije, kvalitet proizvoda

PRODUCTIVE LINE REENGINEERING IN FOOD INDUSTRY IN FUNCTION OF FLEXIBILITY LEVEL AND PRODUCT QUALITY

Summary: In modern condition, expected changes become more powerful and faster, so firm must invest in efforts to follow it adequately. Today, it is necessary new answers to survival, growth, development and management in firms. Here are describing techniques whose main goals are business productivity growing and quality improvement. The admission which will give the answer to newly created changes is reengineering. In this paper is giving model of reengineering section of industrial line for bread production in function of flexibility and quality of product and also the effects which will be attain.

Key words: reengineering, baker industry, flexibility, line parameters, product quality

1. UVOD

Reinženjering predstavlja jedan od tri savremena menadžment koncepta 90 – tih. Koncept reinženjeringa se u raskoraku između ne tržišnog privređivanja i razvoja novih

¹⁾ Mr Aleksandar Marić, dipl. ing. mašinstva, Fakultet za industrijski menadžment, Kruševac, Predsednik udruženja održavalaca mašina i opreme Rasinskog okruga (UORO), Kruševac, smaric@ptt.yu

²⁾ Prof. dr Ljubodrag Đorđević, Mašinski fakultet, Kraljevo, Fakultet za industrijski menadžment, Kruševac

savremenih tehnologija nametnuo kao imperativ promena domaćih preduzeća. Tranzicioni ambijent doneo je nove, surove, uslove tržišnog poslovanja koji ne tolerišu bolećivosti nekadašnjeg društvenog sektora. Preduzeće u kojem je izvršeno istraživanje DP "Branko Perišić" Kruševac, se uklapa u opštu sliku industrijskog pekarstva u Srbiji danas, što ga čini tipičnim predstavnikom ove grane. Istraživanje proizvodnih linija u funkciji nivoa fleksibilnosti, ima za cilj da ukaže na slabe tačke proizvodnog procesa kao i na načine njihovog prevazilaženja, prilagođavajući se pri tom promenama unutar samog preseca kao i tržišnim zahtevima.

Zato se konceptu reinženjeringa posvećuje ogromna pažnja, i to pre svega u cilju formiranja modela kojim bi se sa optimalnim-neophodnim ulaganjima postigla maksimalna poboljšanja proizvodnog procesa sa ciljem unapređenja kvaliteta definišući eksplicitno, pri tom, buduće pravce delovanja menadžmenta preduzeća.

2. MODEL REINŽENJERINGA PROIZVODNE LINIJE U FUNKCIJI FLEKSIBILNOSTI - SINERGIZAM PARAMETARA LINIJE I NJIHOV UTICAJ NA KVALITET PROIZVODA

Model reinženjeringa proizvodne linije u DP "Branko Perišić" Kruševac u funkciji fleksibilnosti (slika 1.) zavisi od:

- fleksibilnosti procesa proizvodnje i
- fleksibilnosti strukture.

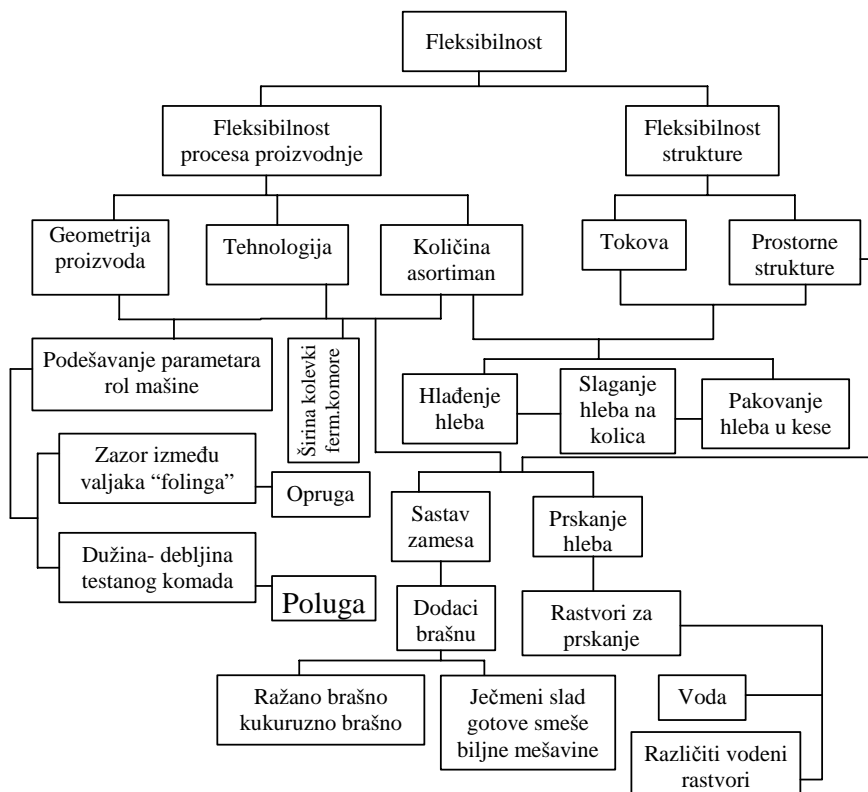
Interakcija izbora nove proizvodne opreme sa parametrima proizvodne linije i kvaliteta gotovih proizvoda prikazana je dijagramom na slici 2.

Izbor nove proizvodne opreme pozitivno utiče na parametre linije. Kapaciteti proizvodnih pogona u pekarstvu su predimenzionisani o čemu govore rezultati napred navedene statistike. Dakle, povećanje produktivnosti nikako nije osnovni cilj izbora nove proizvodne opreme. Produktivnost automatske linije za proizvodnju hleba i njena automatizacija, kao što je već rečeno, stoje u direktnoj srazmeri. Smanjenjem radne snage povećava se produktivnost, što je i cilj svakog proizvodnog procesa. Smanjenjem broja angažovanih radnika postiže se automatizacijom procesa. Međutim, ako deo procesa automatizujemo ostaje nam jedan broj neraspoređenih radnika. U tom slučaju poseže se za rešenjima kojim će se angažovati radnici na nekim drugim aktivnostima u cilju optimizacije tehnoloških parametara linije, što bi kao krajnu instancu pored poboljšanih parametara linije dalo i bolji kvalitet gotovih proizvoda.

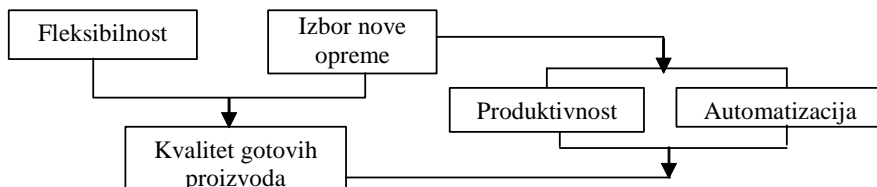
U zemljama koje se nalaze u procesu tranzicije kao veliki problem javlja se višak zaposlenih radnika u preduzećima. Automatizacija procesa je, zbog svega već rečenog jako nepopularan metod pa se njoj pribegava samo ako je to neophodno, ili ako se planiranom preraspodelom radnika na neko drugo radno mesto mogu postići znatno veći proizvodno-tehnološki i ekonomski efekti.

Možemo zaključiti da se povećanjem fleksibilnosti linije izborom nove proizvodne opreme postižu željeni rezultati - rezultati kompatibilni sa zahtevima tržišta. Reinženjeringom linije u funkciji fleksibilnosti postižu se efekti, koji uz mala prilagođavanja u tehničko tehnološkom smislu daju sasvim konkretne pozitivne rezultate.

Asortiman proizvoda određenim aktivnostima u okviru već postojećeg proizvodno tehnološkog postupka može se znatno proširiti.



Slika 1. Model reinženjeringa proizvodne linije u DP "Branko Perišić" Kruševac u funkciji fleksibilnosti



Slika 2. Interakcija izbora nove proizvodne opreme sa parametrima proizvodne linije i kvaliteta gotovih proizvoda

Podešavanjem parametara uvijanja testanih komada dobijamo različite oblike tj. dimenzije vekni. To se postiže podešavanjem zazora između valjaka "folinga" - oprugama (po jedan valjak iz para valjaka je pomerljiv), kao i izborom dužine testanog komada uz pomoć ručice poluge. Važno je istaći da je od velikog značaja kvalitet brašna pri operaciji uvijanja testa. Ako brašno nije zadovoljavajućeg kvaliteta izborom

hleba veće dužine moguće je nedovoljno narastanje vekne - stvara se defekt hleba, a u zavisnosti od konkretne situacije i škart.

Izborom klevki različite širine pri fermentaciji hleba može se proširiti asortiman hlebova različitih gramatura što značajno utiče na povećanje fleksibilnosti procesa.

U konkretnom slučaju naše opitne linije širine klevki iznose 150mm, odnosno 127mm. Kofice veće širine upotrebljavaju se za hlebove većih gramatura, predviđeno je da se u klevke smeštaju testani komadi mase do 1,2kg Dakle proizvodnju treba planirati prema tipu i količini hleba koji se proizvodi.

Količina, tj. asortiman je ono što povezuje fleksibilnost procesa i strukture. To se pre svega odnosi na projektovani način hlađenja i pakovanja hleba. Slaganje hleba u kolica za hlađenje je prva faza ovog procesa. Kolica za hleb - garbovi su opremljeni drvenim paletama na koje se hleb slaže. Prostorija predviđena za hlađenje hleba, dimenzija 8,25x6,75m, može da primi 22. kolica, korisne površine za hlađenje hleba od 3,74m² po jedim kolicima a 82,4 m² ukupno. Zahvaljujući uvođenju ovog procesa može se uticati na kvalitet i do 20% , škart se smanjuje a broj bodova hleba povećava (ocena hleba bodovanjem).

Trendovi tržišta pokazuju interesovanje za hlebom upakovanog u kese. Reč je o papirnatim kesama u koje je hleb stavljen nakon hlađenja. Kese pored obeležja firme, proizvoda i ostalog sadrže bar kod, te se na taj način hleb u pogledu očitavanja koda skenerom ne razlikuje od proizvoda koji su celi upakovani ili su u nekoj tvrđoj ambalaži. Kese pored estetskih kriterijuma pre svega imaju za cilj podizanje nivoa higijene od izlaska hleba iz peći do njegove krajnje distribucije ka potrošaču.

Proširivanje asortimana–fleksibilnost proizvodnje može se postići još i kombinovanjem različitih tipova brašna u određenom odnosu (pšenično sa kukuruznim, ražanim, gotovim smešama, biljnim mešavinama). Ječmeni slad daje hlebu boju koja podseća na boju hleba T-1100, primenjuju ga u “Hlebu” Novi Sad. Ovde je reč o dijetetskim hlebovima koji sve više postaju interesna sfera tržišta. Potrošači se sve više odlučuju za kvalitet, iako je činjenica da smo mi jedna od zemalja koja je veliki potrošač ovog proizvoda (nema obroka bez hleba).

Lice hleba, kora hleba je ono što takođe privlači pažnju potrošača, jer ona je ono što potrošač prvo percipira. Ako je izgled hleba dobar potrošač se rađe odlučuje za kupovinu i više od realnih potreba (prema istraživanju u zanatskim pekarama u Nemačkoj). Pored standardnog prskanja hleba vodom na izlazu iz peći, preporučuju se i neki drugi rastvori čijom bi upotrebom lice vekne imalo sasvim drugi izgled. Dakle, tom naizgled malom promenom dobija se sasvim drugi proizvod koji se radi ispitivanja tržišta kao i sklonosti kupaca ka “novitetima” može ponuditi tržištu, te i na taj način pomoći proizvođačima u kom pravcu treba razmišljati kako bi se osvojilo-dominiralo tržištem.

3. EFEKTI REINŽENJERINGA U FUNKCIJI FLEKSIBILNOSTI LINIJE

Asortiman proizvodnje hleba, danas, čine tri tipa hleba i to: T-500 (500g), T-650 (500g) i T-850 (500g) (tabela 1). Međutim, na postojećoj liniji za proizvodnju hleba, moguće je proizvoditi jedinice različitih tipova i gramatura-težina.

Linija za proizvodnju hleba, o kojoj je reč, može proizvoditi znatno veći broj jedinica različitih gramatura.

Asortimanu proizvoda mogu se pridodati jedinice od brašna T-650 (500g), jer se danas i ova gramatura hleba T-650 proizvodi. Specificiranjem svih tipova hleba koji se mogu proizvesti dolazimo do kompletnog asortimana proizvodnje.

Predviđenim aktivnostima na osnovu datog modela reinženjeringa proširuje se asortiman proizvoda određenim tehničko tehnološkim rešenjima. Ona se u tehničkom smislu odnose na podešavanje parametara mašina (rol mašina), pri čemu se dobija različita geometrija proizvoda.

Tabela 1. Asortiman proizvodnje hleba

Redni broj	Naziv proizvoda	Masa (kg) 2002god.	Masa (kg) 2004god.
1.	Hleb od brašna T-850	0.700	0.500
2.	Hleb od brašna T-650	0.500	0.500
3.	Hleb od brašna T-500	0.600	0.500

Promenu mase, a samim tim i oblika, prati fleksibilnost u smislu zamene kolevki veće ili manje širine, što mora biti u skladu sa proizvodnom tehnologijom kao i planiranjem proizvodnje određenih tipova hleba. Obogaćivanjem zamesa dodacima, kao i kreiranjem "novih lica" vekni uvode se specijalne- dijetetske vrste hleba. Svi pomenuti uticaji menjaju tehnološku komponentu fleksibilnosti. Na osnovu svega rečenog proizvodna linija za hleb, aplikacijom ovog modela, sposobna je da realizuje 7-10 novih proizvoda, uskladiвши pri tom procene menadžmenta preduzeća sa tržišnim zahtevima.

Tehnološku komponentu fleksibilnosti možemo odrediti kao odnos broja jedinica koje se trenutno proizvode prema broju jedinica koje je moguće proizvesti; pa je prema tome:

$$FTS = 3 / 15 \text{ (u 2002.godini), nakon reinženjeringa } FTS = 3 / 24.$$

Kapacitivna komponenta fleksibilnosti se izražava kao potencijal strukture, rezerva strukture za njeno naknadno korišćenje. Ovde je bitan parametar vremenski stepen iskorišćenja posmatrane strukture η_i .

Najveći stepen iskorišćenosti posmatrane strukture iznosi 87% (koliko je iznosio 2000.god.). U periodu od 2000.-2003.god., $\eta_i = 45\% - 87\%$ i to: $\eta_i = 48\%$ (2002. god.) i $\eta_i = 45\%$ (2004. god.). Dakle, više od 50% kapaciteta je neiskorišćeno.

Merama reinženjeringa, obzirom na znatno visok stepen iskorišćenosti strukture, pri postojećoj opremi teško je očekivati da bude povećan, ali se uz ulaganje u novu opremu očekuju pozitivni pomaci.

Fleksibilnost i-tog procesa u sistemu jednaka je fleksibilnosti sistema $f_{prs} = f_{pri}$ zato što promena prelaska sa jednog na drugi proces nepromenjena kao i pri postojećoj koncepciji proizvodnje.

Opitna linija pripada 8. nivou gradacije fleksibilnosti F8 ($T_{pz} < 1$). Ovo je karakteristika koja se primenom ovog modela, jer je u funkciji takta proizvodne linije.

Fleksibilnost prostorne strukture, u 2002.godini, za posmatranu liniju iznosi $f_p = 12/15$.

Model reiženjeringa bitno menja postojeću prostornu strukturu i to u delu zamesa za 7 novih inputa, u pogledu prskanja hleba za 1. Prema modelu fleksibilnost prostorne strukture linije iznosi: $f_p = 20/15$, obzirom da je T-650 (500g), postao sastavni deo asortimana. Vrste inputa i broj inputa su promene uvedene primenom modela reinženjeringa.

Tabela 2: Broj i vrsta inputa u funkciji povećanja fleksibilnosti prostorne strukture linije

Naziv mašine	Broj inputa	Vrsta inputa
Automatska vaga	1	Brašno
Mikser	4 7	Voda,so,kvasac,aditiv, smeše, drugi tipovi brašna
Delilica testa	1	Ulje
Okruglilatelj testa	1	Brašno
Rol- mašina	1	Brašno
Ferment. komora	1	Vodena para
Narezivač testa	1	Voda
Tunelska peć	1+1	Vodena para, vodeni rastvori
Prskač hleba	1	Voda

4. ZAKLJUČAK

Linije za proizvodnju hleba, industrijskih pekara, karakteriše visoka rezerva strukture za njihovo naknadno korišćenje. Izborom vrste i broja inputa, fleksibilnost prostorne strukture linije, predstavljena je optimalna varijanta sa najbržom očekivanom realizacijom na tržištu, brojnim benefitima u pogledu ujednačenosti kvaliteta, kao i proširivanje asortimana proizvoda. Aplikacijom predloženog modela reinženjeringa došlo bi do značajnih promena u pogledu tehnološke komponente fleksibilnosti kao i fleksibilnosti prostorne strukture linije.

Ovim radom data je i podloga ,univerzalnog karaktera, za formiranje modela kojim bi se interakcijom izbora adekvatne proizvodne opreme sa parametrima proizvodne linije unapredio kvalitet, primenom savremenih menadžment koncepta.

LITERATURA

1. Marić A. Reinženjering proizvodnih linija u pekarskoj industriji u funkciji produktivnosti, automatizacije i fleksibilnosti, Magistarski rad, Čačak, 2006.
2. Marić A., Ćurčić S., Ječmenica R., Benčmarking u funkciji poboljšanja parametara linije pekarskih pogona, Zbornik radova, 30. Jubilarno Savetovanje proizvodnog mašinstva Srbije i Crne Gore 2005, sa međunarodnim učešćem, Vrnjačka Banja, 1-3. septembar 2005. (str.419-422).
3. Marić A., Ćurčić S., Automatska linija za proizvodnju hleba - analiza funkcionalnosti linije u "posebnom" režimu rada, Časopis Istraživanja i projektovanja za privredu 4 i 5/2004 (str. 67 - 74)
4. Kohn S., Specijalni izveštaj iz časopisa Gereal Foods World, Mlinpek, godina VI, 2000, broj 55



POBOLJŠANJE EKSPLOATACIONIH KARAKTERISTIKA PODEONOG APARATA REKONSTRUKCIJOM

S. Marković ¹⁾, D. Josifović ²⁾, S. Tanasijević ³⁾, R. Ćirić ⁴⁾

Rezime: Analizirajući prednosti podeonog aparata sa dvostukim pogonom (ručnim i automatskim), autori predlažu konkretno rešenje rekonstrukcije podeonog aparata sa ručnim pogonom. Korišćenjem oba pogona mogu se izradivati delovi složene konfiguracije, čime su postignute znatne uštede u investicionim izdacima.

Ključne reči: podeoni aparat, dvostruki pogon, rekonstrukcija.

IMPROVING OF THE EXPLOITATION CHARACTERISTICS OF A ROTARY INDEX TABLES

Abstract: When analyzing the benefits of rotary tables with double power (manual and automatic) authors suggest that we should use a specific solution of a rotary index tables reconstruction. By using the both powers we can determine the parts of a complex configuration, and some important savings in investing have been made.

Key words: rotary index tables, double power, reconstruction.

1. UVOD

Podeoni aparat je uređaj koji se koristi kada je potrebno obim obradka podeliti na određeni broj međusobno jednakih delova. Najčešće se koristi kod univerzalnih mašina alatki i ima zadatak da stegne predmet koji se obrađuje (obradak) i da izvrši tačnu podelu obima obradka. Tačna podela bez ovog aparata ne bi se mogla postići.

Da bi se obezbedilo obrtno kretanje obradka mogu se koristiti dve vrste pogona:

- 🍏 Ručni pogon (oketanjem ručice),
- 🍏 Automatski pogon (korišćenjem elemenata prenosnika za pomoćno kretanje mašine alatke).

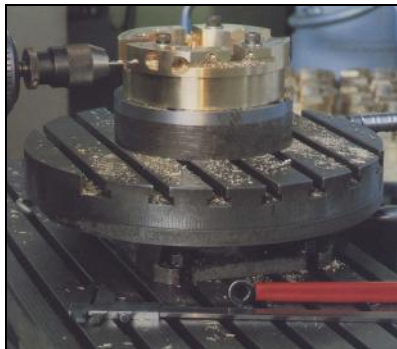
¹⁾ Dr **Svetislav Lj. Marković**, profesor, Viša tehnička škola, Svetog Save 65, Čačak, svetom@ptt.yu

²⁾ Prof. dr **Danica Josifović**, Mašinski fakultet, Sestre Janjić 6, Kragujevac, danaj@kg.ac.yu

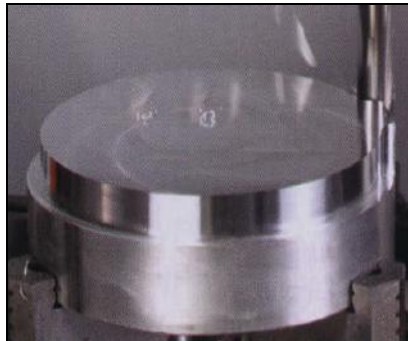
³⁾ Prof. dr **Slobodan Tanasijević**, Mašinski fakultet, Sestre Janjić 6, Kragujevac, irmes2004@kg.ac.yu

⁴⁾ Mr **Radovan Ćirić**, viši predavač, Viša tehnička škola, Svetog Save 65, Čačak, metalbir@eunet.yu

Na izbor pogona direktno utiče složenost operacije koju treba izvesti na obradku. Ukoliko je potrebno na obradku izvršiti određen broj podela (otvora, žljebova, zubaca...) koristi se ručni pogon (slika 1). Obratanje obradka izvodi se pomoću ručnog pogona okretanjem ručice podeonog aparata.



Slika 1. Bušenje radijalnih otvora primenom podeonog aparata sa ručnim pogonom



Slika 2. Obrada valjka na glodalici korišćenjem podeonog aparata sa automatskim pogonom

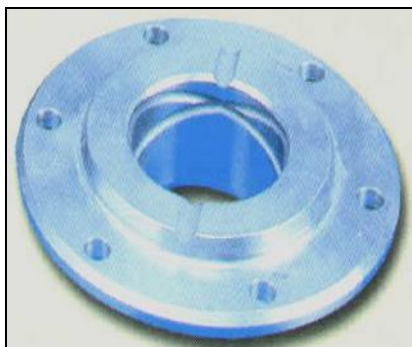
Korišćenjem automatskog pogona moguće je izvođenje znatno složenijih operacija (deo kružnice, spirala u ravni, spirala u prostoru...). Većina glodalica ima mogućnost izbora automatskog kretanja (posmaka) radnog stola u pravcu sve tri ose (u nekim slučajevima je to u pravcu dve ose).

Pri obradi valjka (slika 2) obrtno kretanje izvodi obradak (valjak) posredstvom automatskog pogona.

Izrada spirale izvodi se pomoću dva automatska kretanja. Jedno je kružno, koje izvodi obradak, a drugo je translatorno koje izvodi radni sto mašine. Sinhronizacijom ova dva kretanja može se dobiti spirala (slika 3).



Slika 3. Spirala u ravni izrađena pomoću podeonog aparata sa automatskim pogonom



Slika 4. Spirala u prostoru izrađena korišćenjem podeonog aparata sa automatskim pogonom

Spirala u prostoru (slika 4) se dobija na sličan način kao i spirala u ravni. I ovde se koriste dva automatska kretanja od kojih je jedno kružno, koje izvodi obradak, a drugo je vertikalno, koje izvodi radni sto mašine.

2. REKONSTRUKCIJA MAŠINA I OPREME

U okviru rekonstrukcije izvodi se zamena čitavih podsklopova, agregata i uređaja mašinskih sistema sa rešenjima koja predstavljaju aktuelni nivo razvoja tehnike. Tako se umesto mehaničkog stezanja uvodi pneumatsko ili hidrauličko, zupčasti prenosnik se zamenjuje elektromotorom sa kontinualnom regulacijom, mehanički elementi (bregovi, spojnice, podizači, zupčaste letve i zupčanici) za izvođenje logičkog toka procesa zamenjuju se hidrauličnim i pneumatskim elementima upravljanim programabilnim logičkim kontrolerom (PLC)...

Na ovaj način se, u veoma značajnoj meri, mogu poboljšati eksploatacione karakteristike mašinskih sistema, ali i obezbediti širi spektar oblasti korišćenja.

Rekonstrukcija uređaja, mašina i opreme se može predložiti na bazi iskustva i rezultata istraživanja pouzdanosti celokupnog sistema i pojedinih njegovih elemenata. Unapređenje konstrukcije mašinskih sistema se može postići promenom materijala izrade, izmenom i poboljšanjem nekih konstruktivnih rešenja (na primer, ugradnjom zaštitnika od prljanja, od dejstva visokih temperatura...), krupnijim izmenama u konstrukciji celokupnog sistema (ugradnja ležajeva veće nosivosti, primena zupčanika većeg modula...), poboljšanjima u tehnologiji izrade delova mašinskih sistema, korekcijama u načinu eksploatacije mašina i na druge načine.

3. REKONSTRUKCIJA PODEONOG APARATA

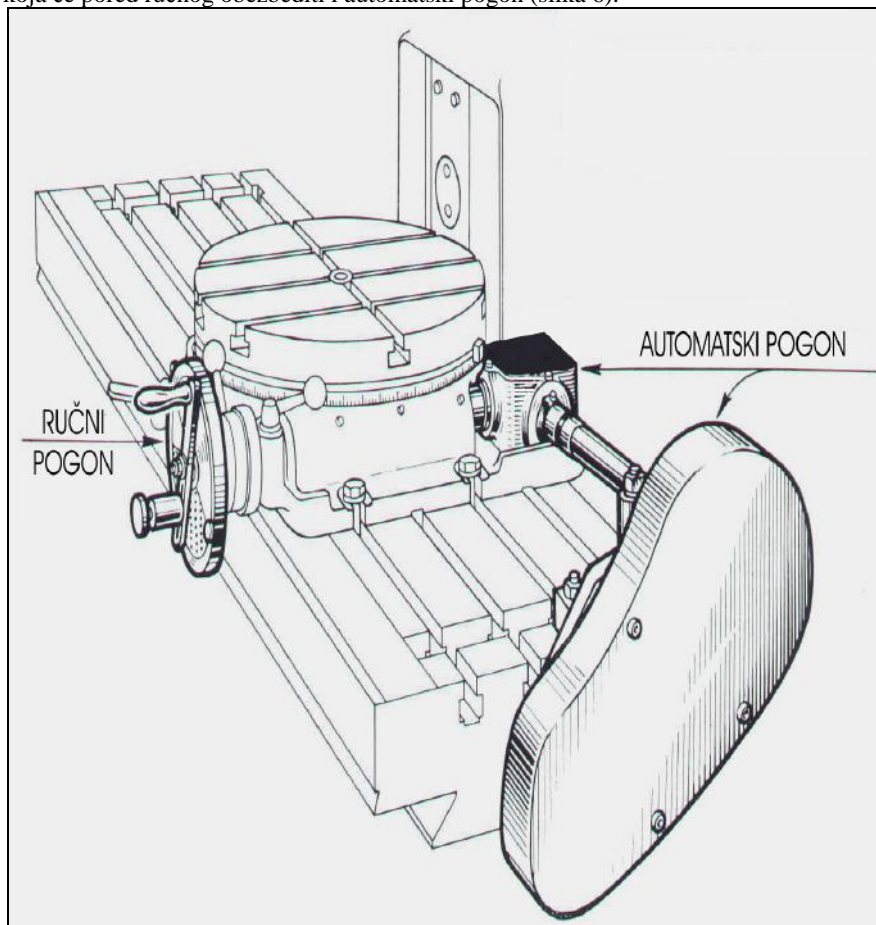
Za izradu mašinskog dela prikazanog na slici 5 neophodan je podeoni aparat sa ručnim i automatskim pogonom. Naime, za bušenje otvora koristi se ručni pogon, dok je za izradu kružnog žljeba poželjan automatski pogon podeonog aparata.



Slika 5. Deo sa otvorima i kružnim žljebom

Izrada ovog i sličnih delova nametnula je pitanje: može li se na jednom podeonom aparatu obezbediti dvostruki (ručni i automatski) pogon? Zbog toga se pristupilo rekonstrukciji univerzalnog podeonog aparata.

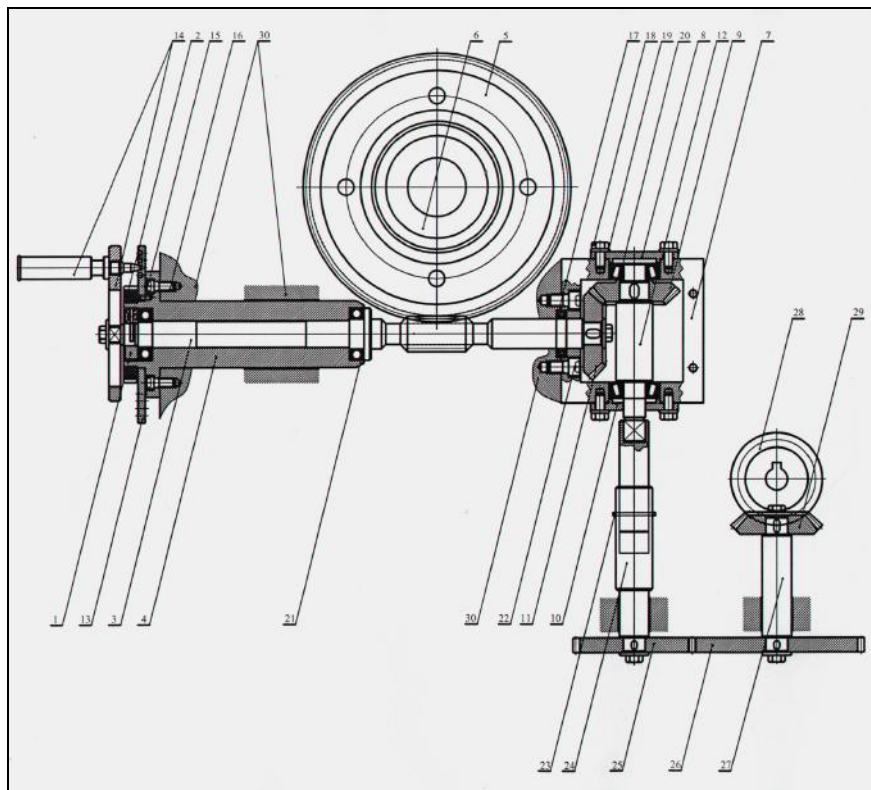
Rekonstrukcija podeonog aparata sa ručnim pogonom izvršena je korišćenjem već postojećih elemenata i konstruisanjem potpuno nove grupe elemenata prenosnika koja će pored ručnog obezbediti i automatski pogon (slika 6).



Slika 6. Podeoni aparat sa dvostrukim pogonom

Upotrebom automatskog pogona podeonog aparata može se dobiti i obrtno kretanje. Na taj način će se ostvariti tri translatorna i jedno obrtno kretanje obradka. Obrtno kretanje obradka dobija se na sledeći način (slika 7): konusni zupčanik (28) prenosi obrtno kretanje od pogonskog elektromotora mašine posredstvom prenosnika za pomoćno kretanje na gonjeni konusni zupčanik (29). Konusni zupčanik (29) je preko klina u čvrstoj vezi sa vratilom (27), pomoću koga prenosi kretanje na par izmenljivih cilindričnih zupčanika (26 i 25). Obrtno kretanje se posredstvom kardanskog vratila (24) prenosi na vratilo reduktora (12) na kome se nalazi konusni zupčanik (9). Konusni zupčanik (11) se nalazi na vratilu puža i u sprezi je sa konusnim zupčanikom (9), tako da se obrtno kretanje prenosi na puž (3), koji je u sprezi sa pužnim točkom (5). Pužni točak i stezna ploča podeonog aparata su međusobno kruto povezani tako da se obrtno kretanje prenosi na nju, a samim tim i na obradak.

U slučaju korišćenja automatskog pogona nije moguće istovremeno koristiti ručni pogon. Tada ručica (14) mora biti isključena iz veze sa podeonom pločom (13).



Slika 7. Šema konstruktivnog rešenja obezbeđenja dvostrukog pogona

4. ZAKLJUČAK

Veoma teško stanje u mašinskoj industriji, zastarelost mašinskog parka u mnogim firmama, nedostatak materijalnih sredstava za nove investicije, potreba za raznovrsnim tehnološkim operacijama i druge okolnosti prisiljavaju inženjere u proizvodnji da vrše razne rekonstrukcije mašina i prateće opreme.

Danas je u ponudi raznovrstan asortiman numerički upravljanih mašina za obradu rezanjem, ali su u mnogim proizvodnim firmama male finansijske mogućnosti. To opravdava ulaganja (neuporedivo manja) u rekonstrukciju i poboljšanje uređaja kakav je podeoni aparat.

LITERATURA

- [1] Katalogi proizvođača „DECKEL“, „HAAS“ i drugih.
- [2] Marković S.: *Održavanje mašina i opreme*, Viša tehnička škola, Čačak, 2006.



PROMENE FIZIČKO HEMIJSKIH KARAKTERISTIKA MENJAČKOG ULJA TOKOM EKSPLOATACIJE SA ASPEKTA DIJAGNOSTIKE STANJA I ODRŽAVANJA TRIBOMEHANIČKOG SISTEMA

Z. Pešić ¹⁾, B. Nedić ²⁾, S. Perić ³⁾

Rezime. Ispitivanje fizičko hemijskih karakteristika ulja u funkciji utvrđivanja stanja tribomehantičkog sistema ima za cilj identifikaciju promena na elementima tog sistema. Odgovarajućim uzorkovanjima i ispitivanjima u toku eksploatacije tribomehantičkog sistema, na osnovu prikazanog modela u radu, moguće je identifikovati stanje elemenata sistema i predvideti njegovo dalje ponašanje u eksploataciji, sa ciljem preventivnog održavanja.

U radu je prikazan deo rezultata laboratorijskih istraživanja fizičko-hemijskih svojstava uzorkovanog ulja iz realnih tribomehantičkih sistema. Za realizovana istraživanja korišćena su ulja za podmazivanje menjača guseničnih vozila.

Ključne reči: menjačko ulje, tribologija, podmazivanje, tribomehantički sistem

1. UVOD

Uslovi u kojima se nalaze elementi menjačkog prenosnika kao realnog tribomehantičkog sistema su veoma složeni i određeni su u velikoj meri karakteristikama maziva. Složenost uslova je određena temperaturom elemenata u kontaktu, temperaturom maziva, spoljašnjim opterećenjem, odnosno specifičnim pritiskom u zoni kontakta, dinamičkim karakterom ostvarivanja kontakta i prenosa snage i kretanja i dr.

U toku eksploatacije vozila, menjački prenosnik je izložen vremenski promenljivim, dinamičkim i nestacionarnim opterećenjima koja su funkcija čitavog niza faktora, kao što su: brzina vozila, kvalitet i uslovi puta, način vožnje, vremenski uslovi, intenzitet korišćenja, itd. Promene eksploatacionih režima dovode do promene radnih opterećenja elemenata, sila i koeficijenata trenja kontaktnih površina, povećanja radne temperature i habanja, te oštećenja elemenata sistema za sinhronizaciju i prenosnika snage uopšte. Procesi nastali na taj način manifestuju se neželjenim efektima koji se mogu identifikovati kroz gubitke materijala, energije, kretanja, funkcionalnosti i pouzdanosti, smanjenje veka trajanja i rast troškova održavanja.

Samo vozilo predstavlja skup veoma složenih tribomehantičkih sistema sastavljenih od niza podsistema koji predstavljaju takođe složene tribomehantičke sisteme. Njih čine svi sklopovi koji učestvuju u prenosu snage, odnosno obrtnog

¹⁾ Dr Pešić Zoran, dipl. inž., Vojna akademija, Ratka Resanovića 1, 11133 Žarkovo

²⁾ Prof. dr Nedić Bogdan, dipl. inž. Mašinski fakultet, Kragujevac, nedic@kg.ac.yu

³⁾ mr Perić Sreten, dipl. inž., Vojna akademija, Ratka Resanovića 1, 11133 Žarkovo

momenta od motora, preko sklopova transmisije do izvršnih organa vozila. Primer složenog tribomehaničkog sistema predstavlja menjač vozila. Ovaj sistem se sastoji od elemenata za prenos snage i kretanja (zupčanici i ožljebljena vratila), elemenata za prenos informacija (poluge), elemenata za vođenje (vodice) i zaptivanje (zaptivke).

Svaki od navedenih elemenata menjača se može dalje razložiti i analizirati kao skup posebnih tribomehaničkih sistema, kao što su zupčasti parovi, ležajevi i dr. Takođe, svaki zupčasti par se dalje može analizirati (posmarati) kao pojedinačni element koji ostvaruje kontakt. I na kraju svaki bok zuba zupčanika (ili kuglica kotrljajnog ležaja) se može posmatrati kao elementarna jedinica tribomehaničkog sistema.

Ova analiza ukazuje na činjenicu da se tribološke karakteristike jednog složenog tribomehaničkog sistema ne mogu posmatrati na jednostavan način i da nije moguće uspostaviti pouzdane metode i odrediti dijagnostičke parametre za ocenu stanja posmatranog sistema.

Neposredno učešće maziva u kontaktnim procesima menjačkog prenosnika kao tribomehaničkog sistema, sa osnovnim zadatkom da spreči direktan dodir površina elemenata, daje mu posebnu ulogu sa aspekta održavanja. Ova uloga dobija još više na značaju ako se zna da je mazivo nosilac informacija o stanju menjačkog prenosnika u celini, pri čemu se posebna pažnja posvećuje procesima koji utiču na funkcionalnost i pouzdanost. Značaj ovih informacija dolazi do izražaja pri monitoringu i dijagnostici sistema, jer analiza ulja može da ukaže na znake potencijalnih problema koji vode ka otkazu, kao i da omogućiti sagledavanje uticaja maziva na funkcionisanje sistema.

2. REZULTATI ISPITIVANJA I PROMENE KARAKTERISTIKA MENJAČKIH ULJA TOKOM EKSPLOATACIJE

U okviru ovog dela rada prikazani su rezultati dela eksperimentalnih ispitivanja menjačkih ulja guseničnih vozila u Laboratoriji za pogonska sredstva.

Dozvoljene količine pojedinih elemenata u korišćenom menjačkom ulju i dozvoljene vrednosti odstupanja fizičko-hemijskih karakteristika novog i korišćenog ulja date su u tabeli 1.

U menjaču je korišćeno ulje SAE 80W-90 kvaliteta API GL-5, tabela 2. Za vreme ispitivanja gusenična vozila su korišćena u uslovima terenske vožnje.

Tabela 1. Dozvoljene vrednosti odstupanja fizičko-hemijskih karakteristika ulja

Fizičko-hemijske karakteristike ulja i produkata habanja	Max dozvoljena odstupanja
Viskoznost na 100 °C, mm ² /s	15 %
Viskoznost na 40 °C, mm ² /s	15 %
Indeks viskoznosti, %	± 5 %
TAN, mgKOH/gr	3 mgKOH/gr
Nerastvorni talog u toluenu, %	0,50 %
Produkti habanja - Sadržaj Fe, ppm	500 ppm

Zadatak je bio provera intervala zamene menjačkog ulja na 500 mč, pravilnost izbora sredstva za podmazivanje, te redovnost praćenja kvaliteta ulja.

Posmatrajući *sluke 2 i 3* na kojima je prikazan trend promene viskoznosti uzorkovanih rabljenih ulja iz guseničnih vozila uočljiv je konstantan rast viskoznosti u toku eksploatacije.

Tabela 2. Vrednosti osnovnih fizičko – hemijskih karakteristika novog ulja SAE 80W-90

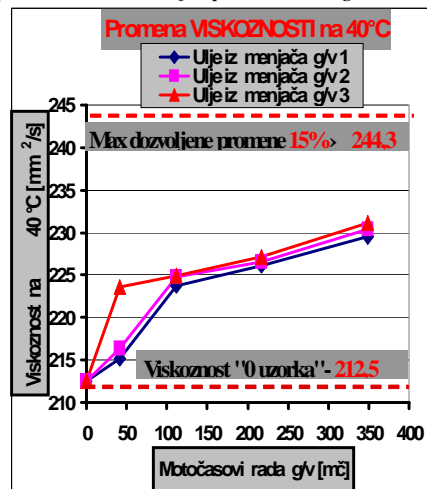
Karakteristika	Vrednost
Izgled	bistar, proziran
Boja	ASTM 5,0
Gustina na 15°C, g/cm ³	0,902
Viskoznost na 40°C, mm ² /s	212,5
Viskoznost na 100°C, mm ² /s	18,27
Indeks viskoznosti	97
Tačka paljenja (COC), °C	216
Tačka stinjavanja, °C	-18
Penušanje (sekvenca I, II i III)	0/0
Korozivnost na bakar, 100°C/3	1 ^a
TAN, mgKOH/gr	0,9
Sadržaj vode, %	0

Tabela 3. Vrednosti praćenih fizičko-hemijskih karakteristika korišćenog menjačkog ulja SAE 80W-90, API klasifikacije GL-5 tokom eksploatacije guseničnih vozila

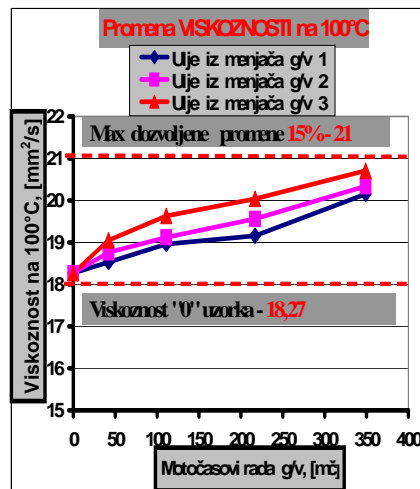
Karakteristika	Vrednost nakon motočasova rada												
	0 uzorak	Gusenično vozilo broj 1				Gusenično vozilo broj 2				Gusenično vozilo broj 3			
		42 mč	111 mč	217 mč	349 mč	42 mč	111 mč	217 mč	349 mč	42 mč	111 mč	217 mč	349 mč
Boja	ASTM 5,0	Crna	Crna	Crna	Crna	Crna	Crna	Crna	Crna	Crna	Crna	Crna	Crna
Gustina na 15°C, [g/cm ³]	0,902	0,903	0,907	0,909	0,913	0,905	0,908	0,91	0,915	0,906	0,911	0,916	0,919
Viskoznost na 40°C, [mm ² /s]	212,5	215,2	223,8	226,1	229,6	216,3	224,7	226,6	230,3	223,6	224,9	227,2	231,1
Viskoznost na 100°C, [mm ² /s]	18,27	18,53	18,96	19,16	20,15	18,76	19,12	19,56	20,34	19,05	19,63	20,04	20,71
Indeks viskoznosti	97	97	96	96	96	98	95	96	96	98	97	96	96
Tačka paljenja, [°C]	216	218	221	225	227	220	224	229	230	222	226	230	231
Tačka stinjavanja, [°C]	-18												
TAN, [mgKOH/gr]	0,9	1	1,25	2	2,6	1,1	1,7	2,4	2,7	1,2	1,9	2,5	2,75
Penušanje, ml/ml	0/0												
Sadržaj vode [%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nerastvorni talog u toluenu [%]	0	0,03	0,06	0,08	0,15	0,05	0,07	0,1	0,17	0,09	0,13	0,19	0,25
Sadržaj Fe, [ppm]	0	2,5	41	270	349	76	260	375	670,5	112	335	536,5	873,4

Inače, *porast veličine viskoznosti*, u odnosu na početnu vrednost, ukazuje na proces oksidacije ulja ili kontaminaciju ulja vodom i nečistoćama, te produktima habanja. U našem slučaju nema kontaminacije ulja vodom, jer se ni u jednom uzorku tokom analize nije pojavila voda, na što ukazuje i ispitivanje uzoraka na penušanje (jedan od uzroka penušanja jeste prisutnost vode u ulju). Zaključujemo da je jedan od

osnovnih razloga povećanja viskoznosti *oksidacija ulja*, ali i *kontaminacija ulja produktima habanja*, prvenstveno gvoždem.



Slika 2. Promena viskoznosti na 40°C uzorkovanih menjačkih ulja



Slika 3. Promena viskoznosti na 100°C uzorkovanih menjačkih ulja

Čestice koje su dospjele u ulje, posebno od katalitičkih metala (gvožđe), izazvale su povećanje intenziteta oksidacionih procesa koji lagano napadaju ulje pri čemu su nastale kisele forme i nerastvorljivi produkti, koji predstavljaju interne kontaminante.

Takođe, one lišavaju iz ulja polarne molekule aditiva, pre svega antihabajuće i EP aditive, inhibitore korozije i disperzante. Dalje, veoma fine čestice u stabilnoj uljnoj suspenziji uzrokovale su porast viskoznosti ulja.

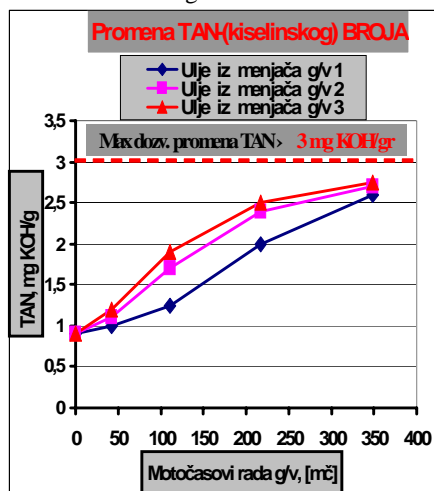
Porast viskoznosti na temperaturi 40°C za celokupan period uzorkovanja, za menjački prenosnik guseničnog vozila 1 iznosi 8,05 %, guseničnog vozila 2 je 8,37%, a guseničnog vozila 3 iznosi 10,9%. S obzirom da dozvoljena odstupanja viskoznosti na 40°C iznose max 15% u odnosu na početne vrednosti može se zaključiti da uzorkovana ulja zadovoljavaju po ovome kriterijumu za sva tri gusenična vozila. Porast viskoznosti na temperaturi 100°C za celokupan period uzorkovanja, za menjački prenosnik guseničnog vozila 1 iznosi 10,29 %, guseničnog vozila 2 je 11,33 %, a guseničnog vozila 3 iznosi 13,35%.

Nasuprot ovome, eventualni **pad viskoznosti ulja** može biti posledica *mešanja sa uljem niže viskoznosti* ili zbog *smicanja poboljšivača viskoznosti*. Takođe, pad viskoznosti je u korelaciji sa *padom tačke paljenja*. Uzroci mogu biti *visoka temperatura, opterećenje, nekontrolisano dug interval upotrebe, nedovoljna količina ulja u uljnom sistemu, neefikasno hlađenje menjačkog prenosnika* i sl.

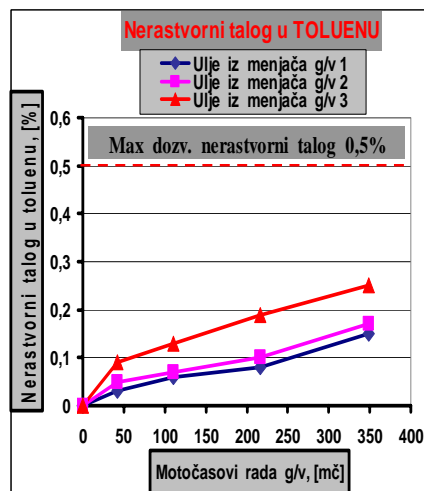
Kao što je ilustrovano na **slici 4**, ispitivani uzorci ulja iz sva tri gusenična vozila imaju **trend rasta TAN** što ukazuje na povećanu degradaciju ulja tokom eksploatacije, opet prvenstveno oksidaciju ulja. Do završetka eksploatacionog ispitivanja promena ukupnog kiselinog broja za *prvo gusenično vozilo* iznosila je **66,7%** od maksimalno dozvoljene promene koja bi ukazivala na potrebu izmene uljnog punjenja u menjačkom prenosniku; za *drugo gusenično vozilo* **69,2%** i za *treće gusenično vozilo* **70,5%**.

Inače, kod mineralnih ulja sa manje aditiva TAN brzo raste, dok kod ulja koja imaju visok sadržaj aditiva TAN u početnom periodu eksploatacije opada, a zatim dobija rastući karakter.

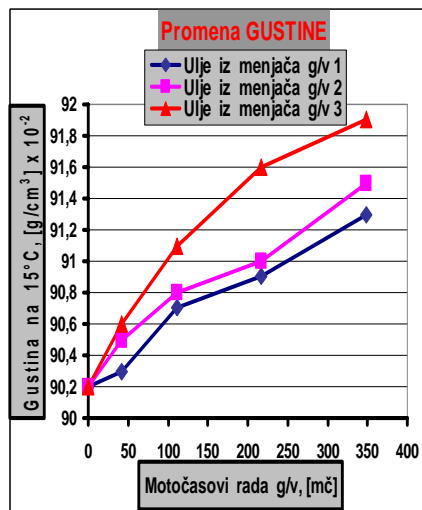
Nerastvorni talog u toluenu – Starenjem odnosno degradacijom hipoidnog ulja u toku eksploatacije formiraju se određene vrste polimernih nerastvornih taloga u uljnom punjenju. Sadržaj navedenih nerastvornih taloga, prikazan na *slici 5*, do kraja eksploatacionih ispitivanja nije prevazilazio 30% iznosa od maksimalno dozvoljene vrednosti za prvo gusenično vozilo, 34% vrednosti za drugo gusenično vozilo i 50% vrednosti za treće gusenično vozilo.



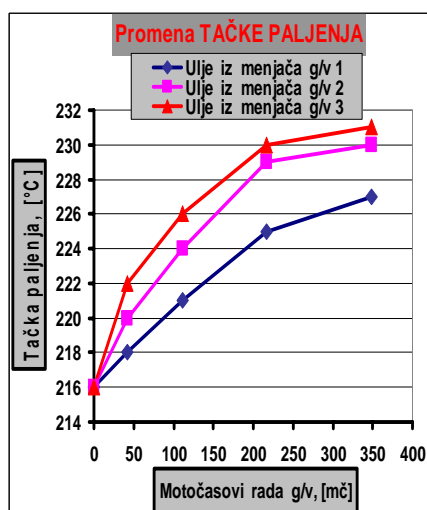
Slika 4. Promena TAN (kiselinskog broja) uzorkovanih menjačkih ulja



Slika 5. Nerastvorni talog u toluenu uzorkovanih menjačkih ulja



Slika 6. Promena gustine uzorkovanih menjačkih ulja

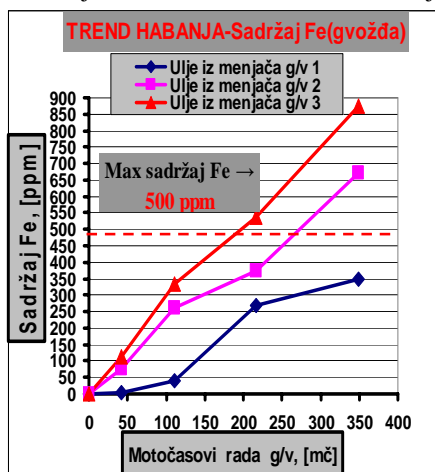


Slika 7. Promena tačke paljenja uzorkovanih menjačkih ulja

Promena gustine, prikazana na *slici 6*, ima trend blagog rasta izražen tokom celog perioda eksploatacije za sva tri gusenična vozila. Inače, porast gustine mineralnih ulja je u funkciji povećanja molekulske mase, zavisno od preovlađujućeg sadržaja određene vrste ugljovodonika.

Rast tačke paljenja kod menjačkih ulja ukazuje na proces oksidacije (starenja) ulja ili isparavanja lakoisparljivih komponenti. Dakle, ulje, kod sva tri gusenična vozila kod kojih je vršeno uzorkovanje, ima trend konstantnog rasta (*slika 7*) tačke paljenja što je još jedan neminovni pokazatelj oksidacije ulja.

Karakterističan konstrukcioni element menjačkog sklopa guseničnog vozila čiji elementi se u toku rada «troše», odnosno habaju jeste čelik (gvožđe). **Sadržaj gvožđa**, kao produkta habanja, u uljnom punjenju do kraja eksploatacionog ispitivanja je imao rastući trend (ilustrovano na *slici 8*) i na poslednjem uzorkovanju je iznosio 69,8% od maksimalno dozvoljene vrednosti za prvo gusenično vozilo; 134% za drugo gusenično vozilo i 174,6% za treće gusenično vozilo. Eksploatacioni kriterijumi za zamenu hipoidnog uljnog punjenja do kraja eksploatacionog ispitivanja za čelik (gvožđe) u znatnoj meri prevazilaze dozvoljenu granicu za drugo i treće gusenično vozilo, što zahteva pre vremenu izmenu uljnog punjenja u menjačkim prenosnicima ovih vozila. Ovo proizilazi iz činjenice da je dovoljan uslov za izmenu uljnog punjenja da samo jedan od kriterijuma (fizičko-hemijskih karakteristika i karakteristika habanja) datih u *tabeli 1* ne zadovoljava vrednosti maksimalno dozvoljenih odstupanja od početnih vrednosti.



Slika 8. Promena produkata habanja-gvožđa uzorkovanih menjačkih ulja

Voda je nepoželjni kontaminat u ulju, a najviše je prisutan tečni kontaminat ulja za podmazivanje i vodi poreklo iz okruženja ili je rezultat kondenzacije. To nam pokazuje da voda nije bila uzročnik degradacije ulja u pogledu oksidacije, razaranja uljnog filma, izazivanja korozije, stvaranja taloga i hidrolizi pojedinih aditiva.

U slučaju uzorkovanih ulja iz menjačkih prenosnika guseničnih vozila nismo imali pojavu **penušanja**.

Činjenica je da u menjačkim prenosnicima guseničnog vozila 2 i guseničnog vozila 3 imamo intenzivno habanje elemenata menjačkog prenosnika koji su sačinjeni od gvožđa (čelika). Produkti habanja su izazvali kontaminaciju ulja znatno iznad dozvoljene granice i sada počinje intenzivna degradacija ulja koja će biti sve intenzivnija usled njihovog katalitičkog delovanja. Takođe, da se zaključiti da ovako intenzivan rast koncentracije gvožđa, kao produkta habanja, gotovo sigurno vodi ka otkazu elemenata menjačkog prenosnika koji se međusobno nalaze u relativnom kretanju. U uzorcima nije bilo **pojave vode**, kako u nultom uzorku, tako ni u uzorcima uzimanim tokom eksploatacije sva tri gusenična vozila.

ZAKLJUČAK

Analizom rezultata ispitivanja mogu se izvući odgovarajući zaključci:

- tokom eksploatacije analizirano menjačko ulje SAE 80W-90, kvaliteta API GL-5 nije ostvarilo svoju osnovnu funkciju i zadovoljilo predviđeni interval zamene od 500 mč u menjačima guseničnih vozila 2 i 3 što je ustanovljeno analizom karakterističnih fizičko-hemijskih osobina ulja i koncentracijom produkata habanja – gvožđa tokom eksploatacije,
- rast viskoznosti evidentan je tokom celokupnog uzorkovanja iz menjača sva tri g/v. Maksimalni rast viskoznosti tokom eksploatacije ulja je manji od dozvoljene granice 15% za sva tri g/v,
- Degradacija ulja SAE 80W-90 u toku ispitivanja praćena je kroz porast ukupnog kiselinskog broja – TAN i kroz porast nerastvornog taloga (u toluenu). Obe karakteristike su pokazale promene koje su ispod maksimalno dozvoljenih vrednosti.
- **Tačka paljenja**, kod sva tri gusenična vozila kod kojih je vršeno uzorkovanje, ima trend konstantnog rasta ukazujući na proces oksidacije (starenja) ulja.
- **sadržaj gvožđa** kod guseničnog vozila dva (134%) i tri (174,6%) daleko prevazišao maksimalno dozvoljenu vrednost, što uslovljava izmenu uljnog punjenja u menjačkim prenosnicima ova dva vozila, ali i potrebu za preduzimanjem aktivnosti održavanja na navedenim sklopovima,
- u uzorcima nije bilo pojave vode.

Realizovanom analizom ulja nije se vršilo samo konstatovanje kritičnih posledica degradacionih procesa koji su doveli do predotkaznog stanja komponenti menjačkih prenosnika, već su pravovremeno defektovani sami procesi degradacije ulja, na osnovu čega je potrebno preventivno, a u skladu sa savremenim koncepcijama sve više i proaktivno, preduzeti odgovarajuće aktivnosti održavanja.

LITERATURA

1. Pešić Z., „Identifikacija triboloških procesa u menjaču vozila sa aspekta optimalnog održavanja“, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1998.
2. Ivković B., Rac A., Savić V., Tribologija i podmazivanje, FTN, 1995., Novi Sad.
3. Pešić Z., Nedić B., Fizičko hemijske i tribološke karakteristike ulja za podmazivanje, Osmo internacionalna konferencija o tribologiji, 08.10.-10.10.2003., Beograd
4. Rac A., Savremena strategija održavanja tribomehaničkih sistema, XXII Skup održavalaca Jugoslavije, 1998., Novi Sad.
5. Perić S. „Uticaj načina eksploatacije menjačkog prenosnika g/v na fizičko hemijske karakteristike sredstva za podmazivanje“ magistarski rad, Mašinski fakultet Beograd 2006.
6. Babić M., Monitoring ulja za podmazivanje, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2004.



ANALIZA UZROKA I MANIFESTACIJA OTKAZA MOTORA SUS SA ASPEKTA NJEGOVOG HABANJA

B. Krstić ¹⁾

***Apstrakt:** Sve veća cena materijala i sve veći troškovi održavanja motora, kao i vozila u celini, upućuju na potrebu istraživanja uzroka njihovog oštećenja i posledica neispravnosti i zastoja u radu. U radu su uglavnom analizirani uzroci pojave neispravnosti motora sus, prvenstveno sa aspekta njegove proizvodnje. Posebna pažnja poklonjena je klipnoj grupi, razvodnom mehanizmu i kliznim ležištima.*

***Ključne reči:** motorno vozilo, motor sus, otkazi, uzroci pojave otkaza*

1. UVOD

Sve veća cena materijala i sve veći troškovi održavanja motora, kao i vozila u celini, upućuju na potrebu istraživanja uzroka njihovog oštećenja i posledica neispravnosti i zastoja u radu. Dosadašnja istraživanja pokazuju da su tribološki procesi, u najvećem broju slučajeva osnovni uzročnici oštećenja delova motora i vozila u celini. Na pouzdanost rada sastvanih delova motora, u velikoj meri utiče proces njihovog habanja. Ova činjenica ukazuje na potrebu određivanja pokazatelja radne sposobnosti motora koje zavise od stepena pohabanosti njegovih delova i utvrđivanja njihove dozvoljene veličine. Ovo utoliko pre što je poznavanje ovih veličina neophodno za dijagnostiku tehničkog stanja motora, tako i za razvijanje metoda ubrzanih ispitivanja otpornosti delova na habanje. Habanje delova motora direktno utiče na vek njegovog trajanja.

Ovoj problematici, u ovom radu, poklonjena je posebna pažnja.

2. UTICAJ PROCESA HABANJA NA RAD MOTORA SUS

Karakteristična mesta intezivnog habanja motora su i ležišta kolenastog vratila, mehanizam za napajanje gorivom, mehanizam za paljenje itd.

Pojava gubitka ulja, pada pritiska u motoru i prodor gasova u karter, nastaje kao rezultat pohabanosti delova motora. To dovodi do pada snage motora, povećanja potrošnje goriva i maziva, pogoršavanja startnih karakteristika motora, pogoršavanja kvaliteta izduvnih gasova u pogledu toksičnosti i dimnosti, pogoršanja nivo buke i vibracija.

Nejednaki uslovi korišćenja motora i njegovog održavanja uzrok su različitog veka trajanja istih tipova motora istog proizvođača. Utvrđeno je da postoji korelaciona zavisnost između srednjeg istrošenja pojedinih delova motora jednog istog modela koja se ne menja sa promenom uslova korišćenja. Na osnovu poznavanja tih korelacionih

¹⁾ Dr Božidar V. Krstić, red. prof. Mašinski fakultet, Kragujevac, bkrstic@kg.ac.yu

zavisnosti može se dosta tačno, npr. na osnovu istrošenja cilindra oceniti istrošejne drugih delova motora. Sa razvojem motora i njegovim usavršavanjem došlo je i do smanjenja inteziteta habanja njegovih delova zahvaljujući primeni adekvatne konstrukcije delova u kontaktu, adekvatnih sredstava za podmazivanje, kvalitetnih materijala otpornih na habanje i adekvatne tehnologije održavanja, kao i primeni adekvatne tehnologije izrade i montaže tih delova.

Pad snage motora, koji se javlja direktno usled istrošenosti delova je relativno mali. Velika istrošenost delova motora može indirektno, preko poremećaja rada njegovih sistema, da dovede do velikog pa i potpunog gubitka snage. Ova tvrdnja može se potkrepiti sledećim primerom: zbog pohabanosti delova motora dolazi do prodiranja gasova u karter motora. U tom slučaju, kroz njegovu odušnu cev dolazi veća količina ulja u kućište prečistača što izaziva zamašćivanje uloška prečistača koji zato gubi poroznost i sposobnost propuštanja vazduha. Zbog toga u usisnoj cevi vlada podpritisak usled čega je koeficijent punjenja cilindra mali. Postojanje potpritisaka u usisnoj grani motora dovodi do usisavanja iz kartera veće količine ulja zbog čega dolazi do potpunog zamašćenja prečistača za vazduh, što znači i prekid dovoda vazduha tako da motor prekida svoj rad.

Velika istrošenost delova motora može indirektno, preko poremećaja rada njegovih sistema, da dovede do velikog pa i potpunog gubitka snage. Ova tvrdnja može se potkrepiti sledećim primerom: Zbog pohabanosti delova motora dolazi do prodiranja gasova u karter motora. U tom slučaju, kroz njegovu odušnu cev dolazi veća količina ulja u kućište prečistača što izaziva zamašćivanje uloška prečistača koji zato gubi poroznost i sposobnost propuštanja vazduha. Zbog toga u usisnoj cevi vlada podpritisak usled čega je koeficijent punjenja cilindra mali. Postojanje potpritisaka u usisnoj grani motora dovodi do isticanja iz kartera veće količine ulja zbog čega dolazi do potpunog zamašćenja prečistača za vazduh, što znači i prekid dovoda vazduha tako da motor prekida svoj rad. Do pada snage motora može doći i usled poremećaja u sistemu za napajanje motora gorivom (neadekvatan pritisak ubrizgavanja, neadekvatna raspodela goriva po cilindrima, neadekvatan ugao predpaljenja i td.).

Sa razvojem motora i njegovim usavršavanjem došlo je i do smanjenja intenziteta habanja njegovih delova, zahvaljujući primeni adekvatne konstrukcije delova u kontaktu, adekvatnih sredstava za podmazivanje, kvalitetnih materijala otpornih na habanje i adekvatne tehnologije održavanja, kao i primeni adekvatne tehnologije izrade i montaže tih delova.

2. ANALIZA OTKAZA KLIPNE GRUPE MOTORA SUS

Zaprljanost prečistača za vazduh dovodi do propuštanja prljavštine koja se taloži u komori za sagorevanje, a ona prouzrokuje intezivno habanje sklopa klip - klipni prstenovi - cilindar. Povećanjem zazora u ovom sklopu dolazi do prodiranja ulja u komoru za sagorevanje što doprinosi povećanju taloga u njoj i u krajnjem bilansu do smanjenja snage motora. Intezivno prljanje svećica, kod oto motora, jedan je od pokazatelja ove neispravnosti.

Sklop klip - klipni prstenovi - cilindar je jedan od vitalnih u složenom sistemu pogonskog motora i vozila. Sa aspekta pouzdanosti i funkcionalnosti, kritični delovi ovog sklopa su klipni prstenovi. Uzroci otkaza klipnih prstenova najčešće su: neadekvatno podmazivanje i hladjenje (36%), prisustvo abrazivnih čestica iz atmosfere ili produkata habanja (29%), nepravilna montaža (4%), povećanje zazora između klipnih prstenova i cilindra (17%).

Gubitak ulja, kod motora sus, se uglavnom prati u zavisnosti od veličine zazora prvog kompresionog prstena, jer je on izložen dejstvu najvećih temperatura i pritisaka produkata sagorevanja, pa se samim tim i najviše haba. Posle određenog vremena rada usled habanja delova cilindarskog sklopa dolazi do povećanja gubitka ulja. Osnovnim pokazateljima istrošenosti delova motora sus su: gubitak ulja, pritisak ulja i prodor gasova u karter.

Na gubitak ulja utiče: konstrukcija klipa i klipnih prstenova, veličina zazora klipnih prstenova u žljebovima klipa, kvalitet obrade bočnih površina klipnih prstenova i njihovih žljebova u klipu, odstupanja od propisane geometrije cilindra, klipa, klipnih prstenova i njihovih žljebova u klipu. Jedan od najuticajnijih faktor na gubitak ulja usled efekta pumpanja ulja jeste veličina bočnog zazora. Zbog nepovoljnih uslova rada (visoka mehanička i termička opterećenja) prvi kompresioni prsten i njegov žljeb se najviše habaju pa se gubitak ulja obično prati u funkciji veličine zazora ovog prstena.

Za početni period eksploatacije (period razrađivanja) karakteristično je da se gubitak ulja smanjuje do nekog minimuma. Tu minimalnu vrednost je potrebno održavati na tom nivou u znatnom delu veka trajanja. Pri prodiranju gasova kroz zazore između prstena i unutrašnje površine cilindra opada pritisak radnog ciklusa, narušava se toplotni režim prstena, a kao posledica korodirajućeg dejstva gasova povećava se habanje prstena i cilindra. Posledica toga je smanjenje radijalnog pritiska prstena. Potreban radijalni pritisak se postiže pogodnim oblikom prstena u slobodnom stanju, tako da kada se on stegne u radni položaj usled elastičnih sila on vrši pritisak na košuljicu cilindra. Smanjenje habanja prvog kompresionog prstena se može ostvariti tako što se na njegovu radnu površinu nanese tanak sloj hroma. Na taj način može znatno da se smanji habanje cilindra i na taj način produži radni vek cilindarskog sklopa jer ovakav par tarućih površina (hromirani prsten po sivom livu) poseduje znatno bolja svojstva nego u slučaju kontakta sivog liva po sivom livu.

Habanje je najizraženije kod prvog klipnog prstena, s obzirom da je izložen najvećim pritisacima i temperaturama, kao i direktnom uticaju goriva i produkata sagorevanja.

Za iste uslove eksploatacije, kod dizel motora, postoji veće habanje nego kod benzinskih motora. Razlog za to treba tražiti prvenstveno u vrednostima pritisaka u njihovom radnom prostoru.

Istovremeno dejstvo svih mehanizama habanja prisutno je kod sklopa klip-klipni prstenovi-cilindar. Intenzitet habanja ovog sklopa zavisi od više faktora ali najuticajni su: konstrukcija, materijal primenjen za izradu delova ovog sklopa, tehnologija izrade kao i uslovi korišćenja. Molekularno-mehaničko habanje prisutno je u gornjem delu cilindra, blizu spoljne mrtve tačke, gde zbog male brzine kretanja klipa, visoke temperature i pritiska, kao i zbog nedovoljne količine maziva dolazi do spajanja površina u kontaktu. Velika uloga u sprečavanju pojave ovakvog habanja ima primena adekvatnog maziva.

Faktori, koji u najvećoj meri utiču na habanje klipne grupe svrstati se mogu u dve grupe, i to: nepromenljivi (cilindar, klip, uljni i kompresioni klipni prstenovi) i promenljivi (radni parametri: broj obrtaja, temperatura, pritisak u cilindrima; konstruktivni parametri: broj prstenova, oblik prstenova, kvalitet obradjene površine, radijalna sila pritiska prstenova na cilindar).

Koroziono - mehaničko habanje javlja se pri uzajamnom dejstvu metala tarućih površina i koroziono agresivnih materijala (produkti sagorevanja goriva, oksidacija ulja i voda). Izduvni gasovi imaju veliku oksidacionu sposobnost.

Zavisno od temperature površine, sa kojom dolaze u kontakt, mogu da izazovu suhu, gasnu ili vlažnu-elektrohemijsku koroziju.

Cilindri i klipni prstenovi uglavnom su izloženi elektrohemijskoj koroziji a izduvni ventili i njihova sedišta gasnoj koroziji. Ovaj vid habanja odvija se u dve faze koje se

ciklično ponavljaju. To su: koroziono delovanje agresivnog materijala i obrazovanje sloja oksida koji se u drugoj fazi skida usled trenja. Skinute čestice oksidnog sloja imaju veću tvrdoću od osnovnog materijala tako da deluju abrazivno. Intenzitet koroziono mehaničkog habanja povećava se sa povećanjem sadržaja sumpora u gorivu i sa smanjenjem toplotnog režima motora. Maksimalno habanje cilindra motora, zbog ovog mehanizma habanja, javlja se u njegovom gornjem delu.

Abrazivno habanje sklopa klip-klipni prstenovi-cilindar izazivaju uglavnom čestice mineralnog porekla koje prodiru u motor različitim putevima.

Praksa je pokazala da maksimalno istrošenje cilindra nalazi se na mestu prvog kompresionog klipnog prstena, pri položaju klipa u spoljnoj mrtvoj tački. Pri tome, istrošenje u pravcu normalne sile je nešto veće od istrošenja u pravcu ose kolenastog vratila. Habanje cilindra motora najveće je u zonama najvećeg pritiska gasova, gde je i podmazivanje najslabije, što dovodi do promene oblika cilindra (cilindar se pretvara u konus a umesto kružnog nastaje eliptični poprečni presek).

U slučajevima nepravilnog podmazivanja cilindar dobija bačvasti oblik jer u blizini tzv. mrtve tačke najjači je uticaj postojanja zazora u sklopu klip-klipni prstenovi-cilindar, koji dovodi do tzv. "klačanja" klipa čime se proces habanja cilindra neravnomerno odvija. Habanje prvog kompresionog prstena, u poredjenju sa ostalim klipnim prstenovima, je najveće prvenstveno zbog dejstva visoke temperature i pritiska. Ono uglavnom definiše vek ispravnog rada cilindarskog sklopa. Iz tog razloga se konstrukciji, materijalu i tehnologiji izrade ovog prstena pridaje posebna važnost. Vek trajanja klipa određuje veličina pohabanoosti žljeba ovog prstena.

Pod dejstvom sile pritiska gasova, inercije i trenja dolazi do istrošenja bočnih površina klipnih prstenova i njihovih žljebova. Sa povećanjem zazora između njih intenzitet habanja naglo raste. Ukoliko ne postoji paralelnost osa čaura male i velike pesnice klipnjače, klip ima nepravilno vodjenje što dovodi do intenzivnog habanja klipa, zidova cilindra i ležajeva klipnjače. Habanje klipova, klipnih prstenova i cilindra motora dovodi do smanjenja snage motora. Pri tome deo radne smeše prolazi u korito motora što dovodi do povećane potrošnje goriva i do mešanja ulja i goriva a samim tim i do lošijeg podmazivanja motora. Ne treba izgubiti iz vida da pri tome dolazi i do prodiranja ulja u prostor za sagorevanje, što dovodi do povećane potrošnje ulja i stvaranja gareži koja i te kako negativno utiče na rad motora. Uz to rad motora praćen je karakterističnim zvukom.

Najveće habanje **cilindra** je u ravni normalnoj na osu kolenastog vratila, jer u toj ravni deluje tzv. normalna sila na klipu, koja ostvaruje pritisak klipa na zidove cilindra. Najmanje habanje cilindra je u ravni koja prolazi kroz osu kolenastog vratila, tj. koja je paralelna osi kolenastog vratila. Intenzitet habanja cilindra zavisi, u prvom redu, od temperature zidova cilindra i pritiska koji klipni prstenovi vrše na zidove cilindra. Pri tome ne treba zaboraviti uticaj brzine kretanja klipa, kao i vrstu, svojstva i raspored maziva na kliznim površinama i kvalitet obrade površine cilindra. Najveći uticaj na habanje cilindra ima prvi klipni prsten, jer je pritisak u žlebu iza njega približno jednak pritisku koji u tom trenutku vlada u cilindru. Ukoliko pogonski uslovi nisu adekvatni, temperature i pritisak nemaju dominantni uticaj na intenzitet habanja.

Neki od tih slučajeva su: Primena neadekvatnog ili zaprljanog maziva; Duži rad motora sa prebogatim smešom, jer dolazi do spiranja ulja gorivom iz prebogate smeše; Sprega neadekvatnih material; Ukoliko je kolenasto vratilo sa jakim ugibima ili su nedovoljno krute klipnjače, dolazi do pojačanog habanja cilindra u pravcu ose kolenastog vratila, kao posledica ukošenja klipa u cilindru u tom pravcu.

Do pojačanog habanja cilindra može doći i iz sledećih razloga: Nacentričnost klipova; Rukavci opslonačkih ležaja nisu koaksijalni; Zazori klipno-cilindarskog sklopa neadekvatni; Velika temperaturska razlika u cilindru.

Konstruktivna koncepcija motora, takođe utiče na sliku habanja cilindra. Na primer, kod oto motora sa bočno postavljenim ventilima i svećicama između njih, najveće istrošenje će biti suprotno od svećice i ventila, jer je smeša u toj zoni najkasnije zahvaćena frontom plamena, što može izazvati razređenje i spiranje maziva.

U zoni usisnog ventila, koji je postavljen naspram izduvnog ventila, javlja se pojačano habanje, jer je jače hlađenje u zoni oko usisnog ventila tako da neispareno gorivo razređuje i spira mazivo.

Ukoliko oblik krive habanja, u slučaju normalnog habanja, nije isti u svim ravnima cilindra, a nisu u pitanju pomenute specifičnosti u habanju, znači da postoji deformacija cilindra ili loša centričnost klipa prema cilindru.

Habanje **klipa** je približno deset puta manje od habanja klipnih prstenova i cilindara, a kritični deo klipa su žlebovi za klipne prstenove. Klipovi se u eksploataciji najčešće menjaju upravo zbog habanja žljebova. U normalnim uslovima rada, najintenzivnije se haba prvi klipni prsten jer on radi u najtežim uslovima (najviše su temperature, podmazivanje je najlošije, pritisak gasova je najveći, te je i pritisak prstena na zid cilindra najveći. Hromirani klipni prsten primenjuje se uglavnom kao prvi klipni prsten, a kod dizel motora i kao drugi. Svi ostali klipni prstenovi su od sivog livenog gvožđa. Do pojačanog habanja klipnog sklopa dolazi uglavnom zbog zazora povećanih do njihove granične vrednosti, usled čega dolazi do pojave tzv. klackanja klipnih prstenova, ali i zbog toga što pohabani klipni prstenovi imaju manji specifični pritisak, te dolazi do prodora vrelih gasova između klipnih prstenova i cilindra, a to dovodi do izgaranja ulja i lošeg podmazivanja, kao i do porasta temperature spregnutih površina.

Habanje klipa motor sus, u normalnim uslovima rada, je vrlo malo, u odnosu na cilindar i klipne prstenove. Najveće habanje javlja se na površinama žljebova za klipne prstenove (prvenstveno kod prvog klipnog prstena). Povećani zazor u žljebu klipa, nastao usled habanja, dovodi do nepravilnog vođenja klipnog prstena (javlja se tzv. "klackanje" prstena), što dalje intenzivira habanje, ne samo žljeba, već i klipnog prstena i cilindra. Posledica tog habanja je uglavnom povećana potrošnja ulja i goriva, kao i pad snage motora.

Usled nepravilnog dimenzionisanja žljeba i nepravilno izvedenog zaobljenja u dnu žljeba, može doći do loma međužljebova. Međužljeblje može delimično da nagori ili sasvim progori ukoliko dođe do zapeknuća klipnih prstenova, kada je onemogućena cirkulacija ulja koji hladi žljeb.

Intenzitet habanja okca klipa, prvenstveno zavisi od tačnosti izrade i kvaliteta obrađene površine. U slučaju prevelikih zazora, između osovinice i okca klipa, dolazi do deformacija kontaktnih površina. U slučaju premalih zazora dolazi do zaribavanja osovinice u okcu, zbog nedovoljnog podmazivanja, s obzirom da se podmazivanje ne vrši pod pritiskom. Ukoliko dođe do ovalizacije osovinice, može doći do pucanja klipa po izvodnici i to počevši od okca klipa u oba smera.

U slučaju nedovoljnog podmazivanja ili neodgovarajućeg materijala ležaja male pesnice klipnjače, dolazi do povećanog habanja osovinice. Ako je površina osovinice ostala glatka, onda je uzrok njenog povećanog habanja nedovoljna tvrdoća cementiranog sloja, ili je debljina cementiranog sloja premala. Ako se na površini osovinice jave rupice, razlog može biti greška u strukturi cementiranog sloja.

Pored uticaja vrste spregnutih materijala, kvaliteta obrade, pogonskih uslova (pritiska i temperature), kao i od kvaliteta podmazivanja, na intenzitet habanja klipne grupe veliki uticaj imaju sledeći faktori: Tačnost izrade i konstruktivne karakteristike; Kvalitet podmazivanja; Opterećenje; Intenzitet hlađenja; Kvalitet goriva; Tehničko stanje sklopa.

Posledica netačne izrade je pojačano habanje elemenata klipno-cilindarskog sklopa.

Od položaja prvog kompresionog prstena, u odnosu na čelo klipa, i od veličine zazora između klipa i cilindra, u velikoj meri zavisi intenzitet habanja. Sa povećanjem

zazora i smanjenjem rastojanja prvog kompresionog prstena od čela klipa, povećava se termičko opterećenje prvog klipnog prstena. Posledica toga je pojačano izgaranje maziva i pojava koksovanja maziva na klipnom prstenu i u žljebu klipa. To dovodi do zapeknuća prstena u žljebu. Pored toga, delići koksa se odvajaju sa metalnih površina, mešaju sa mazivom i deluju abrazivno, uz istovremeno smanjenje mazivih svojstva.

Iako material za izradu klipa nema većeg uticaja na intenzitet habanja cilindra treba imati u vidu sledeće:

- Klipovi od livenog gvožđa, lošije provode toplotu, što utiče na povećanje mogućnosti izgaranja ulja i koksovanja, i do pojave polusuvog trenja, što u krajnjem ishodu dovodi do pojačanog habanja delova klipnog sklopa.
- Klipovi od aluminijuma imaju veći koeficijent termičke dilatacije, što zahteva veće zazore u hladnom stanju. Ovakvi zazori, sve do postizanja normalnih radnih temperature dovode do pojave tzv. "klackanja" klipa u cilindru i klipnih prstenova u žlebovima, što ima za konačnu posledicu pojačano habanje. Pri tome dolazi i do jačeg prodiranja vrelih gasova između klipa i cilindra, a time i do jačeg izgaranja maziva, njegovog zaprljanja i degradacije, što indirektno pospešuje process habanja.

Za pravilan izbor ulja korisnik treba da se pridržava preporuka proizvođača. Količina ulja, koja se nanosi na taruće površine, utiče na intenzitet habanja. Prebogato podmazivanje dovodi do: Izgaranja ulja i stvaranja koksnih čestica, smola i lakova; Pojave samopaljenja na usijanim česticama koksa; Zapeknuće klipnih prstenova u žlebovima na klipu. Predhodno navedene pojave dovode do povećane potrošnje ulja i pojačanog habanja.

Prebogato podmazivanje može nastati kao posledica povećane količine ulja u karteru motora, povišenog pritiska ulja u sistemu za podmazivanje usled nepravilno podešenog regulatora pritiska ulja, kao i zbog neadekvatno izabranog ulja (npr. ulje niže viskoznosti se lošije razbacuje na zidove cilindra, što daje prebogato podmazivanje.

ZAKLJUČAK

Na pouzdanost rada sastavnih delova motora, u velikoj meri, utiče proces njihovog habanja. Ova činjenica ukazuje na potrebu određivanja pokazatelja radne sposobnosti motora koji zavise od stepena pohabanosti njegovih delova i utvrđivanja njihove dozvoljene veličine. Ovo, utoliko pre što je poznavanje ovih veličina neophodno kako za dijagnostiku tehničkog stanja motora, tako i za razvijanje metoda ubrzanih ispitivanja otpornosti delova na habanje. Sve veća cena materijala i sve veći troškovi održavanja motora, kao i vozila u celini, upućuju na potrebu istraživanja uzroka njihovog oštećenja i posledica neispravnosti i zastoja u radu. Dosadašnja istraživanja pokazuju da su tribološki procesi, u najvećem broju slučajeva, osnovni uzročnici oštećenja delova motora i vozila u celini. Habanje delova motora direktno utiče na vek njegovog trajanja.

LITERATURA

1. Ivković B.: Osnovi tribologije, Građevinska knjiga, Beograd, 1983.
2. Kugelj V. R.: Długovećnost avtomobilej, MAŠGIZ, Moskva, 1961.
3. Rac A.: Osnovi tribologije, Mašinski fakultet, Beograd, 1991.
4. Tanasijević S.: Osnovi tribologije mašinskih elemenata

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

UVODNI REFERAT

KVALITET – POKRETAČ I ISHODIŠTE REGIONALNOG RAZVOJA

S. Arsovski ¹⁾

Rezime: U radu je ukazano na značaj kvaliteta kao karakteristike regionalnog razvoja i mogućnosti koje treba iskoristiti za unapređenje kvaliteta u regionu.

Ključne reči: kvalitet, unapređenje, regionalni razvoj.

QUALITY AS ACTUATOR AND SOURCE OF REGIONAL DEVELOPMENT

Abstract: In this paper are focused on important of quality as characteristic of regional development and possibility which need to exploit for quality improvement in region.

Key words: quality, improvement, regional development.

1. UVOD

Pojam kvaliteta odnosi se na proizvod, proces i/ili organizaciju. Ako se pođe od definicije regiona u državi kao "teritorijalno zaokružen deo države, koji ima neke karakteristike što ga povezuju sa celinom zemlje i druge što ga čini specifičnim", vidi se da isti uključuju sve entitete (organizacije, državnu i lokalnu upravu, banke, univerzitete, zdravstvo, školstvo), ali i više od toga, pre svega veze sa okruženjem i veze entiteta unutar regiona.

Zbog toga je teško definisati kvalitet na nivou regiona. Ovaj akademski zadatak je znatno manje značajan od praktičnog – prepoznavanja regiona kao nosilaca razvoja i saznanja već na početku da postoji neravnomerna razvijenost regiona npr. u okviru SCG i EU.

Ocena nivoa kvaliteta organizacija u regiona može se vršiti na osnovu više različitih pristupa.

Najčešće je zastupljen pristup pomoću "ekspertskih" ocena gde zavisno od autora dominiraju crni ili euforični pristupi. Autoru nije poznata metodologija, sem metodologije za ocenu poslovne izvrsnosti, koja je primenjena u domaćim organizacijama. Učešće ovih organizacija je malo i čini manje od 1% (promila) poslovnih organizacija. Rezultati ocenjivanja nisu reprezentativni, jer se za ocenjivanje prijavljuju organizacije sa visokim ostvarenim nivoom kvaliteta.

¹⁾ Prof. dr Slavko Arsovski, Centar za kvalitet, Mašinski fakultet, Kragujevac,
arsovski@infosky.net

Ako se sa nivoa države isti pristup primeni na regione, situacija je, po saznanjima autora, još poraznija.

Ne postoji analiza kvaliteta, kao faktora konkurentnosti uključenog pre svega preko isporučilaca u *Porter*-ovom modelu, na nivou regiona.

Zbog toga je kao deo projekta "Unapređenje kvaliteta i zaštite životne sredine u Šumadiji i Pomoravlju" koncipiran i od strane Evropske agencije za rekonstrukciju, odobreno istraživanje Infrastrukture kvaliteta u ovom regionu.

Da bi se ovaj deo projekta uspešno realizovao sačinjen je vrlo obiman upitnik i dostavljen na 200 organizacija, koje su odobrene po: veličini, vrsti delatnosti, vlasničkoj strukturi, prioritetima regiona. U toku je prikupljanje anketnog materijala. Rezultati na kraju ovog istraživanja će ukazati na:

- ◆ infrastrukturu kvaliteta,
- ◆ nivo kvaliteta organizacija,
- ◆ probleme u unapređenju kvaliteta,
- ◆ prioritete oblasti unapređenja kvaliteta,
- ◆ potrebne resurse za unapređenje kvaliteta u regionu.

Imajući u vidu da znanje postaje prioritetni resurs u 21. veku, paralelno sa ovim projektom se primenjuju projekti iz oblasti:

- ◆ razvoja klastera,
- ◆ tehnoloških parkova,
- ◆ mreže inovacionih centara, centara za transfer tehnologija i centara izvrsnosti.

Sve ovo treba da poveća integrativnu komponentu regiona u procesu globalizacije, u kome smo hteli to ili ne.

U ovoj fazi projekta teško je govoriti o nivou kvaliteta regiona, jer pored nivoa kvaliteta organizacija, moraju se analizirati, nivo kvaliteta njihovih međusobnih relacija u regionu i van. To je posebna oblast koja će se realizovati primenom koncepta *Business Dynamics* i simulacionih tehnika.

Rezultati gore navedenog projekta treba da ukažu i na entitete i faktore koji su za nas bili skriveni, a koji mogu imati značajnu ulogu u regionalnoj politici razvoja i unapređenja kvaliteta. Tu očekujemo pre svega "meke faktore" i uticaj za sada nedovoljno istraženih alijansi i strateškog partnerstva sa drugim ino regionima i institucijama.

Predmet ovog rada je ukazivanje na značaj kvaliteta kao karakteristike regionalnog razvoja, sa jedne strane, i mogućnosti, pre svega eksterne, koje treba iskoristiti za unapređenje kvaliteta u regionu, a time i poboljšanja kvaliteta života u regionu i državi.

2. ULOGA DRŽAVNE I LOKALNE UPRAVE U UNAPREĐENJU KVALITETA

Polazeći od principa makroekonomske politike i razvoja, mogu se identifikovati sledeće metode (uloge) uticaja države na unapređenju kvaliteta:

- 1) donošenjem regulative i kontrolom njenog sprovođenja o funkcionisanju privrede, a posebno u određenim granama prioriternim za regionalni razvoj,
- 2) donošenjem regulative i kontrolom njenog sprovođenja o funkcionisanju javnog sektora,

- 3) poreskim sistemom, subvencijama i drugim olakšicama i nefinansijskim beneficijama,
- 4) državnom vlasništvu i upravljanjem u privrednim delatnostima od opšteg interesa,
- 5) direktnim finansiranjem određenih privrednih delatnosti (iz budžeta),
- 6) merama tekuće makroekonomske politike i
- 7) brigom o infrastrukturi kvaliteta na državnom nivou finansiranjem i kontrolom rada institucija za standardizaciju, metrologiju, tehničkim zahtevima za proizvode i ocenjivanju usaglašenosti proizvoda.

Pozitivan primer uloge države je davanje bespovratnih podsticajnih sredstava za uspostavljanje HACCP, ISO 9001 i ISO 14001 preko konkursa Ministarstva za poljoprivredu i vodoprivredu, na kome su finansijska sredstva u iznosu od 200.000.000 din. u 2005. godini podeljena po tenderu organizacijama.

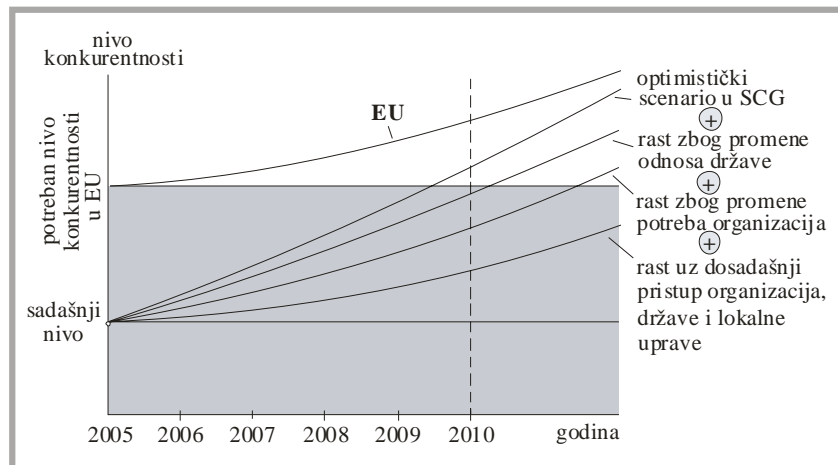
Takođe, pozitivan primer je i obaveza proizvođača hrane za sertifikacijom HACCP sistema.

Lokalna uprava, sa druge strane može uticati na određene aspekte regionalnog razvoja. Primer je npr. lokalna uprava u Kragujevcu koja je dovela podsticajna nepovratna sredstva za kupovinu plastenika i bavljenje poljoprivredom nezaposlenih i raseljenih lica, ukupno 10 plastenika.

Nažalost ne postoji državna regulativa i podsticajne mere za implementacijom:

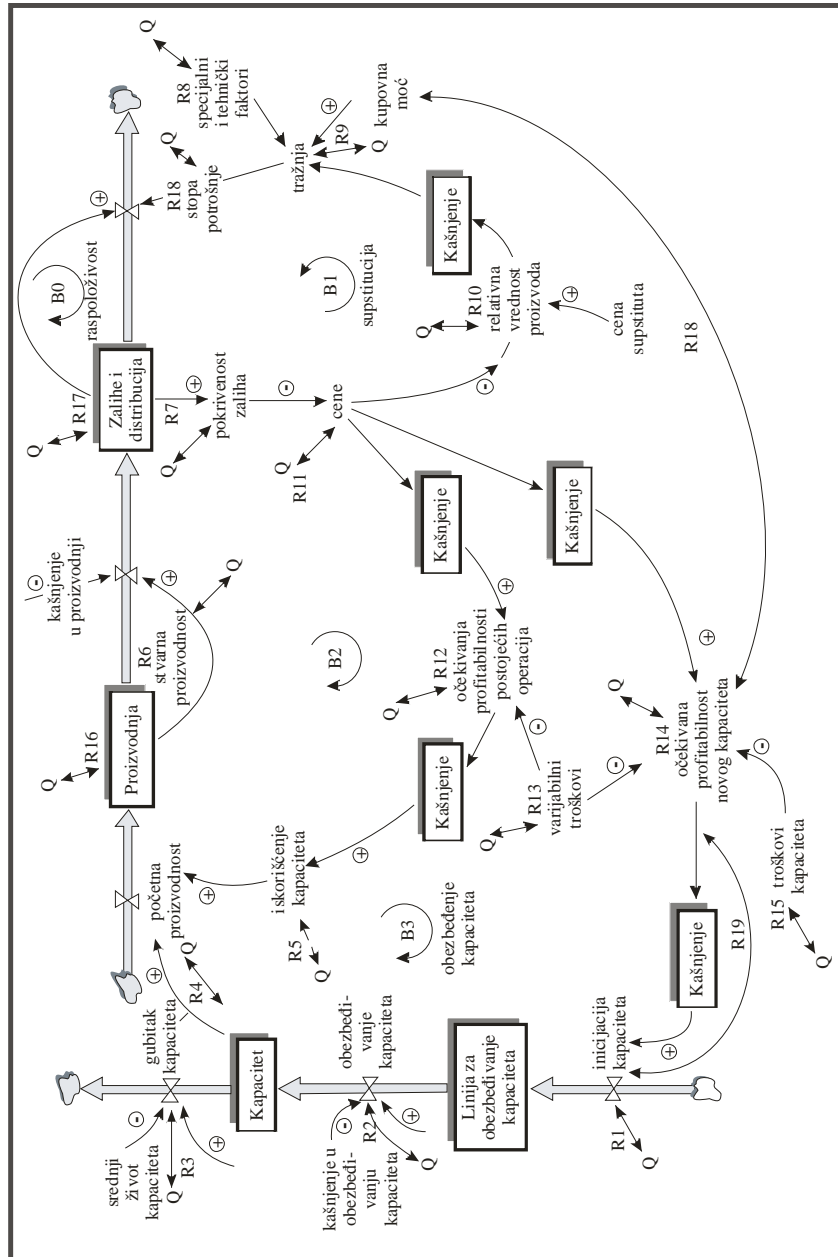
- ◆ sistema menadžmenta zaštitom životne sredine,
- ◆ bezbednosti proizvoda prema direktivama novog pristupa,
- ◆ akreditacijom laboratorija i
- ◆ sistem integrisanih sistema menadžmenta ISO 9001 i ISO 18001.

Ako se pođe od strukture i veličine organizacija, u proseku se male organizacije (do 50 zaposlenih) koje čine više od 90% organizacija za 10 ÷ 15.000 € donacije može dostići evropski nivo konkurentnosti u oblasti kvaliteta. To znači da uz sopstveno ulaganje organizacija, poreske olakšice i druge beneficije možemo imati u narednih 5 godina sledeću sliku (slika 1).



Slika 1.

Uticaj kvaliteta na regionalni razvoj prikazan je korišćenjem simulacionog modela Business Dynamics (slika 2), gde se u određenim čvorovima kao ulazi ili izlazi identifikuju relacije R1 - R19.



Slika 2.

Ako se region posmatra kao tržište, u svakom čvoru ovog modela ponašanja sa aspekta proizvođača mogu se dodati relacije koje se odnose na:

- R1** - način obezbeđivanja kapaciteta (uloga banaka, zajmovi, međunarodni projekti ili državne uprave). Ova relacija reprezentuje podsticajne mere u regionu i nivo menadžmenta znanjem u regionu u vezi inicijacije kapaciteta (iniciranje projekata).
- R2** - obezbeđivanje nedostajućih kapaciteta za unapređenje kvaliteta, kao npr. opreme visoke tačnosti, merne i kontrolne opreme, za eko zaštitu i sl.
- R3** - stanje kapaciteta u pogledu ostvarivanja zahtevanog nivoa kvaliteta, a posebno stabilnosti procesa,
- R4** - nivo korišćenja proizvodnih tehnika i tehnologija, kao i alata i metoda za unapređenje kvaliteta,
- R5** - nivo korišćenja metoda za optimalno korišćenje kapaciteta uključujući i motivacione mere, itd.

Svaka od relacija R1 - R19 je vezana na različite načine za aspekte kvaliteta. Tako npr. R1 se odnosi na inicijaciju kapaciteta. U uslovima nedovoljne likvidnosti domaće privrede, glavni izvor inicijacije kapaciteta su znanje, inicijativa i kompetentnost i kompetitivnost aplikanata kod različitih fondova (lokalni, državni, međunarodni) i povezivanja sa drugim organizacijama radi obezbeđivanja kapaciteta. Ovde ćemo se zadržati na međunarodne fondove, posebno one usmerene ka regionalnom razvoju. Korišćenjem finansijskih sredstava iz ovih fondova (R2) i nedostajućih znanja, stvaraju se uslovi za povećanje proizvodnosti i time u perspektivi povećanje vrednosti proizvoda, profitabilnosti novog kapaciteta i kupovne moći u regionu, kao važnih karakteristika regionalnog razvoja.

3. ZAKLJUČCI

Iz izloženog se mogu izvući sledeći zaključci:

- kvalitet postaje snažan oslonac regionalnog razvoja,
- infrastruktura kvaliteta predstavlja osnovu za značajnije unapređenje kvaliteta u Regionu,
- dosadašnja infrastruktura kvaliteta u (Šumadiji i Pomoravlju) Centralnoj Srbiji je nazadovoljavajuća,
- kroz projekat: "Unapređenje kvaliteta i zaštite životne sredine u Šumadiji i Pomoravlju", koji finansira Evropska unija, očekuje se znatno poboljšanje infrastrukture kvaliteta u ovom regionu,
- modeliranjem poboljšanja regionalnih i republičkih entiteta utvrđen je visok stepen uticaja kvaliteta, što predstavlja osnovu za rad na nivim projektima unapređenja kvaliteta u Regionu Šumadije i Pomoravlja.

LITERATURA

- 1) USA Technology & Research Park, *Development Guidelines, USA Research and Technology Corporation (USARTC), August, 2003.*
- 2) Start Up Company, *AUT Technology Park, Auckland University of Technology, 2002.*

31. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA SCG

- 3) Indiana Certified Technology Parks, *Indiana Department of Commerce*, 2003.
- 4) Benchmarking of EU Incubators, *Centre for Strategy & Evaluations Services, EC*, February 2002.
- 5) Arsovski S., Put od kvaliteta do kvaliteta života, *Zbornik radova Festival kvaliteta 2005.*, 32. nacionalna konferencija o kvalitetu, Kragujevac, maj 2005, str I(3-16).
- 6) Murat Prašo, *Ekonomika razvoja, Univerzitetska knjiga, Mostar*, 2001.
- 7) **Prof. dr Slavko Arsovski**, "Kvalitet i regionalni razvoj", "Kvalitet", Beograd, 2005.
- 8) **Prof. dr Slavko Arsovski**, "Pristup unapređenju kvaliteta u regionu kroz tehnološke parkove", "Kvalitet", Beograd, 2005.



KORIŠĆENJE EVIDENCIONIH MREŽA U INTEGRACIJI METODA PROJEKTOVANJA

M. Đapić¹⁾

Rezime: Unapređenje sposobnosti projektanta u postupku donošenja odluka je neophodnost koju nameće savremeni razvoj proizvoda. Sledeći to u radu se daje nov način za integraciju Tagučij metode robustnog projektovanja u Aksiomatski pristup projektovanju. Kao infrastruktura koja omogućava ovu integraciju koriste se evidencione mreže.

Ključne reči: Aksiomatska teorija projektovanja, Tagučij metod, Evidencione mreže

EVIDENCE NETWORK USING IN THE DESIGN METHODS INTEGRATIONS

Abstract Improvement designer capability is necessity in the contemporary product design process. Follow that in this paper is presented new way of integration Taguchi methods in the Axiomatic Design Theory (ADT). Evidence networks are suggested as an infrastructure which enable this integration.

Key words: Axiomatic Design Theory, Taguchi method, Evidence networks

1. UVOD

Od samog početka razvoja znanja o projektovanju istraživači širom sveta su shvatili važnu ulogu koju imaju naučno zasnovane i industrijski testirane teorije i metode projektovanja. Aksiomatski teorija projektovanju (ADT) (Suh, 1990) daje naučnu osnovu za unapređenje procesa razvoja, koja značajno unapređuje sposobnost projektanata u donošenju odluka i vođenju procesa. ADT i Tagučij metod robustnog projektovanja su dva pristupa projektovanju koja omogućavaju ugradnju kvaliteta u proizvod u faz razvoja (Tagučij) i daju fundamentalnu osnovu za razuevanje procesa donošenja odluka u projektovanju (ADT). Pokušaji integracije ovih metoda, odnosno bolje rečeno svih ostalih metoda inženjerstva kvaliteta u aksiomatski pristup projektovanju je danas prisutan kod istraživača koji se bave ovim oblastima.

Cilj ovog rada je da da novi pristup integraciji Tagučij metoda robustnog projektovanja i aksiomatskog pristupa projektovanju koji se ostvaruje na taj nači što se rezultati dobijeni primenom Tagučij metoda opisuju funkcijama teorije funkcija uverenja (Shafer 1976, Đapić 2005) koji se zatim unose u evidencionu mrežu (EM) (Shenoy 1992) sa kojom je predstavljena arhitektura sistema koji se projektuje. Evaluacijom EM

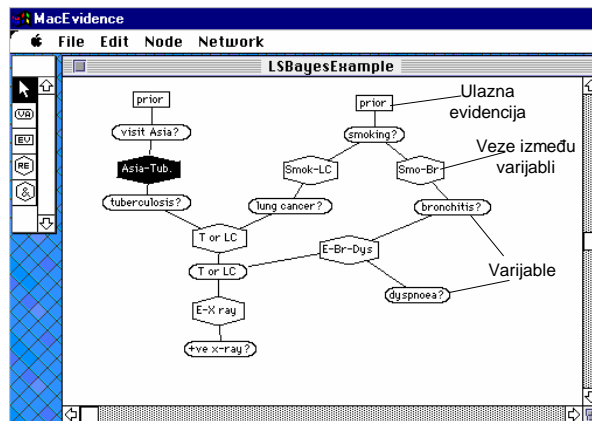
¹⁾ Dr Mirko Đapić, LOLA Institut, Beograd, Srbija, mdjapuc@yahoo.com

dobijaju se dodatne informacije o sistemu koji se projektuje čime se značajno unapređuje sposobnost projektanta u postupku donošenja odluka.

2. ŠTA SU TO EVIDENCIONI SISTEMI I EVIDENCIONE MREŽE

Sistemi bazirani na vrednovanju (Valuation Based Systems - VBS) su apstraktni okvir predložen od strane Shenoy (Shenoy 1992) za predstavljanje i rezonovanje na bazi neodređenosti. Omogućavaju predstavljanje neodređenog znanja u različitim domenima, uključujući Bojsovu teoriju verovatnoće, Dempster-Shaferovu teoriju evidencije (Shafer 1976) koja bazira na funkcijama uverenja i Zadeh-Dubais-Prodovu teoriju mogućnosti. Grafički predstavljen VBS naziva se valuaciona mreža.

VBS se sastoji od skupa varijabli i skupa valuacija (vrednovanja) koji su definisani na podskupovima tih varijabli.



Slika 1: Primer evidencione mreže u McEvidence softverskom paketu

VBS sistemi prilagođeni za procesiranje neodređenog znanja koje je opisanom funkcijama uverenja nazivaju se sistemi za rezonovanje na bazi evidencije (An Evidential Reasoning System) ili evidencioni sistem (Evidential System), a valuacione mreže evidencione mreže (EM) (slika 1).

2. ADT I TAGUČI METOD ROBUSNOG PROJEKTOVANJA

2.1 Axiomska teorija projektovanja (ADT)

Prevladajući cilj Axiomske teorije projektovanja (ADT) (Suh 1990) je da uspostavi naučnu bazu za projektovanje i da unapredi aktivnosti projektanta pružajući mu: (1) teorijsku osnovu za logičan i racionalan proces razmišljanja i donošenja odluka i (2) alate za to. Ona u sebi sadrži mogućnost za predstavljanje: (1) objekta projektovanja (hijerarhija funkcionalnih zahteva i parametara projektovanja, i matrica projektovanja), (2) procesa projektovanja (dekomponovanje i cik-cak preslikavanje) i sve to kombinovano sa (3) pravilima za donošenje odluka (aksiomi nezavisnosti i informacioni). Ona definiše okvir (dva aksioma, teoreme, posledice teorema) za vođenje projektovanja kroz proces projektovanja u cilju dobijanja očekivanih, pozitivnih rezultata u formi finalizovanog objekta projektovanja ili projektnog rešenja.

2.2 Tagučí metod robustnog projektovanja

Tagučí metod, metodologija ili model projektovanja polazi od pretpostavke da je najekonomičniji način da se kvalitet ugradi u proizvod u fazi njegovog razvoja. Vrlo često se ovakav pristup projektovanju naziva robustno projektovanje jer se u osnovi svodi na smanjenje varijacije performansi proizvoda u sredini u kojoj obavlja planiranu funkciju. Definiše se kao "inženjerska metodologija kojom se unapređuje produktivnost rada u istraživanju i razvoju, tako da se visokokvalitetni proizvodi mogu proizvesti brzo i sa malim troškovima".

Fundamentalni princip ove metode je unapređenje kvaliteta proizvoda minimiziranjem efekata varijacije bez eliminisanja njihovog uzroka. Drugim rečima, metoda omogućava efikasan izbor optimalnih parametara projektovanja koji omogućavaju takve performanse proizvoda koje su otporne na varijacije u sredini u kojoj proizvod funkcioniše bez otklanjanja njihovog uzroka.

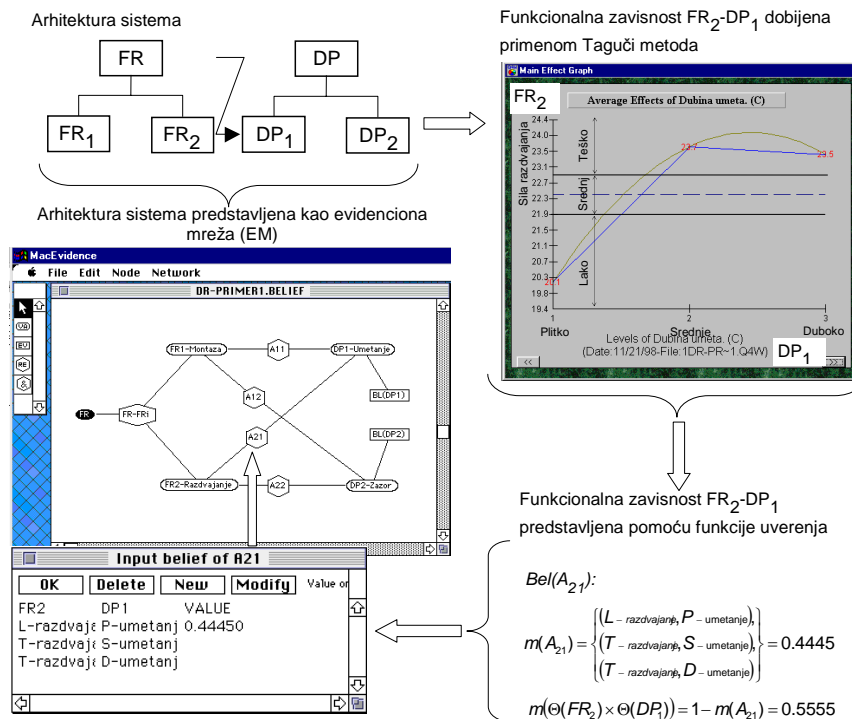
3. INTEGRACIJA ADT I TAGUČI METODA

Istraživanja u oblasti Aksiomatske teorije projektovanja su usmerena na razvoj alata i metoda koji bi omogućili i/ili olakšali njenu implementaciju. Pokušaji integracije metoda inženjerske kvaliteta u aksiomatski pristup projektovanju je danas prisutan kod istraživača koji se bave ovim oblastima.

Suh je u (Suh 1990 str. 171-186) izneo način integracije Tagučí metoda u aksiomatski pristup projektovanja ističući činjenicu da on potpuno zadovoljava prvi i drugi aksiom projektovanja. Primena Tagučí metoda u aksiomatskom projektovanju je prepoznata u slučaju kada projektantu za zadovoljenje skupa funkcionalnih zahteva (FR_s) stoji na raspolaganju skup parametara projektovanja (DP_k) čiji je broj veći od broja funkcionalnih zahteva, a pri čemu su relacije između funkcionalnih zahteva i parametara projektovanja nedovoljno poznate. U takvim slučajevima (koji su veoma prisutni u praksi) koriste se eksperimentalni podaci da bi se odredili najuticajniji parametri projektovanja i njihova zavisnost u odnosu na funkcionalne zahteve. Traže se one zavisnosti koje su najotpornije na uticaj poremećajnih faktora izraženi kroz karakteristiku kvaliteta S/N . Takođe, insistira se na linearnoj zavisnosti između funkcionalnih zahteva i parametara projektovanja, što nije tako često u prisutno u praksi (Suh 1990 str. 181). Osnovni razlog ovome je što u slučaju nelinearne zavisnosti između funkcionalnih zahteva i parametara projektovanja projektno rešenja koje je nespregnuto u jednoj tački može postati spregnuto ako se pomerimo u neku drugu tačku (izaberemo drugi par FR_s - DP_s). Traženje ovih linearnih aproksimacija je sigurno nedostatak integracije Tagučí metoda u aksiomatskom pristupu projektovanju, jer retko je poznato, koliko linearna zavisnost ako je uopšte moguće postaviti, dobro aproksimira neku stvarnu funkcionalnu zavisnost dobijenu iz eksperimentalnih podataka.

Način kako je moguće, na neki nov način integrisati Tagučí metod u Aksiomatski pristup projektovanju i donekle otkloniti prethodno iznete nedostatke dato je na slici 2. Pristup bazira na sledećem: Projektant definiše arhitekturu sistema, odnosno povezuje funkcionalne zahteve FR_i i parametre projektovanja DP_j . Paralelno sa tim kreira i odgovarajuću evidencionu mrežu (EM). Kada je potrebno da se utvrdi kakva je zavisnost između nekog para (FR_r - DP_j) primenjuje se Tagučí metoda. Tako dobijene eksperimentalne podatke mogu će je opisati funkcijom teorije funkcija uverenja i uneti ih u EM. Na ovaj način korišćenjem EM kao infrastrukture, omogućena je integracija eksperimentalnih podataka dobijenih primenom Tagučí metoda u ADT. Evaluacijom

ovako kreirane EM dobijaju se dodatne informacije koje značajno unapređuju sposobnost projektanta u postupku donošenja odluka.



Slika 2: Postupak integracije Taguchi metoda u Aksiomatski pristup projektovanju

3. ZAKLJUČAK

Unapređenje sposobnosti projektanta u postupku donošenja odluka je imperativ koji nemeće savremeni pristup razvoju proizvoda i procesa. Sledeći to u radu je predstavljen novi način za integraciju Taguchi metoda u ADT. Kao infrastruktura koja omogućava ovu integraciju koriste se evidencione mreže.

LITERATURA

- [1] Dapić, M., Evidencioni sistemi u razvoju proizvoda i procesa, Monografija (ISBN 86-906973-0-6), LOLA Institut, 2005
- [2] Suh, N., The Principles of Design, Oxford University Press, 1990
- [3] Shenoy, P.P., Valuation-Based Systems: A framework for managing uncertainty in expert systems, Fuzzy logic for the Management of Uncertainty pp. 83-104, John Wiley & Sons, New York, 1992.
- [4] Shafer, G., A Mathematical Theory of Evidence, Princeton University Press, 1976.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19. - 21. 09. 2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19. - 21. 09. 2006.

SPOSOBNOST PROCESA OBRADNE METALA REZANJEM

M. Lazić ¹⁾

Rezime: Ispitivanje i analiza sposobnosti procesa obrade metala rezanjem je ispitivanje rasipanja i raspodele karakteristika procesa sa ciljem ocene mogućnosti procesa i opreme za izradu proizvoda u granicama rasipanja utvrđenim tehničkim zahtevima. Time se ocenjuje i proverava projektovani tehnološki postupak izrade i izabrani obradni sistemi. U automobilske industriji, kosmičkoj tehnici, elektronici, industriji hrane i medicinske industriji potrebno je koristiti indekse - pokazatelje mogućnosti (sposobnosti) procesa kao osnovne kriterijume analize i ocene procesa.

U radu je prikazana suština metodologije ispitivanja, analize i ocene sposobnosti procesa i opreme kao jedne od metoda provere projektovanih postupaka obrade i izabranih obradnih sistema. Poseban naglasak je dat na osnovne pokazatelje sposobnosti procesa, pre svih na indeks potencijala (rasipanja) i sposobnosti (podešenosti) procesa.

Ključne reči: Sposobnost procesa, Tehnološki postupak, Obradni sistemi, Indeks potencijala, Indeks sposobnosti

PROCESS' ABILITY OF METAL CUTTING

Abstract: Research and analysis of process ability of metal cutting processes is research of dissipation and distribution of characteristics of process in order to evaluate ability of processes and equipment for product development in dissipation limits defined by technical requirements. This is approach for control of designed technology process of development as well as selected processing systems. In automotive industry, space techniques, electronics, food processing industry and medical industry it is necessary to use indexes of capabilities of processes as the basic criteria for analysis and evaluation of process.

The essence of research methodology, analysis and evaluation of process' and equipment's ability as well as on e of the methods for evaluation of designed technological procedures and selected systems are presented in this paper. Basic indicators of capabilities of process, in the first place index of potential (dissipation) and ability of process are specially emphasized.

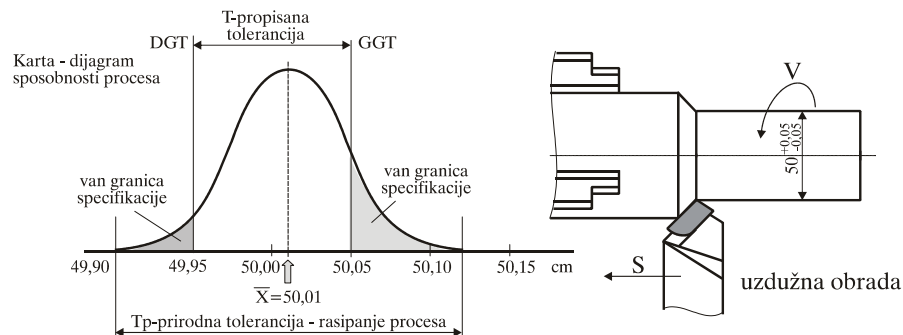
Key words: Process' ability, Technology procedure, Processing systems, Potential index, Ability index

1. UVOD

Ocena sposobnosti procesa obrade metala rezanjem i obradnih sistema (skraćeno procesa i opreme) je ocena varijacija (rasipanja) i podešenosti procesa i opreme (slika

¹⁾ Dr Miodrag Lazić, redovni profesor, Mašinski fakultet, Kragujevac, laza@kg.ac.yu

1). Ako podaci slede normalnu raspodelu sposobnost se definiše terminom »rasipanje« procesa i meri prirodnom tolerancijom $T_p = 6 \cdot \sigma$ kada rasipanje sadrži 99,73 % usaglašenih proizvoda.



Slika 1. Primer rasipanja procesa

Analiza sposobnosti procesa i opreme se izvodi sa ciljem ocene usaglašenosti parametara procesa ili opreme sa zahtevima definisanim crtežima, specifikacijama, u procesu proizvodnje i u probnoj proizvodnji, pre i na početku serijske proizvodnje. Kroz analizu i ocenu sposobnosti procesa i opreme se formira odgovor na pitanje: da li su operacija (proces), radnik-operator, mašina, alat i pribor u stanju da obezbede zahtevani nivo kvaliteta proizvoda?

2. METODE ISPITIVANJA I OCENE SPOSOBNOSTI PROCESA

Statističko praćenje i ocena sposobnosti procesa i opreme može da obuhvati:

- ♦ statističko praćenje prvog uzorka,
- ♦ ocenu sposobnosti prethodnog procesa - nulte serije i
- ♦ ocenu sposobnosti tekućeg - aktivnog procesa.

Statističko praćenje prvog uzorka se izvodi sa ciljem provere: podešenosti opreme i procesa i uspešnosti - nivoa kvaliteta prvog uzorka

Ocena **sposobnosti prethodnog procesa - nulte serije** obezbeđuje: proveru izbora proizvodne opreme (podešavanja i/ili zamene opreme), procesa (podešavanja i/ili izmene procesa), ocenu sposobnosti prethodnog procesa, utvrđivanje kontrolnih granica tekućeg procesa i verifikaciju kvaliteta proizvoda.

Statističko praćenje i **ocena sposobnosti tekućeg procesa** (u toku proizvodnje) omogućuje verifikovanje prihvatljivosti: procesa, karakteristika proizvoda i metoda i postupaka kontrole proizvodnje.

Za ocenu sposobnosti procesa i opreme koriste se tri metode:

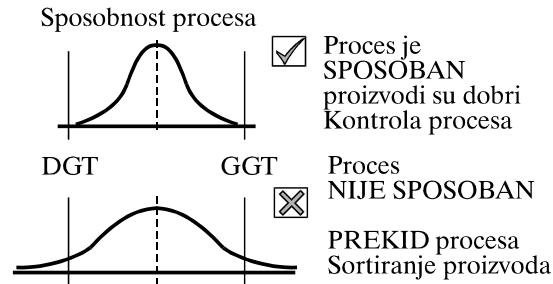
- » metod dijagrama rasipanja,
- » metod kontrolnih karata i
- » metod indeksa - pokazatelja sposobnosti procesa.

Dijagram rasipanja (slika 2), formiran na bazi statističke obrade prikupljenih podataka, jasno ukazuje na mogućnosti - sposobnosti procesa i opreme.

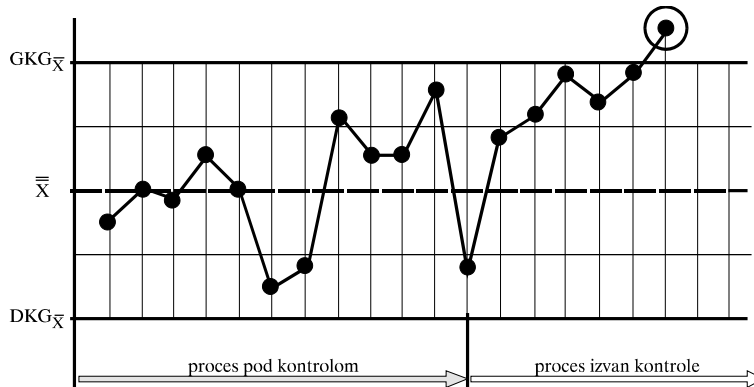
Suština metoda **kontrolnih karata** za ocenu sposobnosti prethodnog procesa i monitoring sposobnosti tekućeg procesa se ogleda u formiranju kontrolne karte, analizi

karte i utvrđivanju odgovarajućih ocena i zaključaka. Analiza sposobnosti (slika 3) dovodi do dve ocene stanja procesa:

- » proces pod statističkom kontrolom ili
- » proces izvan statističke kontrole (slika 4).



Slika 2. Ocena sposobnosti procesa preko dijagrama rasipanja



Slika 3. Dve osnovne ocene stanja procesa i opreme

Proces van statističke kontrole nastaje u slučajevima poremećaja, sa ili bez karakterističnog trenda promene vrednosti karakterisika kvaliteta [1].

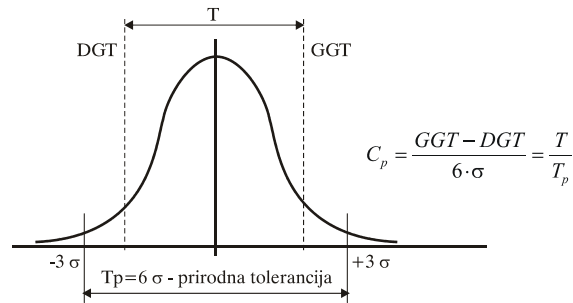
Pet **pokazatelja sposobnosti procesa i opreme** C_p , C_{pu} , C_{pl} , k i C_{pk} predstavljaju potpun skup pokazatelja ocene sposobnosti - kvaliteta procesa [1]. Mnoge Japanske kompanije u različitim industrijskim granama primenjuju svih 5 pokazatelja. Široko se koriste ne samo za ocenu procesa, već i za donošenje odluke o kupovni proizvoda. U osnovi interesantni su indeksi C_p i C_{pk} , primenjeni u Japanu i automobilske industriji SAD. To znači da se sposobnost procesa, sistema, stanje opreme i sl., najčešće, ocenjuje korišćenjem dva indeksa:

- » indeksa potencijala C_p za proces i C_m za opremu i
- » indeksa sposobnosti C_{pk} za proces i C_{mk} za opremu.

Procesi (oprema) je sposoban ukoliko su precizni i tačni ili kada su indeksi:

- » preciznosti $C_p \geq 1,33$ (atributivna ocena: precizan) i
- » tačnosti $C_{pk} \geq 1,33$ (atributivna ocena: tačan).

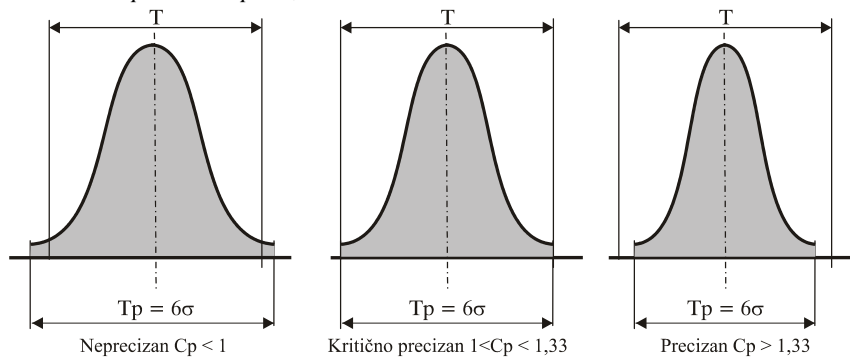
Indeks potencijala procesa (slika 4) je odnos propisane (T) i prirodne (nominalne) tolerancije ili rasipanja procesa (T_p).



Slika 4. Indeks potencijala procesa

Indeks potencijala procesa C_p ukazuje na preciznost i rasipanje procesa, pa se često naziva i **indeksom preciznosti**. U zavisnosti od vrednosti C_p proces (oprema, slika 5) se ocenjuje kao:

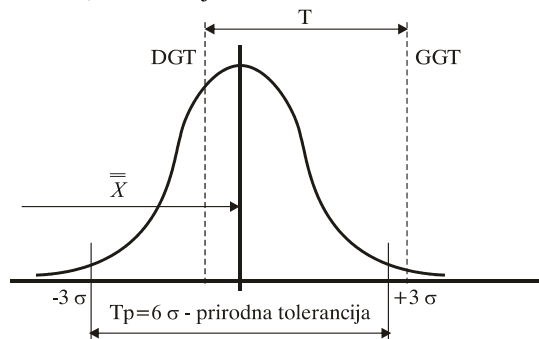
- » neprecizan $C_p < 1$,
- » kritično precizan $1 < C_p < 1,33$ i
- » precizan $C_p \geq 1,33$.



Slika 5. Ocena potencijala procesa preko indeksa C_p

Indeks sposobnosti procesa ukazuje na podešenost procesa (položaj procesa u odnosu na granice specifikacije - slika 6) i određen je izrazom:

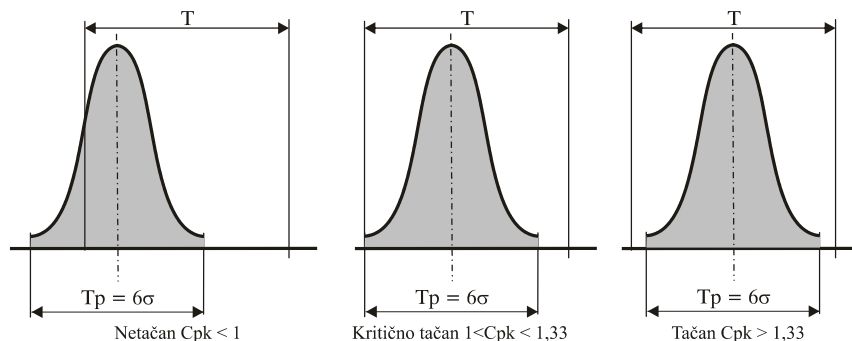
$$C_{pk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{GGT - \bar{X}}{3 \cdot \sigma} \\ \frac{\bar{X} - DGT}{3 \cdot \sigma} \end{array} \right.$$



Slika 6. Položaj procesa u odnosu na granice specifikacije

Indeks sposobnosti Cpk ukazuje na tačnost procesa i opreme (slika 7) i često se naziva **indeksom tačnosti**. U zavisnosti od vrednosti Cpk proces (oprema) se ocenjuje kao:

- » netačan $Cpk < 1$,
- » kritično tačan $1 < Cpk < 1,33$ i
- » tačan $Cpk \geq 1,33$.



Slika 7. Ocena podešenosti procesa preko indeksa Cpk

3. OCENA PROCESA PREKO POKAZATELJA SPOSOBNOSTI

Za ilustraciju ocene sposobnosti procesa i opreme primenom pokazatelja sposobnosti procesa može poslužiti praktični primer izrade osovine nominalnog prečnika $17^{+0,3}$, mm u uslovima serijske proizvodnje. Merenje prečnika osovine izvedeno je na uzorku od 30 komada pomičnim merilom sa digitalnim očitavanjem, tačnosti 0,01 mm, a rezultati merenja su prikazani u tabeli 1.

Tabela 1: Rezultati merenja prečnika osovine $17^{+0,3}$ mm

r.br.	vrednost	r.br.	vrednost	r.br.	vrednost	r.br.	vrednost
1	17,18	9	16,79	17	17,00	25	17,00
2	17,05	10	16,80	18	17,14	26	17,02
3	16,70	11	16,92	19	16,93	27	16,97
4	17,20	12	16,93	20	17,16	28	16,92
5	17,03	13	17,16	21	16,91	29	16,96
6	16,80	14	17,00	22	17,00	30	16,83
7	16,72	15	16,97	23	16,92		
8	16,78	16	16,80	24	16,88		

Na osnovu rezultata merenja izračunati su parametri raspodele rezultata merenja:

$\bar{X} = 16,94$, mm, $\sigma = 0,13$, mm i $R = X_{max} - X_{min} = 17,20 - 16,70 = 0,5$, mm, tako da su odgovarajuće tolerancije: **propisana**: $T = 0,3$, mm i **prirodna**: $T_p = 6 \cdot \sigma = 0,78$, mm, dok su **indeksi sposobnosti procesa (opreme)**:

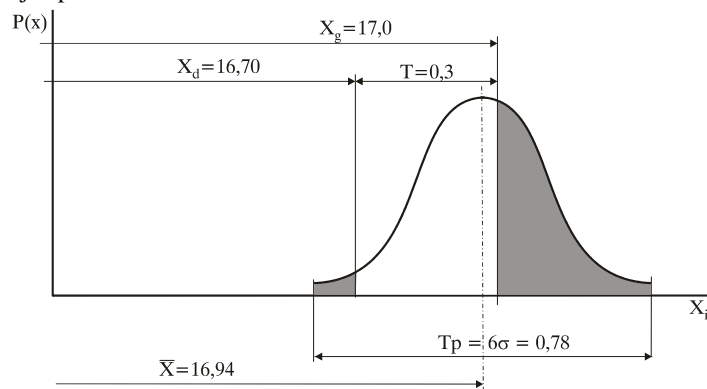
» **indeks potencijala procesa**:

$$C_p = \frac{T}{T_p} = \frac{0,3}{0,78} = 0,385 < 1,33$$

» **indeks sposobnosti procesa:**

$$C_{pk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{GGT - \bar{X}}{3 \cdot \sigma} \\ \frac{\bar{X} - DGT}{3 \cdot \sigma} \end{array} \right. = \frac{17 - 16,94}{3 \cdot 0,13} = 0,154 < 1,33$$

Na osnovu vrednosti pokazatelja sposobnosti evidentno je da proces izrade osovine ili izabrana oprema (slika 8) spada u grupu **nepreciznih** i **netačnih (nepodešenih)**. Rezultati analize rasipanja dimenzija osovine pokazuju da je proces izrade osovine niskog potencijala i nepodešen (indeksi potencijala i sposobnosti imaju veoma male vrednosti, što pokazuje ogromno rasipanje dimenzija unutar raspona 0,5 mm i potpunu nepodešenost procesa - mašine). Potrebno je preispitati tehnologiju izrade osovine (tehnološki postupak izrade), postupak izbora opreme (mašina) i postupak podešavanja opreme.



Slika 8. Statističke karakteristike procesa izrade osovine

4. ZAKLJUČCI

Ispitivanje, analiza i ocena sposobnosti (mogućnosti) procesa obrade metala rezanjem i obradnih sistema se ostvaruje metodom: *krivih rasipanja, kontrolnih karata i pokazatelja sposobnosti procesa*. Ocenom se formira odgovor na pitanje: *da li su projektovani tehnološki postupci i izabrani obradni sistemi adekvatni?*

Pokazatelji sposobnosti su pogodan bezdimenzionalni sistem pokazatelja sposobnosti, jer pokazuju: *ima li proces ili oprema nisku stabilnost? zadovoljava li proces i/ili oprema granice specifikacije? postoje li problemi podešavanja procesa i/ili opreme? itd.* Najznačajnija prednost indeksa je usmerenje na prevenciju pojave škarta i monitoring procesa i obradnih sistema. I ne samo to, indeksi obezbeđuju veliki broj informacija o potencijalu procesa i opreme, na jeziku koji je lako razumeti.

5. LITERATURA

- [1] **Lazić M.**, Alati, metode i tehnike unapređenja kvaliteta, univerzitetski udžbenik, Centar za kvalitet, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2006.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

STRATEGIJA UPRAVLJANJA RAZVOJEM PREDUZEĆA

S. Cvetković ¹⁾, B. Pejović ²⁾

Rezime: Tehnološka strategija preduzeća predstavlja integralni deo njegove globalne razvojne strategije i definiše se kao dugoročno opredeljenje preduzeća prema mestu i ulozi tehnologije u poslovanju preduzeća. Sam postupak formiranja tehnološke strategije proučavaće se kroz strategijsku analizu i kroz definisanje tehnološke strategije. Istraživanje je pokazalo da osnovu formiranja tehnološke strategije treba da čini skup dugoročnih ciljeva preduzeća, sveukupni potencijal preduzeća kao i zahtevi okruženja.

Ključne reči: preduzeće, upravljanje, tehnološki razvoj, tehnološka strategija, poslovni uspeh

THE STRATEGY MENAGEMENT OF ENTERPRISES DEVELOPMENT

Abstract: The strategy of enterprises technology development is integrative part of its global development strategy and it can be determined as a long term attitude to technology position and role in enterprises business. In this paper technology strategy is studied in two steps: strategic analysis and definition of technology strategy. Long term goals, whole capacity of enterprise and development needs have the basic importance for technology strategy definition.

Key words: enterprise, management, technology development, technology strategy, business successes

1. UVOD

Strategija je jedna od najčešće upotrebljavanjih reči u rečniku menadžera. Ona je relativno nov koncept koji u poslovnoj teoriji i praksi preduzeća počinje da se koristi od sredine pedesetih godina prošlog veka.

Strateški menadžment prihvataju i praktikuju preduzeća sa sve više promenljivom, turbolentnom i kompleksnom sredinom. Dobar deo teškoća u razvoju strategije potiče iz naše nesposobnosti da razvijemo skup principa koji će svi poštovati.

¹⁾ Prof. dr Slavica Cvetković, Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica,
smijoc@Eunet.yu

²⁾ Doc.dr Branko Pejović, Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica

U radu će se proučavati karakteristike strategije i izbor optimalne strategije razvoja preduzeća, strategijska analiza i definisanje same tehnološke strategije u funkciji efikasnog upravljanja ovim procesom.

2. IZBOR OPTIMALNE STRATEGIJE

Pod strategijom se podrazumeva skup planova i politika pomoću koje firma želi da stekne prednost nad konkurentima. U proizvodnoj organizaciji kao celini, strategijom se povezuju i predviđaju distiktivne sposobnosti sa njenim primarnim zadatkom (šta mora da radi u uslovima konkurencije).

Zadatak strategije na višem nivou je da stvori uslove za razvoj kreativne i konkurentne proizvodne strategije. Strategijske odluke na nivou preduzeća treba da omogućе da preduzeće postane konkurentno i da uvek ima svoje mesto na tržištu, da proizvodna strategija treba da sadrži odluke i akcije koje će omogućiti optimizaciju proizvodnog procesa pa da sa nižim troškovima, boljim kvalitetom, efikasnijom opremom itd. podrži viši strategijski nivo.

Dakle, strategija treba da definiše jasno i konzistentno razvojnu i proizvodnu politiku i ciljeve koje preduzeće može postići, pa se njen značaj u ukupnoj strategiji preduzeća ne sme naći u senci finansija i marketinga.

Hayes i Wheelright navode pet karakteristika strategije:

- **Vremenski horizont.** Reč strategija se koristi da opiše aktivnosti koje uključuju jedan prošireni vremenski horizont. On se odnosi kako na vreme potrebno za obavljanje aktivnosti tako i na vreme potrebno da se uoče njihovi efekti.
- **Uticaj.** Iako se posledice prevođenja određene strategije mogu učiniti neprimetnim dužem vremenskom periodu, njihov konačan uticaj će ipak biti značajan.
- **Koncentracija napora.** Da bi određena strategija bila efektivna, potrebno je uložiti dosta napora i izvršiti niz usmerenih akcija u raznim oblastima. Kada su te aktivnosti precizno odedene i adekvatno usmerene, neposredno dolazi do oslobađanja resursa koji se tada mogu upotrebiti za druge aktivnosti.
- **Način odlučivanja.** Iako neke firme treba da donesu svega nekoliko glavnih odluka da bi sprovele određenu strategiju, većina tih izabranih strategija zahteva da skup značajnih odluka bude donet unapred. Ovakve odluke moraju podržavati jedna drugu tako da slede jedan konzistentan model odlučivanja.
- **Sveobuhvatnost.** Strategija zaokružuje širok spektar aktivnosti od raspodele resursa za proces proizvodnje, ap sve do svakodnevnih operacija. Neophodno je ostvariti vremensku doslednot u svim potrebnim aktivnostima tako da svi nivoi organizacije funkcionišu unapređujući strategiju.

Globalno gledano, strategija preduzeća može se definisati kao dugoročno opredeljenje preduzeća prema mestu i ulozi tehnologije u njegovom poslovanju. Kao takva, srategija preduzeća jeste bitan element ukupne razvojne strategije preduzeća i treba da da odgovore na sledeća pitanja:

- koje tehnologije preduzeće treba da razvija
- da li treba nastojati da se ostvari tehnološko vodstvo u tim delatnostima
- kakve su mogućnosti prodaje tehnologije.

Proces formiranja strategije započinje strategijskom analizom, a zatim sledi definisanje strategije po određenim fazama i po pojedinim segmentima primenljivog tehnološkog znanja.

1. STRATEGIJA RAZVOJA

Strategijom razvoja donose se odluke o ciljevima, politici, programima i planovima, kojima se usmerava aktivnost preduzeća. Proces planiranja se zasniva na istraživačkim aktivnostima u kojima je vremenska dimenzija značajna. Predviđaju se buduće promene u okruženju, analiziraju postignuti rezultati u prošlosti i usaglašavaju kreiranjem akcije u sadašnjosti. Proizvod procesa planiranja je tekuća odluka, odnosno suština planiranja je stalan izbor najboljih rešenja. U procesu donošenja tekućih odluka moguće je praviti razliku između:

nalaženja problema - aktivnosti određivanja postojanja i značaja problema,

odlučivanja - dijagnoza problema, stvaranja alternativa i odluka,

odluke - aktivnosti ocene i izbora između alternativnih rešenja i

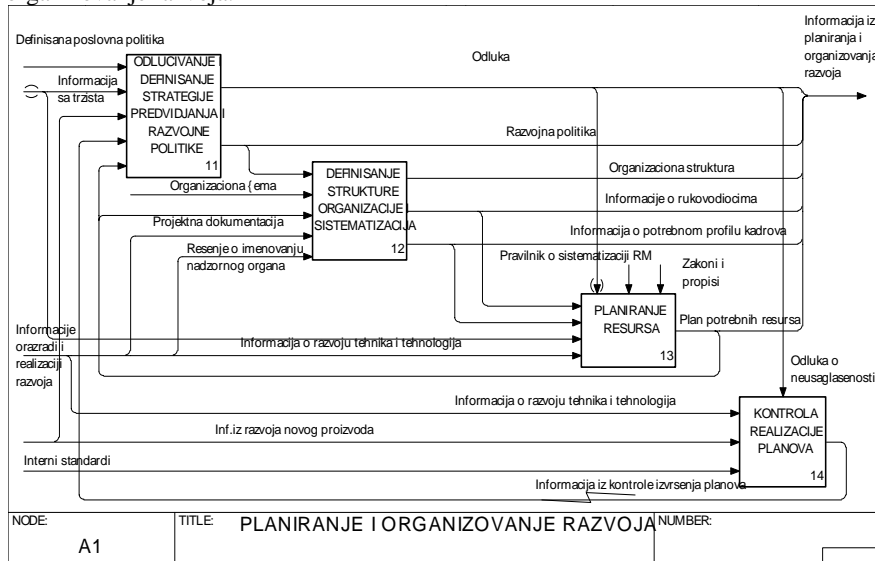
rešavanja problema - odlučivanje i aktivnosti pripreme odabranog rešenja.

Materija razvojnih poduhvata, direktno u vezi sa proizvodom obuhvata: razvoj novog proizvoda, razvoj nove tehnologije, modernizacija opreme, razvoj materijala.

Posredno, u smislu stvaranja uslova za proizvodnju, razvoj pokriva: projektovanje i implementaciju reorganizacije preduzeća, izgradnju novog objekta, sistem permanentnog obrazovanja zaposlenih, projektovanje informacionog sistema, program unapređenja poslovnog sistema u celini.

Pristup planiranju razvoja treba da bude usmeren na konkretne projekte, za koje treba odrediti: cilj, resurse, i rok završetka.

Na sledećoj slici prikazan je dekompozicioni dijagram za planiranje i organizovanje razvoja.



Slika 1. Dekompozicioni dijagram za planiranje i organizovanje razvoja

Kada govorimo o sistemskom pristupu u planiranju, to znači da pre donošenja planskih odluka moramo celovito sagledati probleme koji treba da se reše. Upravo u tome jeste razlika između sistemskog pristupa u planiranju i parcijalnog rešavanja problema sa kojima se preduzeće u svom poslovanju suočava.

Cilj svake planske odluke trebalo bi da doprinosi ostvarenju ekonomskih i socijalnih ciljeva preduzeća. Pošto se donošenjem planske odluke završava proces planiranja i započinju procesi akcije neophodno je pratiti šta se dešava sa odlukom.

Da bi se mogle pripremati planske odluke neophodno je poznavanje metodologije planiranja. Jedna od bitnih pretpostavki za donošenje planskih odluka jeste kreativnost, koja mora biti u srazmeri sa intenzitetom razmatranja uslova i pretpostavki za donošenje planske odluke. Da bi planska odluka mogla da zadovolji kriterijume racionalnosti moraju se precizno definisati problemi, koji će biti rešeni planskom odlukom.

Postoje dve grupe planskih odluka koje se donose u preduzeću. Jedna grupa odluka odnosi se na interne probleme, a druga grupa na odnose sa okruženjem. Po stepenu složenosti ove druge su složenije. Svakako, kod planskih odluka značajna je i verovatnoća ishoda, koja se kreće u rasponu od potpune neizvesnosti do pozitivne izvesnosti.

4. DEFINISANJE TEHNOLOŠKE STRATEGIJE

Pošto je izvršilo analizu postojećeg tehnološkog potencijala, odredilo tehnologije koje su ključne za njegov budući razvoj, definisalo svoju postojeću i željenu poziciju na tržištu, kao i sagledalo sopstvene mogućnosti da ostvari postavljene ciljeve, preduzeće pristupa definisanju svoje tehnološke strategije.

Globalno gledano, tehnološka strategija preduzeća može se raščlaniti na četiri segmenta, i to na strategiju:

- pribavljanja
- korišćenja
- razvoja
- prodaje tehnologije.

Ukoliko je preduzeće sposobno da stvori novu vrednost za kupca, to će mu omogućiti ostvarivanje povoljnije tržišne pozicije. Budući da je tehnologija veoma promenljiva kategorija i da preduzeće posluje u veoma promenljivom okruženju, jednom formirana tehnološka strategija nije konačna, već je takođe podložna promenama u skladu sa uslovima poslovanja. Naime, tokom vremena menjaju se uslovi ne samo u neposrednom okruženju poslovne aktivnosti preduzeća već i u celoj privrednoj grani, odnosno u privredi kao celini. U skladu s tim, izabrana tehnološka strategija utoliko je efikasnija ukoliko više uvažava date promene i ukoliko više doprinosi usaglašavanju mogućnosti preduzeća sa njegovim dugoročnim ciljevima.

Efikasna tehnološka strategija podrazumeva da postoji nekoliko strategijskih opcija. Koja strategijska opcija će se primeniti u konkretnoj situaciji zavisice od konkretnog sleda događaja.

Valjanost odabrane tehnološke strategije utvrđuje sa na osnovu procene njene uspešnosti. Da bi se postupak procene obavio neophodno je da preduzeće raspolaze adekvatnim, pouzdanim informacijama. Na osnovu njih pored se ostvareni sa očekivanim rezultatima. Ukoliko je u nekom segmentu poslovanja došlo do znatnog odstupanja na štetu ostvarenih rezultata, preduzeće treba da preduzme korektivne akcije u onoj oblasti u kojoj leži uzrok tih odstupanja. Pri tome, ocena uspešnosti tehnološke strategije može da se vrši periodično, (na primer posle godinu dana) ili kontinualno.

Druga metoda daleko je efikasnija (ukoliko je moguća i isplativa).

Globalni i najvažniji pokazatelj valjanosti odabrane tehnološke strategije jeste njen doprinos ostvarivanju ciljeva preduzeća.

5. ZAKLJUČAK

Budući da tehnologija uzrokuje bitne strategijske promene kako na nivou privrede kao celine tako i na nivou preduzeća kao osnovnog ekonomskog subjekta, za njen razvoj i primenu neophodan je strategijski pristup. Tehnološka strategija predstavlja integralni deo ukupne strategije preduzeća i treba da bude u skladu sa: dugoročnim razvojnim ciljevima preduzeća, sveukupnim potencijalom preduzeća kao i u skladu sa zahtevima okruženja. Donošenje tehnološke strategije jeste kompleksan proces koji, pored ostalog, uključuje strategijsku analizu i samo definisanje konkretne tehnološke strategije. Strategijska analiza podrazumeva analizu događanja u prošlosti, ocenu postojeće pozicije preduzeća u okruženju kao i predviđanje budućeg toka događaja na domaćoj i međunarodnoj sceni. Definisanje konkretne tehnološke strategije podrazumeva preciziranje konkretnih načina kreiranja, upotrebe, razvoja, pribavljanja i prodaje tehnologije u preduzeću. Valjanost odabrane tehnološke strategije utvrđuje se na osnovu procene njene uspešnosti, a najbolji pokazatelj jeste doprinos odabrane strategije ostvarivanju dugoročnih razvojnih ciljeva preduzeća.

LITERATURA

1. Dr Slavica Cvetković, „*Razvoj savremenih proizvodnih strategija u industriji*”, Monografija, Zadužbina Andrejević, 2002 god.
2. Milisavljević, M., Senić, R., Janošević, S., *Inovacije i tehnološka strategija*

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

TIMSKI RAD KAO ORGANIZACIJSKI MODEL ZA BRZE PROMENE

D. Obradović ¹⁾, V. Srećković ²⁾

Rezime: U vremenu brzih tehnoloških i drugih promena, timski rad predstavlja pogodan organizacijski model za brzo prilagođavanje potrebama tržišta. To se posebno odnosi na razvojno-istraživačke funkcije u industriji, koje moraju brzo da reaguju na poremećaje tržišta. U radu se daje osvrt na stalno prisutne promene i potrebu za učestvovanjem u njima, posebno u domenu industrije. Prikazuje se organizacijski model timskog rada u funkciji razvoja proizvoda kao pogodan za reagovanje na brze promene. Analiziraju se personalne predispozicije i veštine potrebne za timski rad, sa posebnim osvrtom na emocionalnu inteligenciju.

Ključne reči: Timski rad

TEAM WORK AS AN ORGANIZATIONAL MODEL FOR QUICK CHANGES

Abstract: In the era of fast technological and other changes, team work presents a suitable organizational model for quick adaptation to the market needs. This especially applies to development and research divisions in industry that have to respond quickly to the market disturbances. This paper overviews constant changes and needs for being part of them especially in the field of industry. It presents an organizational model of team work for the purpose of product development which is suitable for quick changes. Also, it analyses personal predispositions and skills necessary for team work with special review of emotional intelligence.

Key words: team work

1. UVOD

Promene predstavljaju dinamički proces koji se permanentno odvija od nastanka ljudskog roda na planeti zemlji. Čovek se nikada nije zadovoljavao svojim trenutnim položajem, već je stalno pomerio svoje ciljeve i granice svojih htenja. To je činio u formama saglasno nivou poimanja problema (egzistencijalnih, društvenih, ekonomskih, političkih,...) i na taj način menjao tokove civilizacije. Nosioci promena bili su umni daroviti ljudi, a u novijoj istoriji, filozofi, naučnici, vizionari.

¹⁾ Dr. Dimitrije Obradović, dipl. inž. – Institut za automobile, Zastava automobili, Kragujevac, institut@ia.kg.ac.yu

²⁾ Vesna Srećković, dipl. inž. – Institut za automobile, Zastava automobili, Kragujevac, vsreckovic@ia.kg.ac.yu

Živimo u vremenu brzih promena i burnog progressa ali, i u vremenu koje je bremenito suprotnostima. Opstanak pojedinaca, porodica, preduzeća, država, moguće je osigurati samo ako se aktivno učestvuje u promenama, ako se one kontrolisano podstiču i ako se njima svrsishodno upravlja. Prema B. V. Gnedenu [1] "Uspeh će imati onaj narod koji ume blagovremeno da se prestrojava u svom praktičnom i naučnom životu na novo i perspektivno i da to novo još brže razrađuje. Neophodno je da se svaka naučna ili tehnička ideja i praktično realizuje, jer nije dovoljno pronaći samo nešto novo."

Brz tehnološki progres je usmeren na stvaranju novih dobara koja treba da obezbede egzistenciju čoveka i povećanje njegovog blagostanja. U uslovima opšte konkurencije na tržištu, svaka industrija mora da ima sigurnost da će stalno usavršavati poslovanje (proces i proizvod) u skladu sa zahtevima kupaca. Ona ne bi mogla da opstane bez Tehničkog razvoja koji predstavlja kreativno jezgro sadašnjosti i budućnosti preduzeća. Razvoj u sebi sadrži istraživačko razvojnu komponentu koja pomaže da se proizvod ili proces shvati i intelektualno osvoji, da se isti unapređuje i u svakom trenutku bude konkurentan na tržištu. Takođe je potrebno da se u svakom momentu raspolaže sposobnim, stručnim i kreativnim kadrovima koji mogu da ponude rešenja preduzeću u slučaju poremećaja na tržištu. Drugim rečima, Tehnički razvoj predstavlja pokretačku snagu preduzeća koja vrši plansko i sistematsko stvaranje i permanentno usavršavanje proizvoda po principima usmerene evolucije promena.

Proces razvoja sastoji se od niza tehničkih koraka kojima se, kroz transformaciju informacija od početne ideje do konstruktivne dokumentacije za konačan proizvod, postižu ciljane promene materijala, energije i informacionih tokova. Za slučaj složenog proizvoda kao što je automobil, odvija se u uslovima čvrstog i organizovanog sistema širokog spektra privredno-tehničkih i ekonomskih informacija, sa razgraničenim fazama koje su pokazane na slici 1.

Kompleksan zadatak razvoja rasčlanjen je na pojedinačne probleme u predviđen logičan redosled u njihovom izvršavanju. Postavljeni vremenski sled, sa definisanim rokovima, predstavlja čvrsto pravilo koga se moraju pridržavati svi učesnici u lancu. Koordinaciju svih aktivnosti i odgovornosti za realizaciju zadatka vrši Rukovodilac projekta.



Slika 1. Proces tehničkog razvoja [2]

Prema prikazanom sadržaju aktivnosti na slici 1 očigledno je da se radi o misaono stvaralačkom procesu multidisciplinarnog karaktera, koji se odvija uz učešće stručnjaka različitih profila, sa ekspertnim znanjima i odgovarajućim bazama podataka različitih struktura. Globalno posmatrano, ne postoji čovek kao pojedinac koji može

specijalistički kompetentno da pokriva sve zastupljene oblasti u procesu razvoja proizvoda, niti da ih stručno koordinira. Zbog toga je neophodno uspostaviti principe timskog rada po hijerarhijskim nivoima sa potrebom sinergijskog objedinjavanja rezultata u zajednički cilj. Iz ovoga proizilazi da funkcija Razvoja proizvoda u osnovi funkcioniše po principu timskog rada, pri čemu pojedinačne timove predstavljaju specijalizovane službe. Pri tome, u slučaju parcijalno iskrsllog problema nad kojim brzo treba reagovati, formira se poseban tim sa oročenim zaduženjem.

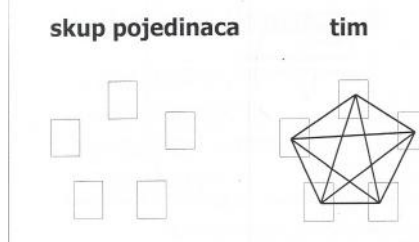
2. TIMSKI RAD U FUNKCIJI RAZVOJA PROIZVODA

Timski rad predstavlja sposobnost grupe ljudi da dobro rade zajedno. To je ključna komponenta produktivnosti, efektivnosti, zadovoljstva poslom i rezultata preduzeća. Krajnji cilj timskog rada je objedinjavanje znanja, kreativnosti i veština različitih ljudi, radi iznalaženja najboljih rešenja i odluka. Timsko odlučivanje traje duže, ali je mnogo efektivnije (velika je verovatnoća da su odabrana prava rešenja i doneta dobra odluka). Uključivanjem ljudi koji su neophodni u lancu sprovođenja i pristupom da su i oni deo odluke, sprovođenje ide sa manje problema. Zbog toga za kompleksne probleme u razvoju proizvoda i strateške odluke po preduzeće, ukupna efektivnost i efikasnost timskog rada se ostvaruje sa najvišim garancijama. Konačna rešenja ili odluke se donose po principu argumentovanog kompromisa ponuđenih rešenja i konsenzusa svih ušesnika u timu. Na taj način se afirmiše stručni rad u preduzeću i eliminišu birokratski principi donošenja značajnih odluka isključivo autoritetom moći ili funkcije.

Preduslov za dobar timski rad je dobro formiran tim, a vrednost tima se meri veličinom komplementarnih znanja i veština članova tima na istom zadatku. Tim se ne može izgraditi jednostavnim okupljanjem grupe stručnih pojedinaca na rešavanju određenog problema. Da bi se od grupe napravio tim, potrebni su specifični preduslovi kao što su: liderstvo, zajednički cilj, posedovanje visoko izražene emocionalne inteligencije EI pojedinaca kao lične predispozicije za timski rad (ili visoka obučenost za timski rad) itd. Razlika u načinu funkcionisanja skupa pojedinaca (ukupno 5) i tima na istom zadatku prikazana je na slici 3. Uočava se da u prvom slučaju svaki pojedinac deluje individualno, a u slučaju tima aktivnosti se odvijaju spregnuto (svako sa svakim).



Slika 2. Timski rad



Slika 3. Organizacija rada grupe i tima

Posmatrano preko parametara angažovanja, prema [3], razlike mogu da se izraze na sledeći način:

	Skup pojedinaca	Tim
Cilj:	Dele informacije	Zajednička delovanja
Sinergija:	Neutralna ili negativna	Pozitivna
Odgovornost	Individualna	Individualna i zajednička
Veštine	Različite	Uzajamno dopunjene

Karakteristike uspešnog tima mogu da se definišu kroz sledeće ključne parametre:

- zajednički cilj
- poverenje i uzajamno uvažavanje
- tolerancija
- delotvorno komuniciranje
- jasno podeljene uloge i odgovornosti
- permanentno usavršavanje
- sinergijski efekti višestruko veći od prostog zbira učinaka pojedinačnih članova

3. IZBOR KADROVA ZA FUNKCIJU RAZVOJA PROIZVODA I FORMIRANJE TIMOVA

Kako funkcija razvoja proizvoda sadrži i elemente istraživanja, to kadrove treba odabirati po principu izbora istraživača za timski rad. Težišni kriterijum za odabir kadrova u prošlosti su bili: stručnost, profesionalne veštine i kreativnost, dok se manje pažnje poklanjalo karakterima ljudi.

Obzirom na brze promene koje se odvijaju u svim sferama savremene civilizacije i iskazanu potrebu timskog rada u cilju blagovremenog učestvovanja u promenama, savremena industrijska psihologija sve više poklanja pažnje faktoru emocionalne inteligencije EI ili EQ, kao pedispoziciju za timski rad.

Emocionalna inteligencija je lični potencijal da se oseća, koristi zajedničkom cilju, prepoznaje, pamti, uči o, upravlja i razumeju emocije. Ona ukazuje na vrstu veštine koja uključuje mogućnost da se uvide, procene i pozitivno utiče na emocije drugih ljudi. Svaka beba se rađa sa potencijalom za emocionalnu osetljivost, emocionalnu memoriju, emocionalnu obradu i emocionalno učenje. Ovo su četiri urođene komponente koje sačinjavaju jezgro čovekove emocionalne inteligencije [4]. Emocionalno inteligentni ljudi znaju razliku između racionalnih misli i emocija. Oni koriste svoja osećanja zbog pomoći u donošenju odluka. Pokazuju poštovanje prema mišljenjima i emocijama drugih ljudi, ne savetuju, ne komanduju, ne kritikuju, ne sude i ne drže drugima predavanja. Umesto toga oni se trude da slušaju, sa empatijom i neosuđivanjem, ohrabruju i ukazuju na ono što je dobro. U takvom pristupu sagovornik će sam doći do onoga što je loše i trudiće se da to ispravi.

Na prvi pogled, navedene osobine mentalnog sklopa ličnosti se mogu sresti samo u literaturi, što ne može da se prihvati kao tačno. Ukoliko nisu urođene ili pravilno odnegovane, one moraju da budu stvorene kod zaposlenih posebnom obukom za timski rad u okviru preduzeća. U protivnom, timskog rada neće biti, jer nismo stvorili tim u saglasju sa svojim osnovnim načelima. Ukoliko stavimo grupu ljudi sa visokim IQ i niskim EQ u jednu službu razvoja ili jedan tim, taj tim će sigurno propasti, a korist od količine profesionalnog znanja, veština i iskustva će biti smanjena ili uništena zbog nedostatka komunikacije i saradnje.

Talentovani pojedinci su uvek poželjni i u timskom radu i često bolje iskorišćeni. Iako su nosioci ideja, svesnost o zajedničkom cilju ih usmerava na konstruktivnu saradnju sa ostalim članovima tima, bez izazivanja konflikata. Za svakog inženjera, sposobnost da radi kao deo tima je osnovna veština savremene industrije. Zbog toga, obuka zaposlenih u razvoju je osnova za ostvarivanje dobrih rezultata i uspeh preduzeća. Svesnost o ovome moraju posedovati rukovodioci službi i sam direktor u funkciji razvoja. Oni su upravo ta struktura koja brine o organizaciji posla i nose odgovornost za uspešnu realizaciju zadataka. Zbog toga moraju da poseduju visok stepen poznavanja organizacije i mehanizama timskog rada.

Uspostavljanje timskog rada predstavlja savremen menadžerski pristup efikasnog i efektivnog organizovanja kreativnog rada koji uključuje tri spregnuta aspekta:

- Radni zadatak, njegova složenost i profesionalni problemi za njegovu realizaciju
- Postavljanje organizacije procesa timskog rada i utvrđivanje mehanizama prema kojima grupa ljudi deluje kao celina
- Izbor pojedinačnih članova tima prema stručnim potrebama radnog zadatka, sa personalnim predispozicijama za timski rad.

Svako pitanje je podjednako važno i samo iznalaženjem dobrih rešenja za svako od njih, stvara se preduslov za dobar timski rad sa sinergijskim vrednostima mnogo puta većim od zbira vrednosti pojedinaca u timu.

Tokom poslednjih pedeset godina istraživači grupne dinamike u menadžmentu su postavili i usavršili organizacijske osnove timskog rada, sa svim mehanizmima povezanosti procesa i njegovim prednostima u odnosu na tvrdi organizacijsku strukturu u preduzeću. Objavljeni rezultati B. Takmana (Bruce Tuckman) iz ove oblasti 1965. godine predstavljaju temeljne principe. Između ostalog, definisani su različiti testovi za profesionalno ocenjivanje pogodnosti ličnosti za timski rad. Umesto toga, ovde se daje upitnik za autotestiranje po skraćenom postupku prema [4], koji istovremeno može da posluži rukovodiocu za procenu svojih saradnika pod uslovom da ih dobro poznaje:

Da li ste potajno ubeđeni u svoju intelektualnu superiornost? Uplašeni ste da odate svoje ideje? Volite da slušate sebe dok pričate? Suviše ste zauzeti važnim ljudima, da biste uživali u ćaskanju sa svojim kolegama? Ponekad ste suviše nestrpljivi da slušate? Niste baš velikodušni sa komplimentima? Nema potrebe da se uči više? Dovoljni ste sami sebi, a u saradnji sa drugima se uključujete samo do granica interesa svoga posla?

Potvrđni odgovori na postavljena pitanja uzrokuju sledeće konstatacije: Ne razmatrajte mogućnost da radite u grupi. Vaši zaposleni ili kolege Vas jednostavno ne mogu iskoristiti u svom timu. Čak i sa vašim izrazitim IQ, životnim iskustvom i visoko cenjenim profesionalnim veštinama. Tim Vas može iskoristiti kao spoljni izvor informacija, ali ne kao učesnika. Čak i kad to uopšte nije Vaša namera upropastavate kreativni proces, mogućnost da grupa efikasno radi i sinergijsku vrednost grupe. Za Vas možda ima nade samo pod uslovom da završite obuku za timski rad.

4. ZAKLJUČAK

- Timski rad je ključna komponenta produktivnosti, efektivnosti i dobrih rezultata preduzeće
- Timski pristup omogućava afirmaciju stručnog rada i najbržeg iznalaženja kvalitetnih rešenja,
- Obuka za timski rad zaposlenih predstavlja realnu potrebu uspešnog preduzeće, a elementi emocionalne pismenosti preduslov za timski rad

5. LITERATURA

1. Gnedenko, B. V. : Uvod u struku: Matematika, DSP-mecatronic, Kragujevac, 1996.
2. Simić, D.: Metodologija nauke i tehnički razvoj, DSP-mecatronic, Kragujevac, 1997.
3. Privredna Komora Srbije: Timski rad – seminar, Beograd, 2003.
4. Brussel, V. A. : The Key to successful team work, Motauto '05, Trnovo



ANALIZA MOGUĆNOSTI ZADOVOLJENJA HOMOLOGACIJSKIH PROPISA PRI PROIZVODNJI MOTORNIH VOZILA

B. Krstić¹⁾

Apstrakt: Da bi se postigao odgovarajući nivo obezbeđenja zahteva koji se postavljaju pred vozilima uvode se odgovarajući propisi. Vozila koja se već koriste moraju da zadovolje saobraćajne propise. Novoprodukcija vozila moraju da zadovolje homologacijske propise. Njima je u radu posvećena posebna pažnja, uz ukazivanje na probleme koji se javljaju u praksi.

Ključne reči: motorna vozila, homologacijski propisi, proizvodnja

1. ZAHTEVI KOJI SE POSTAVLJAJU PRED VOZILA, PROPISI I ZAKONSKA REGULATIVA U OBLASTI VOZILA

1.1. Zahtevi koji se postavljaju pred vozila

Zahtevi koji su uslovljeni klasom i kategorijom vozila a koji se postavljaju pred vozilima najčešće se svrstavaju u tri grupe : opšti, eksploatacioni i zahtevi vezani za bezbednost.

Opšti zahtevi koji se postavljaju pred vozilima su: Vučno dinamička svojstva; Unifikacija sklopova i delova; Zadovoljenje standarda i drugih zakonskih regulativa; Mogućnost modifikacija bez velikih ulaganja; Aerodinamičnost, estetičnost i funkcionalnost karoserije; Funkcionalnost, ekonomičnost i kompaktnost gradnje i niski troškovi proizvodnje; Što veći odnos ukupne i sopstvene mase; Pouzdanost, otpornost na zamor, koroziju i habanje; Komfor sa aspekta buke, vibracija, ventilacije, upravljanja, grejanja; Dobra upravljivost i držanje puta; Mali specifični pritisak točkova na podlogu.

Eksploatacioni zahtevi koji se postavljaju pred vozilima su: Što niži troškovi korišćenja; Što bolje iskorišćenje nosivosti; Što veće srednje brzine kretanja; Što manji troškovi održavanja; Minimalna potrošnja goriva i maziva; Minimalan broj mesta i vremena podmazivanja i podešavanja; konstrukcija mehanizama i elemenata koja eliminiše mogućnost pojave neispravnosti pri rukovanju; Lak pristup svim mestima za opsluživanje; Lakoća i brzina utovara i istovara; Lako sklapanje i rastavljanje sklopova pri opravkama.

Zahtevi vezani za bezbednost koji se postavljaju pred vozilima su: Funkcionalnost, efikasnost i pouzdanost sistema za kočenje i upravljanje; Visoka stabilnost kretanja u svim uslovima; Dobra upravljivost; Funkcionalnost sistema za osvetljavanje

¹⁾ Dr Božidar V. Krstić, red. prof. Mašinski fakultet, Kragujevac, bkrstic@kg.ac.yu

puta i za čišćenje vetrobranskog stakla; Preglednost i vidljivost sa vozačkog sedišta; Funkcionalnost signalnih uređaja; Udobnost i podešljivost vozačkog sedišta; Obezbeđenje zaštitne zone za svakog putnika; Primena sigurnosnih stakala; Konstrukcija školjke koja obezbeđuje zaštitu putnika u slučajevima havarije i lako napuštanje vozila; Konstruktivna rešenja koja zaštićuju putnički prostor u slučaju sudara ili prevrtanja; Što manji uticaj vozila na okolinu ali i njegovu što veću uočljivost u svim vremenskim uslovima.

Predhodno navedeni zahtevi često su suprotni jedan drugom. Iz tog razloga se pri projektovanju čine kompromisi u stepenu zadovoljenja pojedinih zahteva (npr. zahtev za visokom specifičnom snagom suprotan je zahtevu iskorišćenja atezione mogućnosti podloge i maksimalno dozvoljene mase vučnog sprega i osovinskog opterećenja).

Kvalitet vozila i klasu vozila određuje uspešnost optimizacije kompromisa ovih zahteva.

Kvalitet vozila se ocenjuje najčešće preko: performansi, pouzdanosti, ekonomičnosti i bezbednosti. Uspešnost izvršavanja osnovnih funkcionalnih zadataka vozila iskazuje se preko performansi. Pouzdanost je svojstvo vozila, koje se sastoji u njegovoj sposobnosti da ispuni određene zadatke u datim uslovima korišćenja. Ekonomičnost obuhvata sve one komponente koje se odnose na ekonomsku opravdanost korišćenja vozila. Bezbednost obuhvata komponente sigurnosti pri korišćenju vozila sa stanovišta vozača i putnika ali i tereta koji se prevozi, kao i okoline. Zahtevi koji se postavljaju pred vozilo zavise prvenstveno od: klase, kategorije, vrste, namene, tipa vozila, uslova korišćenja, tehnologije izrade i kupovne moći. Korisnik vozila opredeljuje se za vozilo sa : Dobrim transportnim učinkom; Većom dinamičnošću; Ekološkom podobnošću (buka, emisija,...); Pogodnošću za rukovanje i održavanje; Visokom pouzdanošću; Povoljnom cenom.

Zahtevi koji se postavljaju pred nekim delovima vozila

Pred svakim delom vozila postavljaju se određeni zahtevi koje on mora da zadovolji da bi se mogao koristiti u vozilu. Navedimo primer pogonskog motora.

Pogonskom motoru, koji u najvećoj meri utiče na većinu zahteva korišćenja vozila, potrebno je posvetiti posebnu pažnju u toku čitavog njegovog životnog ciklusa (od razvoja do otpisa). Kada se postavi pitanje koja je maksimalna snaga motora potrebna za primenu na vozilima onda se mora imati na umu da današnja ograničenja ukupne mase od 40t ne zahtevaju motore veće snage od 350 kW odnosno približno 9 kW/t. Primena ovako snažnih motora je ipak na manjem broju vozila. Primena motora većih snaga zahtevaju ugradnju u vozila više pogonskih osovina, sa ciljem maksimalnog iskorišćenja adhezionih mogućnosti tla. Pri primeni motora sa visokom litarskom snagom koja se dobija pri relativno maloj radnoj zapremini motora dolazi do izražaja nedostatak snage kočenja motorom. Taj nedostatak pokušava se otkloniti primenom tzv. retardera. Primena klasične motorske kočnice u izduvnoj grani motora nije se pokazala kao efikasno rešenje kod motora manjih zapremina, visoke snage, a za vozila veće ukupne mase. Cilj proizvođača je napraviti vozilo sa što manjom masom, sa što većom nosivošću, odnosno sa većim kapacitetom. Na osnovu proračuna, za ovakva vozila, dolazi se do zaključka kakav motor treba da bude ugrađen. Pitanje pouzdanosti i veka trajanja motora je posebno interesantno.

Pogonski motor vozila treba da zadovolji sledeće zahteve : Visoka specifična snaga; Maksimalni moment na nižem broju obrtaja; Niži nominalni broj obrtaja; Velika elastičnost; Ekološka podobnost (zadovoljenje zahteva buke i zahteva gasne emisije); Kompaktnost gradnje; Što manja masa; Što lakši za održavanje (pogodnost održavanja); Što jeftiniji. Vođice ventila, sobzirom na teške uslove eksploatacije,

moraju da ispunjavaju sledeće zahteve: Velika otpornost na habanje ; Koeficijent zapreminskog širenja sličan koeficijentu materijala glave motora ; Dobar koeficijent provodljivosti toplote ; Visoka klasa glatkoće površina i tačnost izrade ; Stabilna struktura pri različitim temperaturama.

2. PROPISI I ZAKONSKA REGULATIVA U OBLASTI VOZILA

Da bi se postigao odgovarajući nivo obezbeđenja predhodno navedenih zahteva uvode se odgovarajući propisi. Nastanak prvih propisa, koje vozilo treba da zadovolji, ne treba vezivati za pojavu prvog vozila. Za prva vozila nisu postojala nikakva ograničenja, već su ona imala samo osnovne sisteme neophodne za kretanje, zaustavljanje i upravljanje vozilom. Sa porastom broja proizvedenih vozila, saobraćaj na putevima je bio sve gušći a do nezgoda je dolazilo sve češće. Zbog toga su proizvođači bili prinuđeni da se ozbiljnije pozabave problematikom bezbednosti saobraćaja. Tako je došlo do donošenja prvih propisa koji su imali za cilj povećanje bezbednosti učesnika u saobraćaju. Prve propise definisali su proizvođači. Kako proizvođači vozila nerado postavljaju sami sebi ograničenja, jer to dovodi do poskupljenja proizvodnje, a samim tim i vozila, formirana su udruženja zemalja koja imaju zadatak da rade na donošenju odgovarajućih propisa. Prvi propisi tih udruženja odnosili su se na pogonski motor, sistem za upravljanje i sistem za kočenje. Danas se sve veća pažnja poklanja propisima koji se bave problematikom buke i izduvne emisije. Razlikuju se saobraćajni i homologacijski propisi. Vozila koja se već koriste moraju da zadovolje saobraćajne propise, dok novoprodukcija vozila moraju da zadovolje homologacijske propise.

2.1. Homologacijski propisi

Homologacijske propise izdaje odgovarajuće udruženje zemalja. Svaka zemlja članica ima obavezu da sprovede ove propise. Ostale zemlje ne mogu izvoziti svoja vozila u zemlje članice ovog udruženja ukoliko ona ne zadovoljavaju propise izdate od strane ovog udruženja.

U Evropi postoje dva udruženja koja izdaju homologacione propise : Prvom udruženju pripadaju sve zemlje Evrope, i ono je formirano na nivou Ujedinjenih nacija (ECE), sa sedištem u Ženevi; Drugom udruženju pripadaju zemlje Evropske unije (EEC), sa sedištem u Briselu. Nacionalni propisi se donose na nivou država, i ona ih definiše zavisno od svojih potreba i mogućnosti. SAD i Japan imaju svoje propise, koji su uglavnom strožiji od evropskih. Svi pravilnici, donešeni od strane ECE udruženja nose oznaku "E" a pored ove oznake dodaje se broj koji označava zemlju članicu ovog udruženja. Svaka zemlja, članica udruženja zadržava pravo da prihvati pravilnik ali da sa njegovim sprovođenjem otpočne kroz izvestan period. Do sada je izdato veći broj ovakvih pravilnika (120). Sve direktive, donešene od strane EEC udruženja nose oznaku "e". Svaka direktiva ima svoj broj (npr. direktiva broj 84/124 znači da je direktiva donešena 1984. godine a 124 je redni broj direktive).

Da bi neka laboratorija mogla da ispituje vozilo, u pogledu zadovoljenja homologacijskih propisa, mora da bude akreditovana od odgovarajuće državne ustanove. Svaka zemlja, članica ECE udruženja ima prijavljen tehnički i administrativni servis. Tehnički servis vrši laboratorijska ispitivanja na osnovu kojih administrativni servis izdaje saopštenje o homologaciji (certifikat).

Zahtev za homologaciju vozila podnosi se ovlašćenoj instituciji na odgovarajućem obrascu te institucije. U njemu se unose sledeći podaci : podaci o podnosiocu zahteva (naziv i adresa proizvođača), broj pravilnika po kome se želi izvršiti

homologacija, tip vozila (ili sistem koji se želi homologirati), izjava o preuzimanju obaveza koje proizilaze iz postupka sprovođenja međunarodnog sporazuma o usvajanju jednoobraznih uslova za homologaciju vozila, zahtev potpisan od strane ovlašćenog lica. Ovlašćena institucija prosleđuje zahtev ovlašćenoj laboratoriji. Laboratoriji se stavlja na raspolaganje reprezentativno vozilo, i ona vrši proveru vozila prema dostavljenoj dokumentaciji. Na osnovu izvršenih ispitivanja ovlašćena laboratorija sačinjava izveštaj koji dostavlja ovlašćenoj instituciji. Ukoliko je izveštaj pozitivan izdaje se saopštenje o homologaciji (certifikat ili atest).

Postoji određen broj Direktiva EEC, za koje ne postoje odgovarajući ECE Pravilnici. Navedimo neke od njih: Homologacija tipa motornog vozila i njihovih prikolica (M,N,O): 78/547, 87/358, 87/403, 78/315; Rezervoar za gorivo i zadnji zaštitni uređaji motornih vozila i njihovih prikolica (M,N,O): 70/221,81/333; Prostor za montažu zadnje registarske tablice na motornim vozilima (M,N,O): 70/222; Tablice proizvođača na motornim vozilima (M,N,O): 76/114; Putna ispitivanja motornih vozila (M,N,O): 77/148, 88/483; Uređaji za vuču motornih vozila pri otkazu (M,N): 77/389; Vidno polje vozača motornog vozila (M1): 77/649, 81/643; Unutrašnja oprema motornog vozila (M,N): 78/316; Uređaj za odmrzavanje stakala (M1): 78/317; Uređaj za pranje i brisanje vetrobrana (M1): 78/318; Grejanje kabine motornih vozila (M1): 78/548; Blatobrani (M1): 78/549; Masa, dimenzije i neke druge karakteristike motornih vozila (L,M,N,O): 88/218, 89/460; Bočna zaštita nekih motornih vozila (M2,N3,O3): 89/297; Dubina gazećeg sloja na pneumaticima nekih kategorija motornih vozila (M1,N1,O1): 89/459; Sistem za prigušivanje jačine rasprskavanja vode od pneumatika na vozilima u kretanju 91/226.

Navedimo neke jednoobrazne propise za ispitivanje i sprovođenje obavezne homologacije opreme i delova motornih vozila, koji su obuhvaćeni odgovarajućom Naredbama o obaveznoj homologaciji kod nas, u pogledu: Brava i uređaja za pričvršćivanje vrata (prema ECE R.11, Službeni list SFRJ 59/90); Kočenja (prema ECE R.13, Službeni list SFRJ 54/85, 26/89); Priključaka za sigurnosne pojaseve u putničkim automobilima (prema ECE R.14, Službeni list SFRJ 4/85); Zaštite od neovlašćene upotrebe (prema ECE R.18, Službeni list SFRJ 11/85, 1/87, 23/88); Unutrašnje opreme (prema ECE R.21, Službeni list SFRJ 70/90); Zaštitne kacige za vozače bicikla sa motorom i motocikla i putnike na tim vozilima (prema ECE R.22, Službeni list SFRJ 18/88); Svetla za vožnju unazad za motorna vozila i njihove prikolice (prema ECE R.23, Službeni list SFRJ 59/90); Dizel motora u pogledu vidljivih gasovitih zagađivača, motornih vozila u pogledu ugradnje homologovanog dizel motora, jednoobrazni propisi za merenje snage dizel motora (prema ECE R.24, Službeni list SFRJ 11/85, 1/87); Naslona za glavu na sedištima motornih vozila (prema ECE R.25, Službeni list SFRJ 59/90); Spoljašnih ispusta (prema ECE R.26, Službeni list SFRJ 70/90); Uređaja za upozorenje, kao i motornih vozila u pogledu zvučnih signala (prema ECE R.28, Službeni list SFRJ 60/86); Pneumatika za putnička vozila i njihove prikolice (prema ECE R.30, Službeni list SFRJ 43/83); Rasporeda nožnih komandi (prema ECE R.35, Službeni list SFRJ 59/90).

3. PRIMER IZ PRAKSE PO PITANJU ZADOVOLJENJA HOMOLOGACIJSKIH PROPISA POGONSKOG MOTORA

Posle pređenih 64218 km, odnosno posle 3,5godina eksploatacije vozila marke Zastava Jugo Koral 60, veštak je dobio zadatak od strane suda da utvrdi činjenično stanje po pitanju zadovoljenja homologacijskih propisa za njegovu klipnu grupu. Iz

servisne knjižice vozila moglo se zaključiti da je, saglasno garantnim normama proizvođača, nad predmetnim vozilom obavljen „A“⁴-servis i servis na 10.000 pređenih kilometara u propisanim terminima. Vlasnik vozila izvršio je reklamaciju određenih nedostataka posle pređenih 12856 km, a na osnovu radnog naloga ovlašćenog servisa. Iz predmetnog radnog naloga se moglo videti koji su nedostaci evidentirani i koje su mere preduzete. Po pitanju reklamacije povećane potrošnje ulja u motoru, u predmetnom radnom nalogu konstatovano je sledeće: «Po podacima Servisa zaptivenost sklopa klip-cilindar je preko normativa za pređenu kilometražu». Izvršena je izgradnja motora i njegova revizija. Vlasnik vozila je tužio proizvođača vozila, kada je u okviru tužbe naveo tužbene zahteve koji se odnose na intervencije izvršene po radnom nalogu, što se tiče motora. Sagleđavajući kompletnu predmetnu problematiku (stvarno stanje na vozilu i priloženu dokumentaciju) mogle su se uočiti sledeće činjenice: U okviru otklanjanja neispravnosti, po pitanju reklamacija koja se odnose na predmetni motor, izvršena je ugradnja segmenata-hilzni u blok motora (izvršeno je tzv. hilzovanje motora). Proizvođač motora proizvodi motore 128-A-064 sa ugrađenim košuljicama cilindra (hilznama) za prvu ugradnju (proizvođač motora je zvaničnim dokumentom to potvrdio i naveo spisak vozila proizvedenih u prvoj ugradnji sa motorima sa hilznama. Taj broj je bio izrazito veliki). Homologacija predmetnog motora, a koja se odnosi na ECE pravilnik 85, u vezi sa snagom motora, je izvršena, a odnosi se na njegove karakteristike, prvenstveno snagu i obrtni moment. Ovaj pravilnik (ECE pravilnik) usvojen je u SRJ pod nazivom Naredba o obaveznoj homologaciji motora sa unutrašnjim sagorevanjem koji služe za pogon motornih vozila kategorije M i N u pogledu merenja neto snage.

Saglasno ovom ECE pravilniku postoje i EEC direktive: 80/1269; 88/195; 89/491; 97/21 i 1999/99. Kao dokaz mogu se navesti: Homologacija u pogledu merenja neto snage prema ECE pravilniku 85; Pregled karakteristika koje za motor sus proverava ovlašćena institucija i na osnovu njih izdaje određeni atest.

U okviru garancije proizvođača predmetnog vozila, koju je pri kupovini vozila dobio vlasnik, između ostalog stoji: Pored obaveza iz garancije koje prema kupcu ima po Zakonu, a koje su predviđene u normama garancije, proizvođač daje kupcu: Dopunsku garanciju za sklopove motor-menjač-diferencijal, koja traje od datuma isteka garancije, do isteka dve godine, računajući od datuma prodaje automobila kupcu. Ova garancija se odnosi na neispravnosti sklopova i njima pripadajućim delovima koji su definisani Katalogom garancije proizvođača, a izazvani su defektima u materijalu (poroznost, havarije, naprsline, nenormalna istrošenja) ili u proizvodnji (dimenziono odstupanje, izvlačenje, greške u livenju i sl.).

Na osnovu svega predhodno iznetog može se konstatovati sledeće: Pošto je katalogom garancije i normativa vremena Zastava automobili propisana operacija mašinska obrada sa ugradnjom košuljica, usled neispravnosti habanja i oštećenja, u garantnom roku, saglasno važećoj garanciji moguće je bilo izvršiti ove operacije na predmetnom motoru u garantnom periodu. Predhodno navedenom treba dodati i činjenicu da proizvođač motora, kao nosilac garancije, poseduje varijante predmetnog motora (sa ili bez hilzni) tako da se mogu ravnopravno proizvoditi i ugrađivati u vozila. Ako se uzme u obzir i činjenica da se sa takvim motorom prodaju ovakva vozila istog proizvođača, onda tim pre je ovu operaciju bilo moguće realizovati u garantnom periodu. Ugradnjom segmenata-hilzni, ne smanjuje se vek trajanja motora, niti umanjuje kvalitet vozila. Postupak homologacije motora, prema pravilniku ECE 85, odnosi se na utvrđivanje usaglašenosti konstruktivno definisanih, i na uzorcima izvedenih geometrijskih karakteristika vitalnih delova motora, i posledično osnovnih izlaznih parametara motora, prvenstveno u vezi sa snagom i momentom motora.

Postavljaju se sledeća pitanja: Prvo - Da li je motor, posle sprovedenih proizvodnih operacija mogao da da one izlazne karakteristike koje su propisane određenim pravilnikom, prema kome je izvršena homologacija? Odgovor na ovo pitanje može biti samo pretpostavka, a nikako i dokaz jer ne postoji dokaz da su merene izlazne karakteristike motora, koje on mora da zadovolji prema određenim pravilnicima. Drugo – Da li se utvrđivanjem tehničkog stanja klipne grupe motora posle 3,5 godina eksploatacije, odnosno posle pređenih 12856 km, može sa zadovoljavajućom sigurnošću tvrditi, ili osporiti, da su posle sprovođenja proizvodnih operacija tzv. „hiznovanja motora“ zadovoljeni bili homologacioni propisi. Na ovo pitanje jako teško je dati zadovoljavajući odgovor, posebno ako se ima u vidu da na stanje klipne grupe, tokom procesa realne eksploatacije, utiče veliki broj uticajnih faktora. U takvoj situaciji, ko je bio u pravu – proizvođač ili kupac. Proizvođač se pravno zaštitio sadržajem garancije, koju kupac najverovatnije pri kupovini vozila ili nije pročitao, ili nije pravilno prihvatio njen sadržaj. Međutim, da li je proizvođač korektan prema kupcu, ako je vozilo prodato kupcu bez ugrađenih segmenata, a u garantnom roku, zaštićen paragrafima garancije sprovodi bukvalno operacije korektivnog održavanja-ugradnju segmenata u klipnoj grupi. Da li je to tzv. industrijsko remontovanje motora i koji se kvalitet postiže njegovom realizacijom? Taj kvalitet–zadovoljenje određenih homologacijskih propisa (ako se uopšte u ovakvom slučaju može govoriti o ovim propisima koji se odnose samo na novoprodukciju vozila), u svakom slučaju, trebalo je da se dokaže ispitivanjem na probnom stolu.

4. ZAKLJUČAK

Zahtevi koji su uslovljeni klasom i kategorijom vozila a koji se postavljaju pred vozilima najčešće se svrstavaju u tri grupe : opšti, eksploatacioni i zahtevi vezani za bezbednost. Da bi se postigao odgovarajući nivo obezbeđenja predhodno navedenih zahteva uvode se odgovarajući propisi. Razlikuju se saobraćajni i homologacijski propisi. Vozila koja se već koriste moraju da zadovolje saobraćajne propise, dok novoprodukcija vozila moraju da zadovolje homologacijske propise.

Za konkretan navedeni primer iz prakse, po pitanju kvaliteta klipne grupe motora sus, koji je trebao da utvrdi posle 3,5 godina eksploatacije vozila, veštak je imao izrazito težak zadatak. Da li je mogao da odgovori na to pitanje? Proizvođač se pravno zaštitio sadržajem garancije, koju kupac najverovatnije pri kupovini vozila ili nije pročitao, ili nije pravilno prihvatio njen sadržaj. Međutim, da li je proizvođač korektan prema kupcu, ako je vozilo prodato kupcu bez ugrađenih segmenata, a u garantnom roku, zaštićen paragrafima garancije, sprovodi bukvalno operacije korektivnog održavanja-ugradnju segmenata u klipnoj grupi. Da li je to tzv. industrijsko remontovanje motora i koji se kvalitet postiže njegovom realizacijom? Taj kvalitet–zadovoljenje određenih homologacijskih propisa (ako se uopšte u ovakvom slučaju može govoriti o ovim propisima koji se odnose samo na novoprodukciju vozila), u svakom slučaju, trebalo je da se dokaže ispitivanjem na probnom stolu. Dokazivanje kvaliteta, posle određenog perioda eksploatacije vozila (u ovom slučaju posle pređenih 12856 km) je vrlo diskutabilno.

LITERATURA

1. ECE pravilnici i EEC directive
2. B. Krstić: Eksploatacija motornih vozila i motora, MF, Kragujevac, 1997.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

METODOLOŠKI POSTUPAK IZBORA NAZIVA NOVOG MODELA AUTOMOBILA - NA PRIMERU MODELA «ZASTAVA FLORIDA» -

B. Najdanović¹⁾

Rezime: Dosadašnje iskustvo pokazuje da se nezavisno od izabrane metodologije, razlikuju četiri osnovne faze izbora i selekcija naziva novog modela automobila:

- **Analiza** (preliminarna istraživanja marketinga i utvrđivanje opštih i posebnih svojstava naziva novog modela automobila),
- **Sinteza** (stvaranje «sirove liste» naziva koji poseduju utvrđena opšta i posebna svojstva),
- **Selekcija** (formiranje preliminarne liste naziva novog modela automobila prema određenim logičkim i akustičkim kriterijima),
- **Verifikacija** (uklanjanje neprikladnih naziva novog modela automobila, čime se rizik izbora svodi na najmanju meru).

Ključne reči: naziv, automobil, nov model, izbor, faza, selekcija.

METHODOLOGICAL PROCEDURE IN CHOOSING OF NEW AUTOMOBILE MODEL NAME - EXAMPLE «ZASTAVA FLORIDA» -

Abstract: Experience has shown that, regardless to the chosen methodology, there are four basic stages in choosing and selection of the new automobile model name:

- **Analysis** (preliminary marketing research and determination of general and specific features of the new automobile model name),
- **Synthesis** (creating a «crude list» for names of the new automobile model),
- **Selection** (creation of the preliminary list for the names of the new automobile model according to certain logic and acoustic criteria),
- **Verificatio** (removal of inappropriate names for the new automobile model to minimize the choice risk).

Key words: name, automobile, new model, choice, stage, selection.

1. UVOD

Naziv modela je ime automobila, odnosno oznaka pod kojom se proizvodi i prodaje. Kao takav on je sastavni deo njegove komercijalne oznake, koja obuhvata i

¹⁾ Mr Bogić Najdanović, «Zastava automobili» a.d. Kragujevac, Direkcija marketinga, strategy@zastava.net

naziv marke, naziv verzije i dodatne oznake koje se odnose na snagu/zapreminu motora i sistem ubrizgavanja goriva.

Nazivi modela automobila omogućavaju da se oni međusobno razlikuju, odnosno individualizuju i ostvaruju svoj identitet na tržištu.

Označavanje novih modela automobila vrši se slavno ili numerički, a ređe kombinovano.

Danas se pretežno koristi slovno označavanje novih modela, a samo se luksuzni modeli označavaju numerički.

Za nazive novih modela automobila koriste se razni geografski, istorijski, politički, vojni, književni i drugi pojmovi, nazivi biljaka, životinja, novostvorene reči sintetizovane putem kompjutera itd.

Izboru naziva novog modela automobila mora da prethodi takozvani «rešerš», odnosno pretraživanje dokumentacije o zaštićenim nazivima, da bi se utvrdilo da li neki drugi proizvođač automobila već koristi taj naziv.

Ukoliko se utvrdi da ne postoje ograničenja za korišćenje određenog naziva automobila, pokreće se postupak njegove zaštite u zemlji i inostranstvu. Zbog visokih troškova, ova zaštita se vrši samo na najznačajnijim tržištima.

Naziv modela automobila postavlja se na njegovom zadnjem delu, suprotno od oznake marke.

2. IZBOR NAZIVA NOVOG MODELA AUTOMOBILA

Postupak izbora naziva novog modela automobila sastoji se iz četiri osnovne faze:

- analiza,
- sinteza,
- selekcija i
- verifikacija.

2.1 Analiza

Da bi se izvršio adekvatan izbor naziva novog modela automobila, u ovoj fazi najpre se vrše određena preliminarna istraživanja marketinga, a potom definišu opšta i posebna svojstva koja naziv mora da zadovolji. Ova svojstva ujedno služe i kao kriterij verifikacije u kasnijoj istoimenoj fazi.

U okviru preliminarnih istraživanja marketinga, vrši se prikupljanje informacija o:

- potencijalnim kupcima,
- konkurenciji,
- imidžu i tradiciji proizvođača,
- karakteristikama novog modela automobila,
- hijerarhiji motiva pri kupovini automobila,
- nazivima modela domaće i strane konkurencije itd.

Naziv novog modela automobila mora da zadovolji sledeća opšta i posebna svojstva:

- da je originalan,
- da se jednostavno i lako izgovara na stranim jezicima,
- da je kratak, lak za izgovor i čitanje,

- da je pogodan za korišćenje u propagandne svrhe,
- da asocira na osobine automobila,
- da je zvučan,
- da nema negativna ili neželjena semantička značenja,
- da, po mogućnosti, ima samo jedan naglasak,
- da se može pravno zaštititi,
- da izaziva pozitivne asocijacije u vezi sa novim modelom automobila,
- da je simpatičan itd.

U okviru preliminarnih istraživanja marketinga, da bi se utvrdio smer istraživanja naziva «Zastavinog» automobila «Z-103» (radni naziv za model «florida», lansiran 1988. godine), najpre je izvršena analiza njegovih najvažnijih karakteristika.

Zaključeno je da on pripada tržišnom segmentu srednje donje klase automobila, da ima savremen dizajn, aerodinamičnu karoseriju sa petoro vrata, visoko komforan enterijer, da je opremljen benzinskim motorom radne zapremine 1400ccm itd.

U okviru ovih istraživanja analizirana je i praksa označavanja novih modela vodećih proizvođača automobila («Renoa», «Mercedesa», «Pežoa», Fiata, «Folksvagena» itd.).

Takođe su istraženi i nazivi modela domaće i strane konkurencije u kategoriji automobila «Z-103».

Ciljna grupa kupaca ovog automobila definisana je po nekoliko obeležja:

- prihodi domaćinstva,
- zanimanje,
- buduća namena automobila,
- motivi kupovine automobila,
- navike pri kupovini automobila itd.

2.2 Sinteza

U skladu sa utvrđenim opštim i posebnim svojstvima, u ovoj fazi vrši se prikupljanje ideja za naziv novog modela automobila. Na taj način dolazi do stvaranja takozvane «sirove liste» naziva, čije izvore čine:

- brainstorming grupe stručnjaka,,
- pisani izvori (leksikoni, rečnici itd.),
- intuicija,
- metod kombinovanja prefiksa i sufiksa,
- kompjuterska metoda,
- kupovina prava korišćenja određenih naziva,
- korišćenje naziva modela čija je proizvodnja prestala,
- javni konkursi,
- usluge specijalizovanih firmi za istraživanje i izbor naziva novih proizvoda itd.

Faza sinteza ima zadatak da, iz navedenih i drugih izvora, stvori što širu listu naziva koji zadovoljavaju zadata opšta i posebna svojstva.

U postupku kreiranja i izbora naziva za automobil «Z-103» u fazi sinteze generisana je «sirova lista» od 124 naziva do koje se došlo korišćenjem brainstorming grupa, pisanih izvora, predloga zaposlenih, poslovnog rukovodstva, prodajne mreže u zemlji i inostranstvu itd.

2.3 Selekcija

U ovoj fazi formira se preliminarna lista naziva, čija je selekcija izvršena prema određenim pravnim, logičkim i akustičkim kriterijima. Najpre se eliminišu svi poznati nazivi, koji su pravo zaštićeni, kao i oni koji su manje prihvatljivi (s dva ili više suglasnika i slično) itd.

Navedena selekcija može da se izvrši i uz pomoć kompjutera, pri čemu konačnu odluku ipak donosi čovek.

«Prilikom selekcije imena najbolje je ići sistemom lijevka: dok se u fazi kreiranja imena traže ona imena koja odražavaju svaku pojedinačnu karakteristiku proizvoda (uspješnost, rezultate, snagu, sigurnost, ekonomičnost, komparativne tehnološke prednosti, prikladan oblik i sl.), u slijedećim fazama se uspoređivanjem i uklanjanjem traže ona imena koja odražavaju grupe srodnih prednosti, dok se ne dobije ime koje odražava u sebi sve prednosti»²⁾.

U ovoj fazi «sirova lista» naziva za automobil «Z-103» svedena je sa 124 na 22 naziva. U selekciji su pored stručnjaka iz marketinga bili uključeni i predstavnici prodajne mreže u zemlji i inostranstvu i poslovodno rukovodstvo fabrike automobila.

2.4 Verifikacija

U fazi verifikacije vrši se dalje istraživanje «sirove liste» naziva, kako bi se izvršio izbor najprikladnijeg naziva novog modela automobila. U tom cilju, vrši se eliminisanje naziva koji su neadekvatni sa komercijalnog aspekta, imidža koji izazivaju, zvučnosti, lakoće pamćenja i slično.

U fazi verifikacije koriste se psihološke nedirektivne tehnike kao što su:

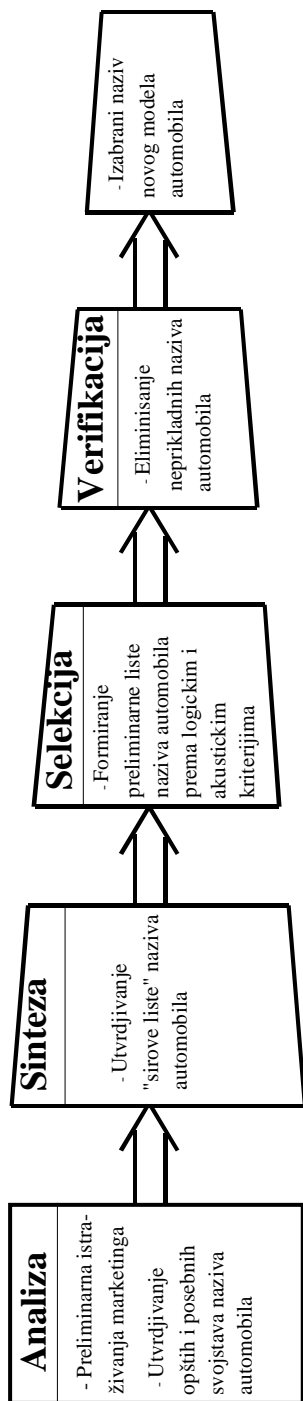
- **Test asocijacije.** – Od ispitanika se zahteva da u što kraćem roku, bez razmišljanja, spontano kaže na šta ga asocira izgovoreni naziv.
- **Rangiranje.** – Zadatak ispitanika je da, u skladu sa postavljenim kriterijima, izvrši komparativno ocenjivanje nekoliko naziva, određivanjem njihovog redosleda.
- **Test nedovršenih rečenica.**– Ispitanik treba, po svom mišljenju, da dopuni neku tvrdnju, koja sadrži naziv koji se testira.
- **Test sekundarnih paralelnih doživljaja.** – Ispitanici treba da procene kvalitet nekog proizvoda pod nekoliko različitih naziva. Pri tome, varijacije odgovora, o različitom kvalitetu istog proizvoda, govore o preferencijama pojedinih naziva za taj proizvod.

Pošto je lista od 22 naziva za automobil «Z-103», formirana u prethodnoj fazi, bila dosta obimna za preciznija merenja, to je tehnikom rangiranja formirana konačna lista od 5 naziva za odlučivanje o nazivu ovog automobila.

Ovi nazivi su sistematski testirani, a konačan naziv je bio «florida»³⁾.

²⁾ Goroslav Keller: U potrazi za novim imenom, "Marketing", br.4/1974, Beograd, strana 29.

³⁾ Ostali predlozi naziva za automobile "Z-103", koji su razmatrani u pojedinim fazama, nisu navođeni jer predstavljaju poslovnu tajnu.



Slika 1. Postupak izbora naziva novog modela automobila

3. ZAKLJUČCI

Naziv modela automobila je ime, odnosno oznaka pod kojom se proizvodi i prodaje.

U praksi automobilske industrije problem označavanja novih modela rešava se na različite načine.

Dosadašnje iskustvo pokazuje da se, nezavisno od izabrane metodologije, razlikuju četiri osnovne faze izbora i selekcija naziva novog modela automobila:

- **Analiza** (preliminarna istraživanja marketinga i utvrđivanje opštih i posebnih svojstava naziva novog modela automobila),
- **Sinteza** (stvaranje «sirove liste» naziva koji poseduju utvrđena opšta i posebna svojstva),
- **Selekcija** (formiranje preliminarne liste naziva novog modela automobila prema određenim logičkim i akustičkim kriterijima),
- **Verifikacija** (uklanjanje neprikladnih naziva novog modela automobila, čime se rizik izbora svodi na najmanju meru).

Danas se pretežno koristi slovnno označavanje novih modela, a samo se luksuzni modeli označavaju numerički.

Za nazive novih modela automobila koriste se razni geografski, istorijski, politički, vojni, književni i drugi pojmovi, nazivi biljaka, životinja, novostvorene reči sintetizovane putem kompjutera itd.

Po završetku izbora naziva novog modela automobila vrši se njegova pravna zaštita na najznačajnijim tržištima.

LITERATURA

- [1] *Keller G.*, U potrazi za novim imenom, «Marketing», br.4/1977, Beograd.
- [2] *Milisavljević M.*, Marka i marketing strategija, «Marketing», br.1/2000, Beograd.
- [3] *Najdanović B.*, Sistemi komercijalnog označavanja automobila, «Direktor», br.5-6/2004, Beograd.
- [4] *Sakan D.*, Psihološki aspekti kreacije i verifikacije imena proizvoda, «Plasman i tržište», br.1/1981, Beograd.
- [5] Tehnike odabiranja imena za nove proizvode, «Plasman i tržište», br.2-3/1981, Beograd.
- [6] Dokumentacija «Zastava automobili»a.d. Kragujevac

MOGUĆNOST AUTOMATIZACIJE PRORAČUNA ZAVRŠNE KARIKE MERNIH LANACA

O. Peković¹⁾

Rezime: U radu je opisana mogućnost automatizacije proračuna završne karike mernih lanaca, kada se za automatsko praćenje i ocenu stabilnosti i tačnosti procesa serijske proizvodnje delova koristi aplikativni softver Gaus SPC.

Ključne reči: automatizacija, proračun, završna karika mernih lanaca, stabilnost i tačnost procesa, statistička kontrola kvaliteta

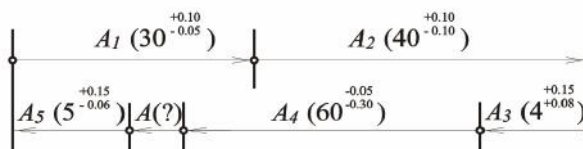
POSSIBLE AUTOMATION OF CALCULATION OF THE FINAL LINK IN A MEASUREMENT CHAIN

Abstract: This work shows possible automation of calculation of the final link in a measurement chain, technological process stability and accuracy and statistical control of quality, by the use of Gaus SPC software for automated monitoring and stability and accuracy evaluation of the process of flow production of parts.

Key words: automation, calculation, final link in a measurement chain, process stability and accuracy, statistical control of quality

1. UVOD

Osnovna karakteristika bilo kog mernog lanca, ali i uslov da bi se on mogao analizirati i proračunati, jeste zatvorenost kontura mera, kao što je to prikazano za menjačku kutiju na slici 1 [2].



Slika 1. Zatvorenost kontura mera mernog lanca

Pojedine mere, koje ulaze u sastav mernog lanca, nazivaju se **sastavnim karikama** A_i ($i=1,2,\dots,n,n+1,n+2,\dots,n+m$), pored kojih svaki merni lanac ima i jednu tzv. **završnu kariku** A (javlja se na kraju tehnološkog procesa obrade i montaže delova). U mernom lancu na slici 2, karike A_1, A_2, A_3, A_4 i A_5 ($n+m=5$) čine sastavne

¹⁾ Obrad Peković, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, obradpek@eunet.yu

karike, a zazor A završnu kariku. Sastavne karike se dalje dele na **uvećavajuće** i **umanjujuće**. Prve se razlikuju od drugih po tome što se sa povećanjem njihovih vrednosti (karike A_1 i A_2 , $n=2$) povećava i vrednost završne karike A , dok se pri povećanju vrednosti umanjujućih karika (karike A_3 , A_4 i A_5 , $m=3$) smanjuje vrednost završne karike A [3].

Za određivanje nominalne vrednosti i tolerancije završne karike mernog lanca (kada su specificirane nominalne vrednosti i tolerancije njegovih sastavnih karika) razvijeno je više metoda, ali se danas najčešće koriste dve: metoda apsolutne zamenljivosti i metoda nepotpune zamenljivosti.

Metoda apsolutne zamenljivosti zasniva se na pretpostavci da je moguća istovremena pojava gornjih graničnih vrednosti uvećavajućih i donjih graničnih vrednosti umanjujućih sastavnih karika mernog lanca (date u specifikacijama), odakle proizilazi da će jednačine za određivanje gornje i donje granične vrednosti završne karike tog lanca imati oblik

$$A_g = \sum_{i=1}^n A_{g_i} - \sum_{i=n+1}^m A_{d_i} \text{ i } A_d = \sum_{i=1}^n A_{d_i} - \sum_{i=n+1}^m A_{g_i}, \quad (1)$$

gde su A_{g_i} i A_{d_i} – gornje i donje (specificirane) granične vrednosti sastavnih karika, a A_g i A_d – gornja i donja granična vrednost završne karike. Ako se uz to zna da svaka nominalna mera (karakteristike kvaliteta) poseduje vlastitu toleranciju, koja je, po definiciji, jednaka razlici njene gornje i donje granične vrednosti, to znači da će, korišćenjem jednačina (1), tolerancija završne karike biti jednaka zbiru specificiranih tolerancija svih sastavnih karika, tj.

$$T = A_g - A_d = \sum_{i=1}^{n+m} T_i. \quad (2)$$

Za merni lanac menjačke kutije na slici 1, granične vrednosti i tolerancija završne karike imaju sledeće vrednosti

$$A_g = 1,36 \text{ mm}, A_d = 0,60 \text{ mm}, \text{ odnosno } A = 1^{+0,36}_{-0,40} \text{ mm i } T = 0,76 \text{ mm}.$$

Jednostavno sabiranje tolerancija sastavnih karika mernog lanca, međutim, ne može da obezbedi potrebnu tačnost (toleranciju) njegove završne karike, zbog čega je primena metode apsolutne zamenljivosti u proizvodnoj praksi značajno ograničena.

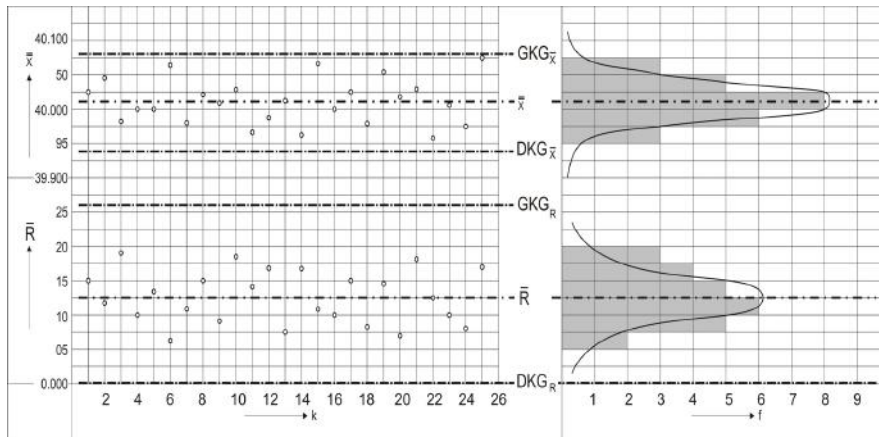
Metoda nepotpune zamenljivosti zasniva se na stavovima teorije verovatnoće i matematičke statistike da odstupanja od nominalne vrednosti bilo koje sastavne karike mernog lanca predstavljaju slučajnu veličinu X koja se raspoređuje unutar nekog raspona $R = x_{\max} - x_{\min}$ po određenom zakonu raspodele njihovih učestalosti (frekvencija – f) [2]. S druge strane, ta odstupanja (pod uslovom da su tehnološki procesi obrade i montaže delova stabilni i tačni) najčešće se simetrično raspoređuju po normalnom zakonu raspodele frekvencija f , odnosno verovatnoća p , za čije analize su tada dovoljni njihovi glavni statistički parametri lokacije i varijacije (aritmetička sredina \bar{x} i standardna devijacija σ). Uvođenjem ovih parametara, određivanje srednjih vrednosti i prirodne tolerancije završne karike mernog lanca, sa verovatnoćom $p = 2 \cdot \Phi(t) = 2 \cdot \Phi(3) = 99,73\%$, svodi se na korišćenje sledećih jednačina

$$A_s = \sum_{i=1}^n A_{s_i} - \sum_{i=n+1}^m A_{s_i}, T_p = R = 6 \cdot \sigma \text{ i } \sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{n+m} \sigma_i^2}. \quad (3)$$

Ako se, pak, ovi rezultati uporede sa rezultatima dobijenim metodom apsolutne zamenljivosti, brzo se uočava da je prirodna tolerancija završne karike mernog lanca dobijena metodom nepotpune zamenljivosti uvek znatno manja od njene tolerancije dobijene metodom apsolutne zamenljivosti. Uz to, metoda nepotpune zamenljivosti podstiče i serijnost sastavnih karika mernog lanca jer ona, pored upotrebe skuplje proizvodne tehnike koja tehnološke procese obrade i montaže tih karika čini produktivnijim i preciznijim, opravdava i uvođenje statističke kontrole kvaliteta u toku tih tehnoloških procesa, radi postizanja njihove potrebne stabilnosti i tačnosti [2].

2. STATISTIČKA KONTROLA STABILNOSTI I TAČNOSTI TEHNOLOŠKIH PROCESA OBRADE I MONTAŽE DELOVA

Za praćenje stabilnosti i tačnosti tehnoloških procesa obrade i montaže delova, ali i za preduzimanje potrebnih mera za otklanjanje uzroka njihovih eventualnih nestabilnosti i netačnosti, danas se najčešće koriste \bar{x} -R kontrolne karte. Osnovni smisao i značaj ovih karata sastoji se u sledećem: ako u toku tehnoloških procesa obrade i montaže delova deluju samo tzv. **slučajni faktori** onda karakteristike kvaliteta uzorka formiraju normalne zakone raspodele frekvencija f , na osnovu kojih se određuju prirodne kontrolne granice procesa, unutar kojih će se naći sve izmerene vrednosti karakteristika kvaliteta, kao što je to prikazano na slici 2.



Slika 2. \bar{x} -R kontrolna karta

Razlika kontrolnih granica \bar{x} karte predstavlja u stvari veličinu prirodne tolerancije sastavnih karika, tj.

$$T_p = GK_{\bar{x}} - DK_{\bar{x}}, \quad (4)$$

odakle sledi da je

$$\sigma = \frac{1}{6} \cdot T_p. \quad (5)$$

Vrednosti centralnih linija, kontrolnih granica i prirodnih tolerancija za sastavne karike menjačke kutije, čija je šema mernog lanca prikazana na slici 1, sistematizovane su u Tabeli 1.

Tabela 1. Vrednosti centralnih linija, kontrolnih granica i prirodnih tolerancija

Red. br. sastav. karike	Centralne linije		Kontrolne granice				Prirodna toleranc.
	$\bar{\bar{x}}$	\bar{R}	$DKG_{\bar{x}}$	$GKG_{\bar{x}}$	DKG_R	DKG_R	
1	30,029	0,078	29,9837	30,0737	0	0,1648	0,09
2	40,010	0,124	39,9378	40,0814	0	0,2631	0,14
3	4,110	0,034	4,0898	4,1294	0	0,0725	0,04
4	59,830	0,117	59,7726	59,8960	0	0,2445	0,12
5	5,104	0,053	5,0731	5,1345	0	0,1125	0,06

Koristeći vrednosti za centralne linije \bar{x} karte i prirodne tolerancije za sastavne karike iz Tabele 1 i jednačine (3) konačno se dobija da je

$$A_s = 1,26 \text{ mm i } \sigma = 0,0854 \text{ mm, odnosno } A = 1^{+0,00} \text{ mm i } T_p = 0,52 \text{ mm,}$$

što samo još jednom potvrđuje ranije izrečenu konstataciju „da je prirodna tolerancija završne karike mernog lanca dobijena metodom nepotpune zamenljivosti uvek znatno manja od njene tolerancije dobijene metodom apsolutne zamenljivosti“.

3. ZAKLJUČAK

Aplikativni softver Gaus SPC, s obzirom da omogućava automatizovano prikazivanje izmerenih vrednosti u vidu tabela, histograma i kontrolnih karata, može se iskoristiti i za automatizovani proračun završne karike mernih lanaca metodom nepotpune zamenljivosti, naravno, pored njegove osnovne primene u praćenju i oceni stabilnosti i tačnosti tehnoloških procesa obrade i montaže delova [5].

LITERATURA

- [1] Peković, O., Određivanje veličine i tačnosti završne karike mernih lanaca primenom metode nepotpune zamenljivosti, Deveta međunarodna naučno-stručna konferencija „mma 2006“ (ISBN 86-85211-96-4), Zbornik radova, s. 71-72, 15-16. juna 2006, Novi Sad.
- [2] Stanić, J., Merenje i kvalitet obrade. Osnove statističke kontrole kvaliteta, Mašinski fakultet, Beograd, 1969.
- [3] Stanić, J., Osnovi teorije mernih lanaca, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.
- [4] Vukelić, Đ., Hodolić, J., Stević, M., Vrečić, T., Automatizacija primene statističkih metoda za ocenu stabilnosti, sposobnosti i performansi procesa, Deveta međunarodna naučno-stručna konferencija „mma 2006“ (ISBN 86-85211-96-4), Zbornik radova, s. 71-72, 15-16. juna 2006, Novi Sad.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

THE THEORY OF RISKS AND ITS APPLICATION ON ENVIRONMET

D. Šebo ¹⁾, D. Knežo ²⁾, M. Jadroňová ³⁾

Abstract: *The paper deals with the theory of risk identifications, analysis and semi-quantitative method of risk assessment.*

Key words: *risk, risk assessment, risk matrix*

Introduction - Risk

All human and technical activities are characterized by risk. Risks can refer to health and safety of people, technical breakdowns, property damage, danger etc. There are lots of definitions of risk, but most often we define risk as a possibility that some reality will occur which can consequently cause detrimental consequences and also potential political, financial, moral, environmental damage or losses. Risk from the view of its structure can also be defined as a combination of probability of an event occurrence and its consequences. Along with technical dangers, risk of which has recently been analyzed in detail for insurance system in particular, the need of monitoring environmental risks appears increasingly urgent. Environmental risk is considered to be such a risk that is connected with possible negative influence on the environment [3]. According to [4] environmental risk of a certain substance is defined as a ratio of its concentration in the elements of the environment (assumed environmental concentration) with the concentration which is supposed not to have any influence on organisms or ecological systems (assumed concentration without harmful effect).

Identification, analysis and risk assessment

Analysis of recent accidents shows that the most serious cases are often a coincidence of unfortunate affairs where if the risk had been correctly identified, its results need not have occurred. Therefore when considering a selected system (machine,

¹⁾ **Dušan Šebo**, The Department of Environmental Studies and Control Processes, The Faculty of Mechanical Engineering of Technical University in Košice, Slovak Republic, dusan.sebo@tuke.sk

²⁾ **Dušan Knežo**, The Department of Applied Mathematics, The Faculty of Mechanical Engineering of Technical University in Košice, Slovak Republic, dusan.knezo@tuke.sk

³⁾ **Miriám Jadroňová**, The Department of Applied Mathematics, The Faculty of Mechanical Engineering of Technical University in Košice, Slovak Republic, miriam.jadronova@tuke.sk

activity, working place) it is necessary to identify in it those features which can cause occurrence of a negative event in form of injury, health or environment threat, equipment failure etc. For the identification and analysis of risks judges are present who consult with constructors and project engineers, technicians, maintainers, supervisors and workers at the workplace. It is important to recognize how they perceive the real state of machine during its operation and what knowledge they have about individual dangers at working place, about its harmful effects. Another possibility is systematic investigation of all the aspects of the judged system by the documentation, failure statistics and other foundation for risk searching straight on the machine or technical equipment.

Risk can be measured in two ways – by:

- Probability of risk occurrence
- Severity of its impact (on environment, machinery, property damage, human loss and damage) in case of risk occurrence

In this article we will deal with semi-quantitative method of risk assessment using five-degree scale of evaluation. Expression of risk occurrence probability (frequency) is in table 1.

Table 1. Probability (likelihood, frequency) of risk occurrence *P*

Type	Level	Value
Rare (less than 20 %)	A	1
Possible (more than 20 %)	B	2
Probable (less than 60 %)	C	3
Highly probable (more than 60 %)	D	4
Almost certain (more than 95 %)	E	5

This probability assessment of individual affairs uses subjective probability, which expresses measure of personal (collective) certitude of appearance of considered phenomenon (affairs) in reliance with defined factors. Effects of risk impact can be expressed in form of property damage (e.g. machinery damage, financial loss), intangible damage (in private sphere), human loss and harm (level of health damage, level of injury, number of fatalities), negative impact on the environment (level of damage, financial loss) etc. Table 2 and table 3 shows the scale of classification of the impact on the environment and machinery T. A scale of consequence from 1 to 5 is used to indicate increasing severity. Enlistment of the given risk impact into the corresponding degree of the scale depends again on the chosen criteria and the way of negative impact assessment. Personal experience, intuition, affluence and access to information play an important role.

Table 2. Results / Severity of impact on the environment *T*

Type	Level	Value	Impact on the environment
Unimportant	I	1	No impact on the environment
Small	II	2	Pollution of the environment
Middle-sized	III	3	Damage of the environment
Large	IV	4	Serious damage of the environment
Catastrophic	V	5	Catastrophe

Table 3. Results / Severity of impact on machinery M

Type	Level	Value	Impact on machinery
Unimportant	α	1	No impact on machinery function
Small	β	2	Disconnection, trivial malfunction
Middle-sized	γ	3	Slight malfunction, smaller damage
Large	δ	4	Vast damage
Catastrophic	ε	5	Loss, complete failure of system

Complex risk assessment

For the assessment of mutual coherence and relations between probability of risk occurrence and e.g. impact on the environment can be used L-shaped risk matrix which is created by the combination of probability and corresponding implications. (Figure 1).

An important step at risk assessment is to determine level of risk importance S, which is stated by the product of the point assessment of risk occurrence probability (frequency) P and its impact on the environment T. The estimate of the risk S is: $S = P \times T$.

For the safety subject (citizen, firm, machinery, environment, etc.) the size of damage which they can tolerate considering all operative and human conditions will also be crucial. Therefore it is important to state individual grades (levels) of the risk (table 4) and to define risk acceptance limit which is usually influenced by subjective opinions. For their stating and defining it is recommended to use collective decision and consider all the conditions (technical, manufacturing, financial, human, etc.) Due to [3] when using five-grade risk assessment, the numeric value 15 is an expression of unacceptable risk.

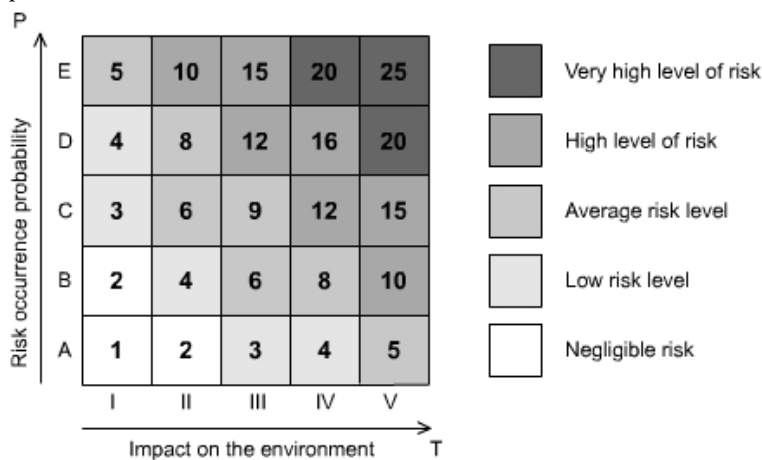


Figure 1: Risk assessment matrix for risk occurrence probability P and its impact on the environment T

Table 4 Risk ranking categories (degrees and level of risk)

Point value	Level of risk
1 - 2	Very low level, nominal, negligible risk
3 - 4	Low risk level
5 - 9	Average risk level
10 - 16	High level of risk
17 - 25	Very high level of risk

➔ Unacceptable risk

When considering safety of system, it is necessary to compare whether real risk is smaller than the acceptable one. Science about safety of technical systems and safety of labour [1] has proved that in functional system there does not exist a one hundred per cent safety which means there does not exist zero risk, it can only approach to zero.

Another “Y” or “reversed Y” - shaped matrix diagram can be used to consider the relationship of elements of the given three variables P, T, M (Figure 2), where data of three L-shaped matrix diagrams are concentrated.

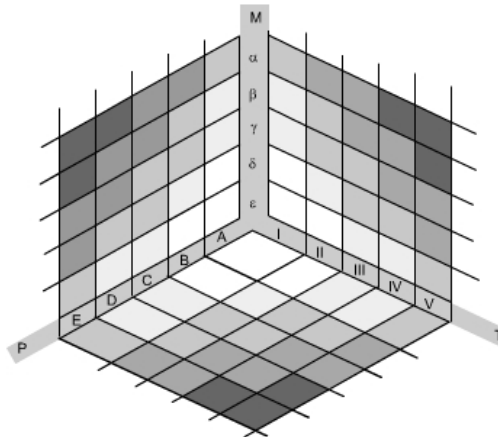


Figure 2: Y-shaped risk assessment matrix

We can use spatial (cubic) diagram (Figure 3) for complex mutual relations assessment of the three given parameters (probability of risk P, impact on the environment T and on machinery M). This type of diagram enables to give all the three parameters into mutual relation in block. The level of risk importance R can range from 1 to 125 ($5 \times 5 \times 5$). It is necessary to be aware that this value (similarly as S) can reach only certain discrete values. Also in this case stating of risk degrees is influenced by subjective opinions when values between 70 - 125 can be considered as unacceptable risk. On the other hand from our experiences we know that it matters if in case of a small, trivial malfunction (e.g. small hole) some damage gas escapes into air or vice versa, if a major industrial accident does not cause environment damage. Therefore, the higher values of impact on the environment (4, 5) we can considered as very unacceptable, undesirable risk of environment. It is obvious that from the point of the environment social impact of major industrial accidents causing harm to the environment is the worst.

The level of risk importance R is in this case product of the point assessment of risk occurrence probability (frequency) P , its impact on the environment T and its impact on machinery M (technical equipment).

The estimate of the risk R is: $R = P \times T \times M$

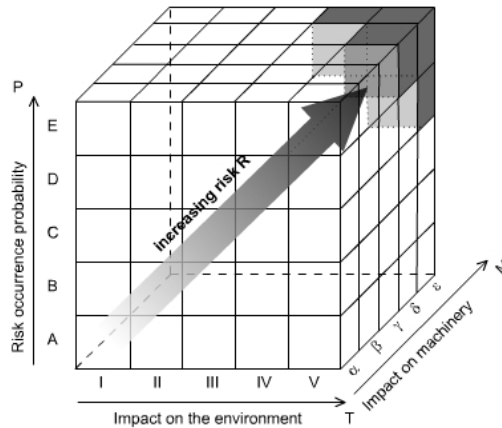


Figure 3: Cubic matrix diagram

Conclusion

Risk assessment is an effective means of identifying process safety risks and determining the most cost – effective means to reduce risk. For the assessment of mutual coherence and relations between probability of risk occurrence and e.g. impact on the environment (or impact on machinery) can be used risk matrix. The combination of consequence and likelihood range gives an estimate of risk or a risk ranking. Inception and severity level can be influenced by reducing probability of risk's creation or reducing severity of impact. The drift of complex risk assessment is to regulate and support the development of techniques, which they search for high safety and firmness in case of a small, trivial malfunction with very high impact on the environment.

The contribution elaborated within the grant task solution VEGA 1/2194/05 Models of hazards in machine industry by applying disaster theory.

References:

1. Sinay, J.: Riziká technických zariadení – manažérstvo rizika. Lumina, Košice 1997
2. Plura, J.: Plánování a neustále zlepšování jakosti. Computer Press, Praha 2001
3. Usmernenie Ministerstva financií Slovenskej republiky k riadeniu a analýze rizík. In: Finančný spravodajca 1/2006-07-27
4. Metodický pokyn Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky z 22. októbra 1998 č. 623/98-2 na postup hodnotenia a riadenia rizík.



EVALUATION OF AGGREGATE INFLUENCES OF THE WORKING ENVIRONMENT FACTORS

H. Verebová ¹⁾, J. Šebo ²⁾

Abstract: *In the article are described actually monitored working environment factors, their allowable values, harmful effects on human and longterm effects. The originally developed methodology for multicriterial evaluation of the factors is assessing final working environment load on human health. There is also an example of the load assessment in the case of machinery production.*

Key words: *working environment indicators, evaluation technique*

Introduction

There exists number of working environment factors and also factors of work itself, which have influence on human body and which enter mutual interactions. According to these interactions, the effects of the factors can sum, multiply, reduce or eliminate.

Generally we think about physical, chemical, biological, psychological and socio-economic factors. From the human health point of view, we can divide them to cumulative pathogenic, acute pathogenic, traumatogenic and terminal.

For working environment load evaluation methodology it is necessary to deal with limited number of indicators, which sufficiently represents pollution level and are relatively easy to measure and to treat further statistically. So selection of indicators is an exact task, which has expert character and relates with selection of elements in statistical file.

For statistical data treatment is essential, that it is possible to quantify each indicator, what means, that its numeric value level has corresponding effect on working environment. If the effect is characterised as monotonous, the indicator can be used by the evaluation methodology.

Indicators

To the most frequently used working environment indicators in the conditions of industrial operation we can consider:

-
- ¹⁾ Henrieta Verebová, Department of Environmental Studies and Control of Processes, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University Košice, henrieta.verebova@tuke.sk
- ²⁾ Juraj Šebo, Department of Environmental Studies and Control of Processes, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University Košice, juraj.sebo@tuke.sk

- 1 Physical factors
 - 1.1 Noise -steady (dB), variable, pulse
 - 1.2 Vibration, quake (Hz)
 - 1.3 Microclimatic conditions - air temperature (Δ °C), air humidity, air circulation, air pressure, radiant-type heat, vapor, air quality (mg/m^3), emissions –(gases –(SO_x , NO_x , CO), liquid aerosols, dust particles)
 - 1.4 Lighting -intensity (ΔlX), stability, luminosity, contrast, shielding and unshielding, light color, insolation
 - 1.5 Radiation – infrared, ultraviolet, ionising – (corpuscular, alfa, beta, gama, neutron), electromagnetic - wave (airwaves, X-ray (Rg))
- 2 Toxic substances - toxic aerosols ($\text{j.m.}/\text{m}^3$)
- 3 Biologic factors – viruses, bacteria (KTJ), fungi, parasites
- 4 Ergonomics - work physiology (points), anthropometrics, somatography, perimetry, exhaustion
- 5 Safety factors - safety technique (probability), personal working protective means
- 6 Working interior - architectural interior design, transport means, aesthetics
- 7 Socio-psychological factors - working motivation, working satisfaction, working attitudes and working ethics, interpersonal relations on workplace, leader personality, management style, monotony (%)

Theoretic principle of evaluation technique:

We start from matrix (1)

$$Y=(Y_{ij}), \tag{1}$$

which contains basic information about working environment load level. It is necessary to include all possible indicators, because approximation of effect by the technique is closer to total, if the matrix consists more elements and if n is greater.

Each element Y_{ij} contains quantitative parameters, it means values, which object $i=1,2,\dots, m$ reach in indicators $j=1,2,\dots, n$.

The columns j, which working environment effects are clearly pozitiv, we reverse through multiplying by minus one. We reach matrix $A=(a_{ij})$. Comparability of vectors is solved in a way, that we add one more column, which represents hypothetical object, called artificial vector $U=(u_j)$ and which serves as calculation base and generally consists of allowable values of indicators. Formed matrix we label A^+ .

$$U=(u_1, u_2, \dots, u_n), \tag{2}$$

to be valid, that

$$u_j < a_{ij}. \tag{3}$$

Then it is possible to compare real objects vectors with this vector, because is surely smaller, as any real object vector, whereby it is valid, that

$$a_{ij} - u_j < 0. \tag{4}$$

Summation possibilities, it means elimination of different unit of measurement and differences in numbers dimensions was solved on a base of discrimination, in a way, that positive difference ($a_{ij} - u_j$) is divided by standard deviation s_j , which dimension is such, as has values, from which was counted and it adjust also numbers dimension, whereby

$$s_j = \sqrt{\frac{\sum (a_{ij} - \bar{a}_i)^2}{n}}. \tag{5}$$

From the elements of matrix A we will reach through transformation elements B.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij} - u_j}{s_j} \quad (6)$$

Matrix elements B=(b_{ij}) are already measurable non-dimensional numbers, so possible to sum. Standard deviation in denominator serve. besides that, even as significance of indicator.

Question of interrelation between indicators is incorporated through correlation matrix R=(r_{ij}), which returns data for calculation of reduction constants. We count their values from relations

$$r_{ij} = \frac{\sum_i (a_{ij} - \bar{a}_j)(a_{il} - \bar{a}_l)}{\sqrt{\sum_i (a_{ij} - \bar{a}_j)^2 \sum_i (a_{il} - \bar{a}_l)^2}} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} k_1 &= 1 \\ k_2 &= (1 - |r_{12}|) \\ k_3 &= (1 - |r_{13}|) (1 - |r_{23}|) \\ k_4 &= (1 - |r_{14}|) (1 - |r_{24}|) (1 - |r_{34}|) \\ &\dots \dots \dots \dots \\ &\dots \dots \dots \dots \\ k_n &= (1 - |r_{1n}|) (1 - |r_{2n}|) \dots \dots (1 - |r_{1-n n}|) \end{aligned} \quad (8)$$

These reduction constants exclude multiple counting of the effect, which would appear in evaluation of working environment load level in different variants of different indicators.

Final proposed relation following (6) and (8) has form:

$$Q_i = \sum_j \frac{a_{ij} - u_j}{s_j} \cdot k_j \quad (9)$$

eventually

$$Q_i = \sum_j b_{ij} \cdot k_j \quad (10)$$

itemized for example for new object

$$Q_1 = \frac{a_{11} - u_1}{s_1} \cdot k_1 + \frac{a_{12} - u_2}{s_2} \cdot k_2 + \dots + \frac{a_{1n} - u_n}{s_n} \cdot k_n \quad (11)$$

where Q_i we named working environment load value, so score of i object, where

- a_{ij} is adjusted value of j-indicator in i-object,
- u_j is value j-element of artificial vector,
- s_j standard deviation of adjusted j-indicator,
- k_j reduction constants.

The exaple of working environment complex evaluation

As a example of working environment complex evaluation we proposed system of indicators, by which we describe influence of single workplaces of machinery production on human health. Their selection was reduced on the base of authors experiences in the area. In general is selection possible to realize by factor analysis techniques.

31. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA SCG

indic. workplace	1 dB	2 Hz	3 °C	4 mg/ m ³	5 lx	6 p/ m ³	7 KTJ	8 point s	9 true	10 %
1.	102	8	2,5	6	8	5	5	-67	0,47	-13
2.	42	300	0	12	5	9	13	-68	0,34	-10
3.	37	1	1	1	6	4	6	-86	0,68	-9
23.	98	348	3	34	74	36	12	-79	0,32	-37
31.	34	95	5	47	84	25	18	-94	0,43	-14
32.	58	98	1	75	21	41	19	-79	0,41	-47

u_j	6	1	0	1	2	1	1	-98	0,19	-85
\bar{a}_j	61,72	212,44	3,02	43,06	27,31	22,41	8,28	-68,97	0,50	-32,28
s_j	31,15	226,03	2,16	46,43	32,44	21,40	4,63	25,27	0,20	21,21

$$Q_1 = 5,5866$$

$$Q_2 = 5,1388$$

$$Q_3 = \mathbf{3,1007}$$

$$Q_{23} = \mathbf{10,2818}$$

$$Q_{31} = 8,9253$$

$$Q_{32} = 7,6171$$

Result from the above noted is, that from cumulative view on working environment effects on human is the best workplace number 3 with score $Q_3 = 3,1007$, because it shows the best relative values of indicators and vice-versa the worst workplace is number 23 with score $Q_{23} = 10,2818$. To find out the reasons of the reached order of workplaces, so which indicators determine this score and on what significance level is their mutual effect is possible by further analysis of complete file.

Conclusion

We can conclude, that above mentioned technique is appropriate for complex cumulative evaluation of working environment for multicriteria indicators, because it accumulates extensive complex of their effects to final score with the result, that in counting are eliminated correlative effects, numeric values of indicators and variability of group of them. For practical use is also important to work with larger groups of evaluated workplaces and to standardize evaluation indicators, to be possible in a whole range apply law of big figures.

Remark: This article was prepared within the grant VEGA 1/3231/06 "Modelovanie faktorov pracovného prostredia a ich optimalizácia v špecifikovaných podmienkach strojárskych podnikov"

REFERENCES

1. Badida, M., Majernik, M., Šebo, D., Hodolič, J.: Strojarska výroba a životne prostredie, Edícia vedeckej a odbornej literatury Vienaľa, TU Košice, Strojnicka fakulta, Košice, 2001.
2. Verebová, H.: Faktory v pracovnom prostredí a ich vplyv na ľudský organizmus, Factors in work-bench and their impression on human organism, VII.Vedecká konferencia doktorandov strojníckej fakulty, TU Košice, Slovakia.
3. Verebová, H.: Štruktúrna analýza parametrov pracovného prostredia, VII. Vedecká konferencia doktorandov strojníckej fakulty, TU Košice, Slovakia.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

EKONOMSKA OPRAVDANOST RECIKLAŽE RAČUNARSKOG OTPADA U SRBIJI

R. Mitrović ¹⁾, B. Tadić ²⁾, D. Tadić ³⁾

Rezime. Reciklaža i oslobađanje korisnika od Otpadne Električne i Elektronske Opreme (OEEO) poslednjih godina postaje aktuelno polje istraživanja u oblastima očuvanja zdrave životne sredine i korišćenja skupih reciklabilnih materijala. U ovom radu, analizirana je ekonomska opravdanost primene postupka reciklaže na teritoriji Srbije prema modelu J.E. Boona-a [1].

Ključne reči: Otpadna Električna i Elektronska Oprema (OEEO), računarski otpad, reciklaža, zaštita životne sredine

ECONOMICAL VALIDITY OF RECYCLING PROCEDURE IN TERRITORY OF SERBIA

Abstract. In recent years, recycling and releasing the users from Waste Electrical and Electronic equipment is becoming actual research area in the field of Environment Protection and the use of expensive recycling materials. In this paper, economical validity of recycling procedure in territory of Serbia is analyzed according to the model of J.E. Boona-a [1].

Key words: Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), computer waste, recycling, environment protection

1. UVOD

Problem prikupljanja, skladištenja i reciklaže računarskog (PC- Personal Computers) otpada je multidisciplinarnan, proučava se sa ekonomskog, tehničkog a ponajviše sa ekološkog aspekta. Prema direktivama Evropske Unije PC otpad pripada trećoj kategoriji Otpadne Električne i Elektronske Opreme (OEEO) - Uredaji informacione i komunikacione tehnike [4].

U saradnji sa lokalnim vlastima i industrijskim udruženjima Hewelett Pakard (HP) se stara za praktičnu primenu OEEO direktive koja koristi IPR (Individual Producer Responsibility) princip; ovaj princip je zasnovan na odgovornosti svakog pojedinačnog proizvođača otpada čime se vrši zaštita i očuvanje životne sredine. To praktično znači stvaranje industrije za reciklažu na nivou jedne države ili EU, koja

¹⁾ Prof. dr Ratko Mitrović, Mašinski fakultet, Kragujevac, ratko@kg.ac.yu

²⁾ Prof. dr Branko Tadić, Mašinski fakultet Kragujevac, btadic@kg.ac.yu

³⁾ Prof. dr Danijela Tadić, Mašinski fakultet Kragujevac, galovic@kg.ac.yu

funkcioniše na zakonima konkurencije a čiji je jedan od ciljeva redukovanje troškova reciklaže. Udruživanjem svetskih kompanija: HP, Sony Europe, Braun i Electrolux, stvorena je evropska platforma za reciklažu (ERP)-European Recycling Platform, elektro i elektronskog otpada, kojom se omogućava povećanje konkurencije kroz poboljšanje kvaliteta u postupcima reciklaže i smanjenje cena u odnosu na potrošače [5]. Osnovne intencije su da se OEEO odlaže na određene opštinske lokacije, odakle će se organizovano isporučivati do reciklažnih i drugih punktova, za šta će glavna odgovornost pasti na teret proizvođača ovakve opreme.

U našoj zemlji do sada nije bilo ozbiljnih istraživanja vezanih za ovaj problem. Moramo reći sasvim neopravdano s obzirom na činjenicu da je proces kompjuterizacije u našoj zemlji počeo pre više od 20 godina. U okviru NI projekta "Razvoj sistema za reciklažu elektronske i elektrotehničke opreme", odnosno iz podteme "Evidentiranje opasne otpadne PC opreme i razvoj tehnologije sortiranja i reciklaže iste na teritoriji Srbije", finansiran od strane Ministarstva nauke i zaštite životne sredine Srbije, između ostalog, vršena je statistička procena količine PC opreme na teritoriji Srbije. Dobijeni su sledeći rezultati: 534 177 PC je rashodovano (podatak za 2005.); ova količina bi bila svakako veća ako bi se razmatrali i oni PC-ovi koji se još koriste a koji su stariji od pet godina (koliko iznosi projektovani životni vek). U upotrebi se nalazi 1.684.997 PC različite konfiguracije i različite starosti [2]. Na osnovu dobijenih rezultata i podataka o vrstama i ceni skupih reciklabilnih materijala [5], moguće je da se odrede troškovi zalih reciklabilnih materijala koji u ovom trenutku iznose preko 3.8 miliona US dolara [3].

Rad je organizovan na sledeći način: u Odeljku 2 data je terojska postavka problema reciklaže, u Odeljku 3 prikazan je model troškova reciklaže [1] i u odeljku 4 izvršena je analiza troškova reciklaže računarskog otpada na teritoriji Srbije i diskutovana je ekonomska opravdanost razvoja postupka reciklaže u Srbiji.

2. TEORIJSKA POSTAVKA PROBLEMA RECIKLAŽE

Proces reciklaže započinje sa procenom sigurnosti i mogućnosti daljeg transporta pristiglih PC koji su sa različitim stepenima oštećenja, tako da u postupku demontaže i reciklaže mogu nastati velike teškoće u manipulaciji sa toksičnim materijalima. Iz tog razloga, potrebne su posebne mere zaštite zaposlenih i raspolaganje odgovarajuće opreme

Proces demontaže nije jednostavan, prvenstveno za PC ranijih generacija. U postupku demontaže, delovi i sklopovi se ručno sortiraju sa srodnom sirovinskom bazom i pripremaju se za dalju prodaju. Ukoliko se ne nađe tržište za prodaju ovih jedinica, one se lome i sortiraju prema dominantnim materijalima-bakar, aluminijum, čelik, plastika. Komponente sa dragocnim metalima se posebno sortiraju.

Drugi značajan izazov u reciklaži PC i druge OEEO predstavlja rukovanje i odlaganje, po život veoma opasnih materijala. Reciklažom opasnih kompenata, posledice po životnu sredinu se znatno smanjuju. Opasne komponente u procesu reciklaže OEEO, koje se najčešće javljaju, su: kondenzatori koji u sebi sadrže PBC, baterije, matične ploče, i katodne cevi sa velikim procentom olova i kadijuma, provodnici na bazi žive, razni fotoreceptori sa selenom, arsenikom i dr. Ukoliko se za ove komponente ne nađe tržište one se odvajaju i šalju na spaljivanje u visokim pećima što danas nije dozvoljeno. Monitori kao nosioci olovnog stakla predstavljaju jedan poseban problem. Koncentracija olovnog stakla u monitorima zavisi od proizvođača, modela što otežava buduću primenu tako recikliranog stakla. Olovno staklo se najčešće koristi kao dodatak pri livenju olova, kao sredstva za peskarenje kao i u ponovnoj

proizvodnji CRT stakla. Buduća primena ovog stakla može naći primenu u proizvodnji dekorativnog crepa i drugih proizvoda koji štite od x zraka.

3. MATEMATIČKI MODEL RECIKLAŽE

U ovom odeljku opisan je jedan matematički model, koji može da se nađe u literaturi [1], na osnovu koga može da se pokaže opravdanost sprovođenja postupka reciklaže. Model je zasovan na udelu različitih masa materijala, izraženih u kilogramima, sadržanih u PC otpadu. Ukupna količina sakupljenog PC otpada je označena sa m , tako da:

$$m = m_1 + m_2 \quad (1)$$

gde su:

m_1 je masa monitora i ona predstavlja najveći deo mase m

m_2 je masa ostalog materijala PC otpada.

U postupku reciklaže se dobija deset različitih materijala i komponenti čije mase su označene kao $M_i, i = 1, \dots, 10$, izražene u kilogramima. Ove mase su definisani na sledeći način:

$M_1 = a_1 \cdot m_1$	Masa sakupljenih monitora	$M_6 = a_6 \cdot m_2$	Masa provodnika
$M_2 = a_2 \cdot m_2$	Masa delova, komponenti ili opreme za prodaju	$M_7 = a_7 \cdot m_2$	Masa čelika
$M_3 = a_3 \cdot m_3$	Masa lomljivih delova opreme (delovi koji se drobe)	$M_8 = a_8 \cdot m_2$	Masa plastika
$M_4 = a_4 \cdot m_2$	Masa štampanih elektronskih kola	$M_9 = a_9 \cdot m_2$	Masa bezopasnog otpada
$M_5 = a_5 \cdot m_2$	Masa raznih metala	$M_{10} = a_{10} \cdot (1 - a_{10}) \cdot m_2$	Masa opasnog otpada

Koeficijenti $a_i (i = 1, \dots, 10)$ su definisani na sledeći način:

a_1	Odnos mase prodatih i sakupljenih monitora	a_6	Odnos mase provodnika i m_2
a_2	Odnos mase delova, komponenta ili opreme za prodaju i mase m_2	a_7	Odnos mase čelika i m_2
a_3	Odnos mase lomljivih delova opreme i m_2	a_8	Odnos mase plastika i m_2
a_4	Odnos mase štampanih elektronskih kola i m_2	a_9	Odnos mase otpada i m_2
a_5	Odnos mase raznih metala i m_2	a_{10}	Odnos mase bezopasnog otpada

Ukupni prihodi koje ostavlja firma za reciklažu računa se kao zbir prihoda koji se ostvaruje usled prodaje određene količine servisiranih monitora, P_m , i prihoda koji se ostvaruju prodajom recikliranih komponenti, P_d . Njihove vrednosti se određuju prema sledećim analitičkim izrazima:

$$P_m = R_1 \cdot a_1 \cdot M_1 \quad (2)$$

gde su jedinični prihodi od prodatih monitora označeni kao R_1 . Jedinica mere je \$/kg.

$$P_d = \sum_{i=2}^8 R_i \cdot M_i \quad (3)$$

gde su sa $R_i (i = 2, \dots, 8)$ označeni jedinični prihodi koji se pridružuju masi $M_i (i = 2, \dots, 8)$. Jedinica mere je \$/kg.

Troškovi koji se ostvare u procesu reciklaže su:

- troškovi transporta PC opreme do mesta reciklaže - T_1 ,
- troškovi sortiranja PC otpada - T_2 ,
- troškovi demontaže rashodovanih PC - T_3 ,
- troškovi reciklaže monitora - T_4 ,
- troškovi odlaganja bezopasnog otpada - T_5 i
- troškovi odlaganja opasnog otpada - T_6 .

Vrednosti ovih troškova se računaju prema sledećim izrazima:

$$\begin{aligned} T_1 &= c_1 \cdot \sum_{i=1}^{10} M_i & T_3 &= c_3 \cdot \sum_{i=1}^{10} M_i & T_5 &= c_5 \cdot M_9 \\ T_2 &= c_2 \cdot \sum_{i=1}^{10} M_i & T_4 &= c_4 \cdot (1 - a_1) \cdot M_1 & T_6 &= c_6 \cdot M_{10} \end{aligned}$$

Jedinični troškovi, izraženi u \$/kg su označeni kao $c_j (j = 1, \dots, 6)$.

Funkcija kriterijuma je definisana kao ukupni troškovi reciklaže T_{ur} , koji se računaju prema sledećem analitičkom izrazu:

$$T_{ur} = \sum_{j=1}^6 T_j - P_m - P_d \quad (4)$$

Na osnovu vrednosti jediničnih troškova reciklaže, T_{ur} / m , može da se proceni ekonomska opravdanost sprovođenja postupka reciklaže PC otpada. Mogu da se javе četiri slučaja:

- $T_{ur} / m \geq 0$ - profitabilnosti nema ali su ulaganja neminovna u cilju zaštite životne sredine
- $T_{ur} / m < 0$ - prihodi su pozitivni
- $T_{ur} / m < c_6$ - proizvođaču je ekonomski opravdano da ulaže u postupke reciklaže
- $T_{ur} / m \geq c_6$ - proizvođaču je ekonomski opravdano da ulaže u postupke prikupljanja i skladištenja PC otpada

4. ANALIZA TROŠKOVA RECIKLAŽE PC OTPADA U SRBIJI

Vrednosti koeficijenata, $a_i (i = 1, \dots, 10)$, jediničnih prihoda, $R_i (i = 1, \dots, 8)$ i jediničnih troškova, $c_j (j = 1, \dots, 6)$ su računate u jednom pilot projektu koji se realizovao u Center for Recycling and Economic Development, USA. Dobijene vrednosti razmatranih veličina su korišćene kao ulazi podaci u ovom radu i one iznose:

31. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA SCG

a_i	R_i (\$/kg)	c_j (\$/kg)
a_1	0.101	R_1 0.761
a_2	0.0983	R_2 0.616
a_3	0.216	R_3 0.554
a_4	0.0596	R_4 1.784
a_5	0.0684	R_5 0.237
a_6	0.0265	R_6 0.311
a_7	0.443	R_7 0
a_8	0.0662	R_8 0
a_9	0.0214	
a_{10}	1.00	

Ukupna količina rashodovanih PC u Srbiji iznosi 534 177 [2]. Masa jednog monitora je izračunata prema [5] i iznosi 23.64 kg, a ukupna masa jednog PC-a je 36.94 kg. U ovom radu, masa monitora, $m_1 = 23.64 \cdot 534177 = 12.63 \cdot 10^6$ kg, ukupna masa rashodovanih PC-a, $m = 36.94 \cdot 534177 = 19.73 \cdot 10^6$ kg a masa preostalog dela PC otpada je $m_2 = 7.103 \cdot 10^6$ kg.

Izračunajmo sada ukupne troškove reciklaže prema (4):

$$T_{ur} = 10.58 \cdot 10^6 - 0.971 \cdot 10^6 - 2.209 \cdot 10^6 = 7.4002 \cdot 10^6 \$$$

Jedinični troškovi reciklaže, T_{ur} / m iznose 0.375\$/kg.

Prema dobijenoj vrednosti jediničnih troškova reciklaže može se zaključiti da se neće ostavriti dobit sprovođenjem postupka reciklaže. Takođe, kako je $T_{ur} / m = 0.375 > 0.2 = c_6$, sledi da je ekonomski opravdano da se u Srbiji sakuplja i sladišti PC otpad a postupci reciklaže da se vrše u nekim postojećim centima za reciklažu.

Uticao jediničnih prihoda, jediničnih troškova, mase monitora i mase ostalog PC otpada na ukupne troškove reciklaže je računat tako što smo vrednost svake veličine smanjivali, odnosno povećavali za 50%, separtano, dok su sve ostale vrednosti ostajale nepromenjene. Dobijene su sledeće vrednosti T_{ur} / m :

R_2	0.386; 0.364	c_1	0.366; 0.384	m_1	0.370; 0.430
R_3	0.396; 0.360	c_2	0.305; 0.445	m_2	0.421; 0.346
R_4	0.394; 0.356	c_3	0.313; 0.628		
R_5	0.378; 0.373	c_4	0.343; 0.407		
R_6	0.377; 0.374	c_5	0.374; 0.375		

5. ZAKLJUČCI

U ovom radu prikazan je razvijeni matematički model pomoću koga može da se utvrdi ekonomska opravdanost razvoja i primena postupka reciklaže PC otpada. Ovaj

model testiran je na podacima koji su dobijeni u [2]. U ovom radu, vrednosti koeficijenta, $a_i (i = 1, \dots, 10)$, jediničnih prihoda, $R_i (i = 1, \dots, 8)$ i jediničnih troškova, $c_j (j = 1, \dots, 6)$ smatraju se poznatim veličinama. Pokazano je da:

1. Ne postoji ekonomski interes za razvijanje i primenu postupaka reciklaže PC otpada na teritoriji Srbije. Ovo direktno pokazuje da moraju da se uključe institucije vlasti u poslove zbrinjavanja PC otpada i da se ovaj problem mora rešavati u skladu sa svetskim standardima kako bi se očuvala zdrava životna sredina.
2. Povećanjem jediničnih prihoda koji potiču od lomljivih komponenti i štampanih ploča, značajno se smanjuju jedinični troškovi reciklaže i iznose 4%, odnosno 5.07% respektivno. Ovo ukazuje na potrebu da se pronađu metode kako bi ove vrednosti bile što je moguće veće.
3. Kada se jedinični troškovi sortiranja smanje, za 50%, T_{ur}/m se promeni za 18.67%. Kada se jedinični troškovi demontaže, smanje za 50%, T_{ur}/m se promeni za 16.53%. Vrednosti ovih troškova može da se smanji uvođenjem automatske linije za lomljenje i usitnjavanje raznih otpadnih materijala.
4. Na profitabilnost reciklaže ima veliki uticaj veliki udeo mase monitora u ukupnoj masi PC jer su troškovi odlaganja neupotrebljenih monitora veliki. Olovno staklo koje se nalazi u monitorima otežava efikasnu preradu.
5. Ekonomski je opravdano da se u Srbiji sakuplja i sladišti PC otpad. Ovaj rezultat pokazuje da napori treba da budu usmereni na određivanje najboljih lokacija na teritoriji Srbije na kojima bi se vršilo skladištenje a možda i demontaža rashodovanih PC-a i odakle bi se vršio transport do cenatar za reciklažu.

LITERATURA

1. Jane E. B., Jacqueline A.I., Surendra M.G.: *Economics of PC Recycling*, Laboratory for Responsible Manufacturing. Dep. of MINE, NE Univ., Boston, 1998.
2. NI "Razvoj sistema za reciklažu elektronske i elektrotehničke opreme", Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine, 2005.-2008.
3. Tadić, B., Mitrović, R., Tadić, D.: *Evidentiranje količine PC-a na teritoriji Republike Srbije*, prihvaćen za štampu u časopisu "Ekonomski Anali", Ekonomski fakultet Beograd.
4. www.e-schrott.de/preise.html
5. www.scheideanstalt.de

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

INFORMATIKA U ZAŠTITI ŽIVOTNE SREDINE I PRIMENA VIDEOKONFERENCIJE

R. Vulović¹⁾

Apstrakt. U radu se nastoji pokazati mogući put za uvođenje informatičkih tehnologija i povećanje broja korisnika NET mreže kroz pronalaženje najbolje strategije za unaprijeđenje informatizacije i internetizacije u zaštiti životne sredine i zdravstvene zaštite stanovništva u Srbiji.

Među dva najvažnija sektora društva u kojima posebno treba podsticati internetizaciju su: Sektor obrazovanja u OBLASTI zaštite životne sredine i zdravstva. Videokonferencija u ovoj oblasti ima značaj u poboljšavanju edukacije omogućavanjem konektovanja na različite sajtove, medije za učenje, audio i video fajlove, grafike, animacije, kompjuterske aplikacije. Iskustva predavača celog sveta govore da tehnologija videokonferencije izlazi u susret učenju i edukaciji zaposlenih, studenata i drugih zainteresovanih

Cljučne reči: Životna sredina, Informatičke tehnologije, Internet, softver, računarske mreže, simulacije, baze podataka, videokonferencije

INFORMATION IN OF PROTECT LIFE AND VIDEOCONFORATION

Abstract. This work make show the way for informatic's tehnology and high number people for net from find the best strategy for promation information and internatacion in protect line area and medicine protect of people in Serbia.

Between two most impertante sector in which especiale have intersation is: Sector education in place protect life and medical area. Videoconferation in this area have better education and make conecting on different sait, medies for study, audio and video fayls, grafics, animation, compiuters applcation. Expiriens people from whole the world speaking that tehnology videoconferation have study and tchaching and education imployment student's and other interested.

Key words: Life area. informatic tehnology, Internet, softwer, computers, simulation, Base of data videoconferations.

1. UVOD

Važnost pristupa informatičkih tehnologija u zaštiti životne sredine bez sumnje je od velikog značaja, jer zahvaljujući njima zdravstveni profesionalci, ekolozi,

¹⁾ Dr Radislav Vulović, prof., High Tehnology School for Nemetal, Arandelovac,
vulovic.r@ptt.yu

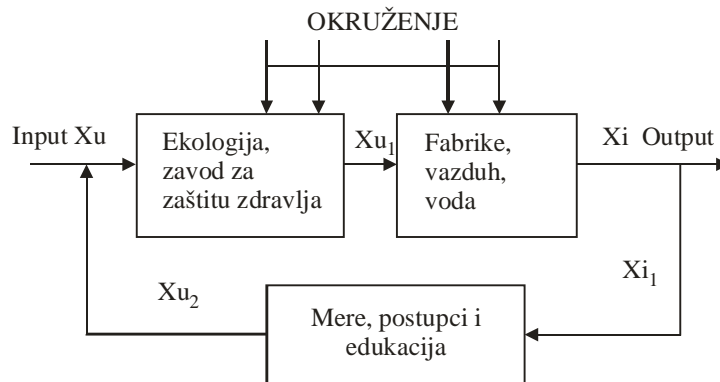
tehnolozi i projektanti novih industrijskih postrojenja sa novim tehnologijama, ili onih koji vrše rekonstrukciju dotrajalih i zastarelih tehnologija moći će da dopune i usavrše svoje znanje kao i da se konsultuju sa stručnjacima iz odgovarajuće oblasti, koristeći Internet servise i transfer podataka. I ne samo profesionalci, nego i svi drugi mogu primenom informatičkih tehnologija lakše doći do objašnjenja, novih saznanja o uzroku, izvoru i štetnosti nekih materijala koje i sami iz neznanja i nesvesno deponuju u svoju okolinu. Danas edukacija nije zatvorena i ograničena učionicama i anfiteatrima. Ona se prožima preko regija, država, okeana i kontinenata. Ovaj trend se sve više razvija i raste uz svakodnevno povećanje raznovrsnosti i potreba za prilagođavanjem različitim uslovima, sredinama i zahtevima za učenjem.

Perspektivu primene informatičkih i telekomunikacionih tehnologija u zaštiti životne sredine i zdravstvene zaštite najbolje svedoči konstatacija iz mnogo prikaza, projekata i istraživanja različitih naučnika, koja govori o Globalnom informacionom društvu, da "u bilo kojoj viziji razvoja sledeće generacije Interneta, sektor zaštite životne sredine i zdravstva biće njen stalni i nezaobilazni korisnik". To je nametnula priroda podataka u aplikacijama i podacima o prisutnosti različitih materijala koji ugrožavaju život na Zemlji.. Da li na ovim prostorima ima te vizije? Da li na našim prostorima dovoljno koristimo dostignuća informatičkog razvoja u edukaciji i sticanju znanja? Ovo su neka od pitanja na koja se u ovom radu pokušava dati odgovor.

Konsultacije stručnjaka i ustanova međusobno dovode do brzih i pouzdanijih dijagnoza. Razmena iskustva je novo bogato saznanje. U tim konsultacijama često je potrebna dostupnost do određenog dijagnostičkog nalaza. Dakle, javlja se potreba za prenosom na daljinu dijagnostičkih slika, ili za trenutni uvid sa daljine u situaciju određene sredine tj. sistema. Treba nastojati da se danas dođe do informacije na lak, brz, pouzdan i jeftin način. Mora se omogućiti svima koji to žele i znaju da se uključe u realizaciju nekog projekta, u praćenje nekih procesa, a naročito da se uključe u proces učenja. Edukacija stanovništva je mnogo efikasniji način od zakonskih i represivnih mera.

2. STANJE INFORMATIZACIJE U SEKTORU ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE I ZDRAVLJA LJUDI

Uređaji koji se danas koriste u ovoj oblasti su poboljšani i unapređeni korišćenjem telekomunikacionih i informatičkih tehnologija, mrežnog računarstva i videokonferencijskih sistema. Specijalizovani aplikativni softveri, uređaji za skladištenje podataka, softveri za upravljanje bazama podataka, medicinski uređaji, uređaji za otkrivanje zagađenosti sredine, zračenja, buke, aerozagađenja i dr. omogućuju prikupljanje elektronskih podataka i njihovu brzu i efikasnu obradu. Prenosni uređaji i kanali su ključni elementi telemedicinske i ekološke infrastrukture. Njihovo delovanje treba da ima širokopojasni i interakcijski karakter sa okruženjem. Sistem ovih institucija i njihova organizacija treba da sadrže naučna dostignuća ekologije, zdravstvenih zavoda i instituta koji će sa stručnim kadrovima preduzimati različite mere počev od edukacije do konkretnih akcija u pogledu očuvanja životne sredine i zdravlja stanovništva, slika 1. Primena informacionih i telekomunikacionih usluga u ustanovama koje se bave zaštitom životne sredine je nedovoljna, (zaključak je mnogih Međunarodnih organizacija). U Srbiji je daleko ispod postojećeg nivoa koji je zastupljen u evropskim zemljama. U doba velikog razvoja informacionih i telekomunikacionih tehnologija, mali je broj ustanova koje raspolažu sa potpunim informacionim sistemom, sa bazama podataka o stanju životne sredine.



Slika 1. Informacioni sistem u zaštiti životne sredine

Opremanje zdravstvenih ustanova, ekoloških centara i zavoda za zaštitu zdravlja računarskom opremom je još uvek neorganizovano i prepušteno željama i znanju pojedinaca. dijagnostička oprema (CT, MR, rentgeni, ultrazvučni uređaji) bazirani na mikroprocesorima, sa digitalnim izlazima za podatke, razna ekološka društva, zavodi za zdravstvenu zaštitu takođe poseduju računarsku opremu, ali zbog neuvezanosti gube se prednosti koje pruža sistem kao što su distribucija podataka u ustanovi, čuvanje podataka u bazama podataka, korišćenje podataka i informacija za naučni rad, korišćenje podataka za potrebe SEM-a (Sistem ekološkog menadžmenta) itd.

Proces širenja znanja i unapređenja komunikacija prošao je brz i intenzivan razvoj u protekloj deceniji. Danas to mnogi nazivaju revolucijom koju su doneli internet i korišćenje računara s ciljem međusobnog komuniciranja ljudi. Dostignuća komunikacijskih i informacijskih tehnologija (KIT) pružaju danas neslućene mogućnosti za razvoj svakog društva i pojedinca. Primena KIT-a dala je i obrazovanju jednu novu dimenziju i otvorila nove mogućnosti obrazovanja na daljinu, putem Interneta i korišćenjem računara, bez ograničenja vremenskog ili prostornog karaktera. Takvo obrazovanje danas nazivaju elektronskim obrazovanjem, što je i trend u društvu. Imati elektronsko obrazovanje inkorporirano u sisteme obrazovanja različitih nivoa, od preduniverzitetskog, univerzitetskog i obrazovanja nakon studija, a posebno obrazovanja za celi život, pretpostavke su savremenog školovanja i zahtevi Bolonjskog procesa.

Danas u nekim ustanovama koje se bave ovim pitanjem postoje lokalni programi, organizovani na raznim tipovima baza podataka, koji se pretežno koriste za praćenje ekonomskih parametara, ili podataka za zdravstveno osiguranje, a manje ili nikako za praćenje i upravljanje zaštitom životne sredine kao i za medicinske i zdravstvene svrhe.

Primena informatičkih i telekomunikacionih tehnologija u edukaciji zdravstvenim obrazovanjem, sa temama koje se odnose na zaštitu životne i radne sredine (vodosnabdevanje, prečišćavanje otpadnih voda i vazduha...), danas je sve više aktuelno a njegovo sprovođenje je izjednačeno sa zdravstvenim nivoom stanovništva. Otuda ono daje niz društveno ekonomskih koristi kao što su:

- značajno povećanje kvaliteta i mogućnost brže edukacije,
- mogućnost praćenja i analize situacija u okruženju kroz statističke obrade podataka,
- dobijanje informacije kao resurs za naučno istraživačke aktivnosti,

- ujednačen nivo zdravstvene zaštite,
- povećan nivo informisanosti i obrazovanja,
- mogućnost brzih konsultacija,
- izbegavanje kašnjenja i pogrešaka,
- povećana dostupnost zdravstvenim drugim radnicima.

U našem okruženju još uvek korišćenje informatičkih tehnologija i Interneta nije zaživelo u onoj meri kojom bi se moglo reći da se građani mogu na ovaj način informisati i sticati nova znanja. Ovu činjenicu potvrđuje jedno istraživanje koje su studenti VTŠ iz Arandelovca izvršili na uzorku od 500 ispitanika iz ovog grada. Cilj nam je bio da utvrdimo koliko su građani informisani iz oblasti zaštite životne sredine, koliko koriste Internet i informatičke resurse u svom informisanju. Istraživanje je obavljeno u martu mesecu 2006 godine. Analza rezultata pokazuje da preko 70% ispitanika još uvek računar u kući drži radi komunikacije sa rodbinom i prijateljima, zatim za zabavu i posao koji rade. Treba istaći da je od ukupnog broja ispitanika samo njih 13% poseduje računar i to ispitanici svih uzrasta uzimajući i učenike i studente koji su bili u uzorku. Od ukupnog broja ispitanika njih 23,5% dalo je odgovore iz oblasti zaštite životne sredine. No njih 45,8% bi rado čitalo želi da sazna nešto više ako bi znali gde i kada to mogu uraditi. Veoma je važna konstatacija da bi 13,4% išlo na seminare i konferencije iz ove oblasti dok ostali navode razloge nedolaska posao, nedostatak vremena i dr. Znači potrebno je sačiniti strategiju iz oblasti informatizacije društva koja bi naslutila teme za 21. vek: pravo na pristup informacijama, doživotno učenje, promovisanje nacionalnog kulturnog sadržaja, zaštita prava pojedinaca u virtualnoj sferi, ali obrazovanje i edukovanje treba prići što pre i na organizovan način.

3. MOGUĆNOSTI U TRANSFERU PODATAKA

Upravljanje životnom sredinom i zdravljem ljudi uključuje skup tehnologija kao što su računari, računarske mreže, razni softverski paketi, video i specijalizovani uređaji sa primenjivim mikrokontrolerima, medicinski instrumenti i obučeni kadar. Osnovna osobina ovih sistema je da mogu prenti nalaze u vidu: slika, teksta, tabela, brojeva, grafikona, video zapisa, animacija i dr.

U ovoj oblasti se primjenjuje spektar različitih instrumenata, senzora i uređaja koji kao izlaz daju analogni ili digitalni signal. Na našim prostorima ovi uređaji nemaju visoke performanse u pogledu kvaliteta, a kadrovi u ovim oblastima nisu u dovoljnoj meri obučeni. Imajući u vidu nabavku i različite donacije, mnogi uređaji nisu kompatibilni, pa se događa da se teško dolazi do implementacije veoma značajnih podataka i njihove dalje obrade i primene.

Edukacione organizacije u svetu povećavaju obim korišćenja videokonferencijskog sistema da bi proširili njihove aktivnosti. Univerziteti, koledži i škole sve više uviđaju da je videokonferencija efikasan način isporuke edukacije i da olakšava komunikaciju unutar njihovih organizacija i šire. Ove komunikacije obezbeđuju da se vidi isto dobro kao i da se čuje uz povećanje interakcije između učesnika. Videokonferencijski sistem dopušta izbacivanje na displej prezentacionog materijala ili dokumenata za kolaborativni rad ili interaktivno učenje, čime se obezbeđuju značajne relacije u komunikaciji.

3.1. Neophodnost uključivanja u informatičko društvo

Istorija strateškog bavljenja informacionim i komunikacionim tehnologijama kod nas potiče od sredine devedesetih godina prošlog veka. Republika Srbija donela je 1996

“Zakon o informacionom sistemu”. Na osnovu ovog zakona, godišnje je donošena uredba kojom je usvajan “Program razvoja informacionog sistema” za svaku godinu, određivani izvršioци i obezbeđivana potrebna sredstva. Veoma moderna i sveobuhvatna “Strategija daljeg razvoja informatike u Saveznoj Republici Jugoslaviji” donesena je 1997.

Ovi dokumenti su relativno uspešno pretočeni u razvoj osnovnih informacionih sistema u državnim organima, i podstakli su razvoj zakonodavstva na saveznom i republičkom nivou, u oblastima o kojima se ranije nije razmišljalo. Strategija iz 1997 već je naslutila teme za 21. vek: pravo na pristup informacijama, doživotno učenje, promovisanje nacionalnog kulturnog sadržaja, zaštita prava pojedinaca u virtuelnoj sferi.

Međutim, krajem dvadesetog veka, problematika informatike i telekomunikacija počela je da se razmatra u jednom širem međunarodnom kontekstu. Svet je zaključio da se nalazi na pragu prelaska iz jednog u drugi oblik proizvodnje, jednako fundamentalan kao, na primer, prelazak iz feudalizma u kapitalizam. Od proizvodnje materijalnih dobara centar ekonomske aktivnosti počeo je da se pomera ka proizvodnji znanja. Iz industrijskog, počeli smo da prelazimo u Informaciono društvo.

Nova ekonomija znanja koju karakteriše skokovit rast, mogla je da pruži mogućnost i najsiromašnijima da ubrzano sustignu najbogatije. Ali istovremeno, bez obezbeđivanja osnove za razvoj ekonomije znanja, bogati bi se u takvoj ekonomiji sve više udaljavali od siromašnih, i što više vreme protice brzina tog udaljavanja bi bila sve veća.

Stvoren je novi termin, “digitalni jaz” koji je iziskivao novi, sveobuhvatniji pogled na mesto i ulogu informatike i telekomunikacija. Razvijene zemlje su veoma brzo utvrdile da je potrebno ustanoviti međunarodno usklađenu politiku i strategiju i pretočiti je u regionalne i nacionalne planove. Iz ovih zaključaka proizašao je evropski akcioni plan e-Evropa, na osnovu koga Evropska Unija od 2000. godine ubrzano menja svoje zakonodavstvo i organizacione strukture. Zemlje jugoistočne Evrope, pa stoga i Republika Srbija, usvojile su svoj plan u Beogradu 29. oktobra, 2002.

U Ženevi je od 10. do 12. decembra 2003. godine održan Svetski samit o informatičkom društvu (WSIS – *World Summit on the Information Society*). Svetski samit je održan u organizaciji Međunarodne unije za telekomunikacije (ITU – International Telecommunications Union) i pod pokroviteljstvom i učešćem generalnog sekretara UN, g. Kofi Anana (Kofi Annan). To je bila, u istoriji Međunarodne unije za telekomunikacije, jedna od najvećih manifestacija po broju država učesnika i na najvišem nivou zastupljenosti državnih predstavnika.

Na WSIS-u su usvojeni Deklaracija principa – zajednička vizija vrednosti informatičkog društva, i Akcioni plan – koji treba da trasira put za izgradnju ove vizije uz primenu informatičko komunikacionih tehnologija. Deklaracija principa i Akcioni plan su doneti opštim konsenzusom, bez rezervi i primenjivaće se u celom svetu najmanje do 2015. godine sa osnovnom porukom da se prevaziđe tzv. “digitalna podela” (*Digital divide*) sveta.

4. ZAKLJUČAK

Već danas treba pristupiti izradi Projekta informatizacije u sektoru zaštite životne sredine, sa jasno definisanim fazama realizacije. Projekat treba da definiše sve funkcije LAN mreže jedne ustanove koje će se u fazama realizovati po utvrđenom prioritetu.. Univerziteti, fakulteti i škole treba počnu sa nabavkom opreme i uređaja za

videokonferenciju jer se pokazala u praksi kao efikasan način isporuke edukacije i da olakšava komunikaciju unutar njihovih organizacija i šire. Ove komunikacije obezbeđuju da se vidi isto dobro kao i da se čuje uz povećanje interakcije između učesnika. Univerzitet su vodeće institucije koje snose odgovornost za procese edukacije i nivo efektivnog znanja i veština koje nose pojedinci u programima kontinuelne nadogradnje ekonomske moći nacije. Potrebe društva i ekonomije se konstantno menjaju u skladu sa razvojem informacionih i tehnoloških mogućnosti i od mogućnošću njihovog praćenja i prilagođavanja njima direktno zavisi uspeh i sam opstanak nacije. Glavni zadatak nacionalnog obrazovanja mora biti da aktivno učestvuje i kreira, a naročito da predvidi buduće tokove kretanja civilizacije i globalnih promena svetske zajednice. Na osnovu toga mora se kreirati program koji može da pripremi generacije pojedinaca i studenata da u sadašnjosti stečeno znanje uspešno i efektno po njih same i celokupnu zajednicu realizuju u budućem periodu na globalnom nivou.

LITERATURA

1. *Important Concepts in Telemedicine*, Malcolm Pradhan, Stenford University, 1994,
2. Berić B: Politika razvoja Informatičkog društva, Beograd. 2004
3. *European group proposes global telemedicine information society*, Douglas Page, 1998,
4. *Milenijumski razvojni ciljevi i informaciono društvo*, ICT Forum 2003,
5. Milosavljević, G. Internet obrazovanje – prezentacija, FON 2002.
6. Vulović, R.: Računarstvo i informatika, Epoha, 2002
7. Vulović, R.: Upravljanje životnom sredinom upotrebom računara, Arandelovac, 2005
8. <http://www.aph.gov.au>

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

EKO-INDUSTRIJSKI PARK I NEGOVA ULOGA U KONCEPTU ČISTIH I ZELENIH GRADOVA

J. Milivojević ¹⁾, A. Kokić Arsić ²⁾

Rezime: Bitan faktor u sistemu upravljanja otpadom je i eko-industrijski park. U radu su dati osnovna rešenja za eko-industrijski park, njegove funkcionalne karakteristike, organizacija i ključni procesi, kao i njegov uticaj na zapošljavanje i ostvarenje dobiti. S druge strane, prikazana je i njegova uloga u generisanju novih ekoloških tehnologija i izvora novih materijala i proizvoda.

Ključne reči: čisti i zeleni gradovi, eko-industrijski park, otpad, životna sredina, kvalitet života.

EKO-INDUSTRIAL PARK AND HIS ROLE IN CLEAN AND GREEN CITIES CONCEPT

Abstract: Among the other, Eko-Industrial Park is important factor in waste management system. This paper gives basic solution for eko-industrial park, his functional characteristics, organisation end key processes as well as his influence on employment and profits. On the other hand his roles in generation of new ecological technologies and as source of new materials and products is also shown.

Key words: clean and green cities, Eko-Industrial Park, waste, environment, quality of life.

1. UVOD

Svaka ljudska aktivnost (energetika, industrija, poljoprivreda, turizam, i dr.) pa i samo življenje, proizvodi otpad u većoj ili manjoj meri. To gomilanje otpada, dugoročno može izazvati nesagledive posledice po život i opstanak ljudi. Različiti si izvori nastanka otpada i u skladu sa njima se vrši opšta klasifikacija otpada, na primer: - komunalni otpad (iz domaćinstava, javnih objekata..)

- industrijski otpad (iz svih vrsta industrija, proizvodi na kraju životnog ciklusa)
- medicinski otpad (kao opasan biološki otpad)
- biološki otpad (zeleni masa u gradu, otpad u poljoprivredi, deo komunalnog otpada)

¹⁾ Jovan Milivojević, dipl.maš.ing., Zastava kamioni, Kragujevac, cqm@kg.ac.yu

²⁾ Aleksandra Kokić Arsić, dipl.maš.ing., Zastava automobili, Kragujevac,
akokic@kg.ac.yu

- ostali otpad (radioaktivni, opasne materije).

U predindustrijskoj eri i sa daleko manjim brojem stanovnika na planeti prirodni kapaciteti su bili dovoljni da razgrade nastali otpad. Danas, problem generisanog otpada je jako zabrinjavajući jer prirodni kapaciteti planete ni izdaleka nisu u stanju da ga razgrade. Posebni problem su jako urbanizovana područja i oblasti sa energetske i drugim prirodnim resursima (ugalj, nafta, rude). Ništa manji problem nije ni agrar (ostaci kultura, farme).

Generisani otpad izaziva jako zagađenje vazduha, vode i tla i na taj način ugrožava zdravlje ljudi i pogoršava kvalitet života. S druge strane, brojni su primeri nestanka velikog broja biljnih i životinjskih vrsta usled enormnog zagađenja i uništavanja njihovih staništa.

Otuda su od izuzetnog značaja sva systemska rešenja za kontinualno eliminisanje otpada, uključujući tu i eko-industrijski park i naučno tehnološki park za životnu sredinu.

2. EKO INDUSTRIJSKI PARK

Opšta međunarodna definicija eko-industrijskog parka (Lowe 2001.) glasi: „Eko-industrijski park ili institucija (EIP) je proizvodno i uslužno društvo za opštu zaštitu. Članovi društva obezbeđuju pojačane ekonomske, društvene i performanse životne sredine putem saradnje u upravljanju životnom sredinom i postojećim resursima. Zajedničkim radom ostvaruje se daleko veća korist od zbira individualne koristi svih pojedinačnih kompanija u ovoj oblasti. Cilj EIP je da unapredi ekonomske performanse uz učešće kompanija koje na taj način minimiziraju svoj uticaj na životnu sredinu. Komponente njihovog pristupa uključuju zeleni dizajn infrastrukture parka i pogona (novih, rekonstruisanih); čistu proizvodnju; prevenciju zagađenja; energetske efikasnosti; i partnerstvo između kompanija. EIP, takođe, vidi korist i za susedne zajednice kroz obezbeđenje pozitivnog povezanog uticaja na njihov razvoj.“

a. funkcionalne karakteristike

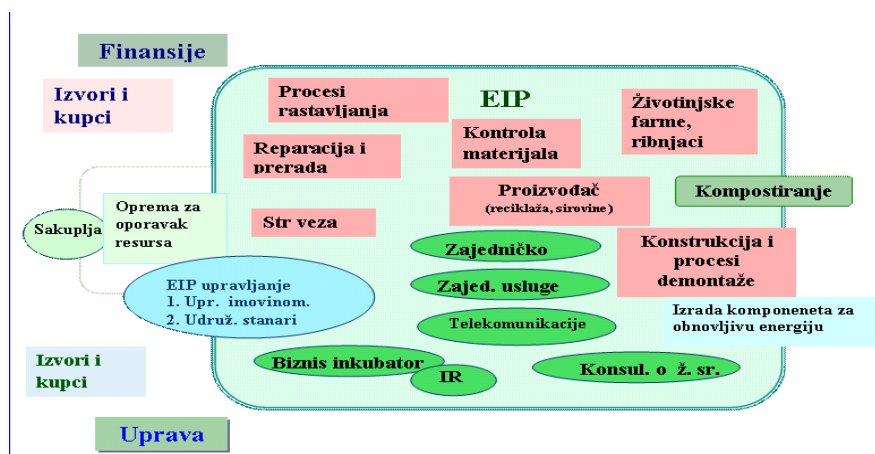
Inovativni most-EIP kojim se premošćuje jaz između ekonomskog razvoja i zaštite životne sredine zahteva visoko efektivno upravljanje. EIP je koncept na naučnim osnovama integrisanog upravljanja otpadom. Prednosti integrisanog upravljanja otpadom uz vodeću ulogu javnog sektora su sledeće:

- promene sa zaštitom javnih interesa: ekonomske, društvene i zaštite životne sredine,
- direktno se koriste vladina politika, IR i stimulacije,
- ne zahteva se profit, tako da se ne traži povraćaj investicija projekata,
- „profit“ od razvoja institucije obuhvata ekonomske, društvene i koristi za životnu sredinu
- dugoročno izučavanje,
- moć za pokretanje saradnje između firmi,
- ima moć prisile,
- može da ima set sopstvenih propisa,
- može povećati porez na prihod

Nedostaci ovakvog načina organizovanja su:

- promene u administraciji u vodećim agencijama mogu dovesti do prekida projekta,
- slab osećaj za vlasništvo,

- nedovoljno razumevanje za potrebe i vrednost biznisa,
 - fokus na regulative, bez obaziranja na ekonomsku racionalnost,
 - ponaša se kao centar (neprofitni) koji troši,
 - nejasna finansijska motivacija
- b. razvoj i organizacija**
- o Potvrđivanje iskustva u razvoju
 - prenošenje uspešnih iskustava kod uspostavljanja tradicionalnih i visoko tehnoloških industrija,
 - primer: eko-industrijski park/naučno zasnovani industrijski park,
 - brušenje naprednih tehnologija kroz unosni biznis,
 - pokretanje međunarodne saradnje i efektivnog biznisa,
 - obezbeđenje saradnje među partnerima sa obostranom dobiti.
 - o Razvoj zelene industrije
 - zelena tehnologija je potrebna za rešavanje problema životne sredine, što je ključno za rast zelene industrije
 - fokus na zelenu industriju:
 - čista proizvodnja
 - obnovljiva energija
 - strategijske tehnologije za životnu sredinu
 - reciklaža otpadnih voda
 - separacija otpada i regeneracija
 - obnavljanje resursa
 - popravka zemljišta



Slika 1. Konceptualni model EIP

3. KONCEPT ČISTIH I ZELENIH GRADOVA

Zeleno i čisto okruženje je esencijalno za kvalitet života, ekonomski razvoj, izgradnju društva i zdravlje životne sredine gradova. EIP je ključni inovativni projekat koji će u sinergiji sa drugim sličnim projektima učiniti gradove blistavo lepim i zdravim za život, a budućim generacijama obezbeđuje, bezbedan i kvalitetan život.

Deklaracijom UN o zelenim gradovima obuhvaćene su sledeće oblasti i aktivnosti:

- Energija (energetska efikasnost, obnovljivi izvori energije),
- Redukcija otpada (i reciklaža),
- Urbani dizajn (zeleni dizajn, siromašna naselja),
- Urbana priroda (parkovi, ulice, šire gradsko okruženje),
- Transport (čista vozila, inteligentni transport, saobraćajne gužve),
- Zdrava životna sredina (vazduh, voda, tlo, hrana),
- Voda (pitka voda, površinske vode, podzemne vode, korišćenje resursa, otpadne vode, ekosistemi),
- Obrazovanje za životnu sredinu (podizanje svesti, školski sistem, specijalno obrazovanje),
- Saradnja i uključivanje građana (obuka, programi),
- Legislativa (zeleni standardi, uredbe, dogovori).

Da bi se ostvarili principi zelenog i čistog grada neophodno je naći rešenje za efektno upravljanje otpadom.

Generisanje otpada je svakodnevni uslovljeni proces, pri kojem nastaju različite vrste otpada odgovarajućih količina i različitih oblika i nivoa štetnosti. Na prvom mestu je količina otpada kao kumulativna i jasno uočljiva karakteristika. Veličina grada i količine generisanog otpada su polazna osnova za izgradnju EIP. Pri tom je važna analiza otpada u gradskom području koja se uopšteno svodi na:

- komunalni otpad u kilogramima po stanovniku, i litara otpadne vode po stanovniku na dan,
- industrijski otpad (tona na dan,
- kraj životnog ciklusa proizvoda i ambalaža tona na dan,
- ostali otpad tona na dan.

Pored evidentnog, jasno uočljivog otpada, otpad u obliku emisije finih čestica (prašina, ultra sitne čestice), gasovi, jonizovane čestice i zračenja (različitih frekvencija, talasne dužine i energije) je obuhvaćen EIP kroz preventivna dejstva u industriji, energetici, transportu, i td.

4. ULOGA EKO- INDUSTRIJSKOG PARKA

Eko industrijski park je važna komponenta koncepta čistog i zelenog grada. On ima višestruku ulogu u uspostavljanju održivog razvoja i stvaranja dobrih i visoko humanih uslova za život ljudi. S druge strane, pokreće razvoj velikog broja zelenih industrija (visoko tehnoloških) i stvara uslove za razvoj profitabilnog biznisa i unapređenje ukupnog ekonomskog razvoja grada.

EIP je ključna inovacija u upravljanju otpada koji grad (opština/opštine) generiše. Doprinos eko parka je sledeći:

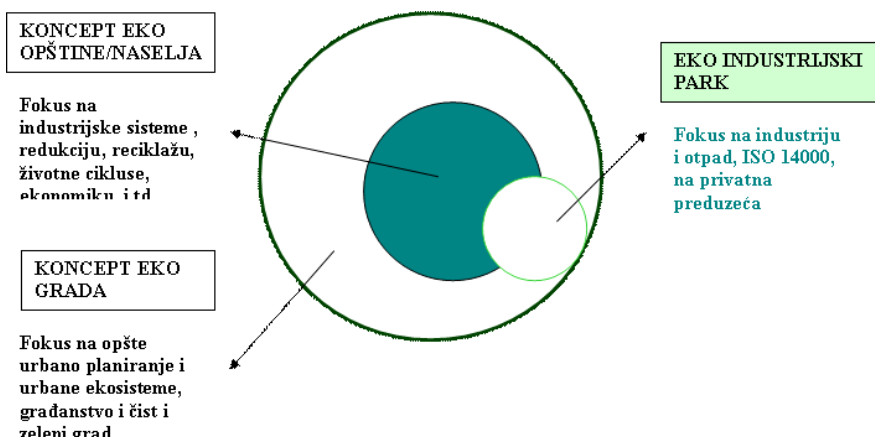
- preventiva u generisanju otpada (redukovanje otpada),
- integracija svih procesa vezanih za upravljanje otpadom,
- selekcija, obrada, razgradnja i reciklaža otpada,
- odlaganje i upravljanje konačnim otpadom (opasan otpad, nerazgradljiv otpad),
- obnavljanje i ozdravljenje resursa,
- razvoj novih zelenih industrija i zelenog biznisa.

U cilju eliminisanja otpada ili njegove minimizacije neophodno je realizovati sledeća inovativna rešenja:

- 100% reciklabilni materijali,
- zeleni proizvodi i usluge,
- ekološki neincidentna (zeleni) industrija,
- proizvodnja biološke (eko) hrane,

5. ZAKLJUČAK

U savremenom konceptu čistih i zelenih gradova uloga i mesto eko industrijskog parka je od esencijalnog značaja. Bez izgrađenog EIP nije moguće realizovati efektan i bezbedan sistem upravljanja otpadom. EIP se najčešće gradi za jedan grad, ali ukoliko su gradovi odnosno naselja relativno blizu može pokrivati dva ili tri grada.



Slika 2. Model upravljanja otpadom u konceptu čistih i zelenih gradova

Uloga eko industrijskog parka se ogleda u:

- preventivnom delovanju na generisanje i tretman otpada,
- razvoju zelenih tehnologija i usluga,
- razvoju zelenih industrija i energije,
- koristi resurse otpada za dobijanje kvalitetnih materijala, energije i proizvoda,
- pokretanju održivog razvoja,
- u obnavljanju i ozdravljenju prirodnih i drugih resursa,
- razvoju novog biznisa, zapošljavanju i stvaranju profita,

Otuda je izgradnja EIP u svim većim gradovima nezaobilazna potreba i važan element infrastrukture za izgradnju bolje, zdravije i lepše budućnosti.

Literatura

1. The Eco-Town Initiative in Japan, Yuichi Nagasaka, Global Environment Centre Foundation, <http://gec.jp>
2. Eco-Towns in Japan, Global Environment Centre Foundation, June, 2005
3. Global Environment Centre Foundation Annual Report 2004

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

МОГУЋНОСТ КОРИШТЕЊА РЕЦИКЛИРАНОГ ТЕРМОПЛАСТА

М. Шљивић¹⁾, З. Јањуш²⁾

РЕЗИМЕ. У овом раду је обрађена могућност поновне употребе већ коришћених полимерних материјала њиховим рециклирањем, са становишта промјене механичких особина.

Испитиване су стандардне епрувете основног материјала полиетилена, полистирена и полипропилена као и секундарних материјала кроз пет циклуса рециклаже. Извршено је мјерење величина карактеристичних за испитивање зетезањем, смицањем и мјерење тврдоће.

Обрађени су резултати промјене најважнијих механичких особина и добијени закони њихових промјена у зависности од циклуса рециклаже.

Кључне речи: полимерни материјали, рециклажа, поновна употреба, промјена механичких особина, циклус

POSSIBILITY OF USED RECYCLING POLYMER MATERIALS

ABSTRACT. In this work we presented the possibility of re-use of already used polymer materials by their recycling from the point of view of the change of mechanical and reological characteristics.

In the experimental part, the standard test tubes of basic material of polyethylene, polystyrene and polypropylene as well as secondary materials were tested through five series of recycling. The measurement of the values characteristic for testing by the process of tension, removing, and impact was performed as well as the measurement of hardness.

Scientific part presents the results of change of the most important mechanical characteristics and laws of their changes depending on the series of recycling.

1. УВОД

Прошли вијек је обиљежен изузетно брзим развојем свих грана индустрије. Како је технологија напредовала повећавале су се и људске потребе за различитим врстама производа. То је довело до велике и неконтролисане експлоатације сировина.

¹⁾ Проф. др Милан Шљивић, Машински факултет, Бањалука, Република Српска, БиХ

²⁾ Мр Зоран Јањуш, Машински факултет, Бањалука, Република Српска, БиХ

Данас, у потрошачком друштву, карактеристично је да се производ мијења новим, модернијим, функционалнијим и естетски допадљивијим, и прије истека његовог експлоатационог вијека.

Да би се добио нов производ задовољавајућих техничких особина, допадљивог изгледа, кратког вијека трајања на тржишту и ниске цијене, потребно је оптимизирати све фазе од његове креације до настанка и продаје. Једна од мјера оптимизације је и употреба јефтинијих техничких материјала.

Пластичне масе као технички материјал појавиле су се још у првој половини прошлог вијека. Њихова употреба има сталан тренд раста. Захваљујући изузетно повољном односу карактеристике-квалитет-цијена и чињеници да се техничке особине пластичних маса могу лако прилагодити различитим експлоатационим захтјевима, као и релативно једноставним поступцима обраде, долази до све веће примјене пластичних маса као техничког материјала. До данас, ни за један други материјал није забиљежен тако брз развој.

Пластичне масе (полимерни материјали) имају изузетно широку примјену у различитим областима (гранама) технике и људских потреба. Масовна употреба је у грађевинарству, прехранбеној индустрији, у производњи различите амбалаже, у производњи намјештаја и покућства, у електротехници и електроници, пољопривреди, хемијској индустрији, аутомобилској и авио индустрији, војној индустрији и сл.

Приликом креирања производа не треба занемарити чињеницу да је његов експлоатациони вијек ограничен и да ће се кад-тад наћи на депонији за одлагање отпада. Значајно мјесто на депонијама имају и производи израђени од пластичних маса.

Проблем код даљње употребе полимерних материјала је чињеница да постоји више различитих врста полимера и да свака од њих захтијева различит приступ даље експлоатације.

Истраживањем се дошло до закључка да се проблем материјала пластичних маса (полимерних материјала) у отпаду може рјешавати на више начина: рационализацијом броја дијелова будућег производа, компостирањем биоразградивих полимера, рециклирањем и одлагањем на прописане депоније.

2. РЕЦИКЛАЖА ПЛАСТИКЕ

Начин рециклирања пластичне масе одређује се према врсти полимера, структури грађе и економским показатељима.

Рециклирање полимерног отпада врши се у циљу добијања:

- материјала,
- сировина и
- енергије.

Утицајни параметри на рециклирање у сврху добијања материјала су врста полимера и стање у коме се налази. Карактеристика ове рециклаже је да не нарушава првобитну макромолекуларну грађу и хемијски састав полимера.

Ова врста рециклаже погодна је углавном за термопласте, за разлику од дуропласта, који се због своје унутрашње грађе не могу топити ни растварати.

Са становишта процеса рециклаже термопласте дијелимо на: термопласте високе чистоће и запљане термопласте.

Најједноставнији начин рециклирања термопласта у циљу добијања новог материјала јесте када се ради о термопласту високе чистоће. У ову групу спадају материјали који представљају вишак материјала на готовом производу па се са њега механички одстрањују, и дијелови готових производа на којима је уочена било каква грешка. За ову групу је битно да није дошла у контакт са било каквим нечистоћама. Употреба оваквог полимерног отпада има дугу традицију.

Рециклажа у сврху добијања сировина или хемијска рециклажа је поступак за добијање сировина које се послје пречишћавања и дораде могу користити за синтезу нових полимера.

Прије рециклирања материјале је потребно очистити, разврстати и превести у облик погодан за рециклирање.

Продукти добијени поступцима хемијске рециклаже даље се прерађују у постројењима за прераду нафте.

У полимерима је сачувана укупна енергија нафте. Ако полимере није могуће рециклирати на други начин, могу се спаљивати у топланама-енерганам и искористити за загријавање и производњу електричне енергије. Такође, присуство полимера поспјешује и горење комуналног отпада.

У свијету је већ изграђен велики број топлана у којима се као гориво користи комунални отпад. Присуство полимерног отпада у комуналном отпаду битно доприноси његовом бољем сагоријевању.

3. ИСПИТИВАЊЕ МЕХАНИЧКИХ ОСОБИНА ТЕРМОПЛАСТА

Експериментом је истраживан утицај вишеструке рециклаже термопласта на промјену механичких особина кроз циклусе. Циљ је да се изведу закључци о могућности, квалитету и поузданости употребе рециклираног материјала. Промјене механичких особина праћене су на три материјала упоредо, кроз пет циклуса рециклаже.

За експеримент су кориштена три основна материјала:

1. Полиетилен (polyethylene PE-LD, Chemopetrol,a,s, Litvinov Czech Republic),
2. Полистирен (polystyrene PS, DiOKI d.d., Zagreb Croatia),
3. Полипропилен (polypropylene PP, Hipol, Chemical industry, Odžaci SiCG).

Материјал је прерађен у епрувете за испитивање затезањем на којима је мјерена и тврдоћа, а из њих су изрезивани припремци за мјерење напона смицања. Епрувете су ливене у специјално направљеном калупу.



Слика 1. Грануле



Слика 2. Рециклат



Слика 3. Епрувета

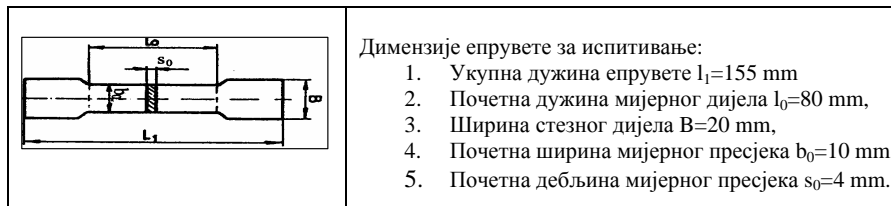


Слика 4. Калуп

Сировина за прераду основног материјала је у облику гранула облик благих ивица, док је сировина за прераду рециклата оштрих грубих ивица.

Експериментом је праћена промјена:

- Затезне чврстоће,
- Чврстоће смицања и
- Тврдоће по Rockwel-у



Слика 5. Облик и димензије епрувете за испитивање

Функције промјене у зависности од циклуса рециклаже представљене су полиномом четвртог или петог степена. Циклус рециклаже означен је словом N . Коэффициент детерминације R ($0 \leq R \leq 1$) показује у којој мјери су експериментални резултати објашњени апроксимативним .

Табела 1.

ЦИКЛУС РЕЦИКЛАЖЕ	0	I	II	III	IV	V	ОБРАЗАЦ ПРОМЈЕНЕ	R ²
ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА R_m [N/mm ²] ПОЛИЕТИЛЕНА	22,93	23,544	23,789	24,402	23,97	23,667	$R_m = 0,0085N^4 - 0,1003N^3 + 0,2466N^2 + 0,3553N + 22,949$	0,9234
ЧВРСТОЋА СМИЦАЊА τ_m [N/mm ²] ПОЛИЕТИЛЕНА	31,08	29,44	28,6	28,6	27,63	27,29	$\tau_m = 0,0325N^4 - 0,3831N^3 + 1,5411N^2 - 2,9557N + 31,101$	0,9882
ТВРДОЋА НРС(Rockwel) ПОЛИЕТИЛЕНА	77,5	80	77	79	78	77,5	$R = 0,25N^3 - 3,2708N^2 + 15,125N^3 - 28,979N^2 + 19,375N + 77,5$	1
ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА R_m [N/mm ²] ПОЛИСТИРЕНА	17,352	22,931	20,91	20,049	20,908	20,478	$R_m = - 0,2452N^4 + 2,7596N^3 - 10,17N^2 + 13,124N + 17,37$	0,9948
ЧВРСТОЋА СМИЦАЊА τ_m [N/mm ²] ПОЛИСТИРЕНА	36,88	35,58	34,99	34,49	34,07	31,63	$\tau_m = - 0,0308N^4 + 0,1817N^3 - 0,0867N^2 - 1,2999N + 36,869$	0,9981
ТВРДОЋА НРС(Rockwel) ПОЛИСТИРЕНА	91,5	91	89,5	87,5	88	87,5	$R = - 0,0833N^4 + 0,9167N^3 - 3,0417N^2 + 1,9226N + 91,464$	0,9797
ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА R_m [N/mm ²] ПОЛИПРОПИЛЕНА	29,307	29,43	29,614	29,675	30,288	30,656	$R_m = - 0,0128N^4 + 0,1323N^3 - 0,3741N^2 + 0,4331N + 29,298$	0,9846
ЧВРСТОЋА СМИЦАЊА τ_m [N/mm ²] ПОЛИПРОПИЛЕНА	36,0	35,41	35,54	34,95	34,65	33,1	$\tau_m = - 0,0021N^4 - 0,0423N^3 + 0,2932N^2 - 0,7197N + 35,98$	0,9808
ТВРДОЋА НРС (Rockwel) ПОЛИПРОПИЛЕНА	83,5	85,5	84	81	81,5	84,5	$R = - 0,0625N^4 + 1,0417N^3 - 4,8125N^2 + 6,0476N + 83,464$	0,979

4. ЗАКЉУЧАК

На основу спроведене анализе и експерименталних истраживања може се закључити:

- Испитиване полимерне материјале могуће поново употребљавати до петог циклуса рециклаже.
- Све посматране величине имају релативно малу промјену вриједности кроз циклусе.
- Промјене вриједности величина кроз циклусе имају благ карактер, без радикаланих, хаотичних (неконтролисаних) или неочекиваних резултата. Такве промјене су описане подесном математичком функцијом.
- Промјене посматраних величина у функцији циклуса рециклаже са задовољавајућом тачношћу су представљене полиномским функцијама четвртог или петог степена.
- Обрасци (функције или формуле) којим се описује промјена величине кроз циклусе рециклаже омогућавају њихово аналитичко израчунавање чиме се пружа могућност препоруке вишекратне употребе материјала.
- Ни једна промјена посматране величине кроз циклусе рециклаже за различите материјале нема идентичан карактер. Разлике се крећу од незнатних до значајних. Због тога се ни једна промјена неке величине за различите материјале не може описати истим обрасцем. Свака величина за различит материјал има посебан образац промјене.
- Може се закључити да је рециклирани термопласт поуздан за употребу и да има стабилне механичке особине.

5. ЛИТЕРАТУРА

1. З. Јањуш, Поузданост употребе рециклираног термопласта, Магистарски рад, Машински факултет, Бања Лука, 2005.
2. М. Шљивић, М. Станојевић, Основе производних технологија, Машински факултет, Бања Лука, 2003
3. Н. Скакић, Теорија вјероватноће и математичка статистика, Научна књига, Београд, 2001.
4. С. Јовановић, П. Милетић, В. Бојанић, Ж. Топић, Рециклирање полимерног отпада, Пољопривредни факултет, Бања Лука, 2002.



MEHANIČKO RECIKLIRANJE PLASTIKE

S. Radonjić ¹⁾, P. Kovač ²⁾

Rezime: *Recikliranje ima veliki značaj u očuvanju prirodnih resursa. Proizvodi od plastike su dugotrajni i mogu se pakovati i koristiti ponovo. Broj biznisa koji se bave recikliranjem se utrostručio od 1990. postoji više od 1300 komercijalnih proizvoda napravljenih od pakovanja i korišćene plastike, kao što su proizvodi za kancelarije, klupe za parkove, džemperi, farmerice, boce za deterdžent, i igračke. Pre nego što se plastika reciklira mora biti prikupljena iz tokova otpada, zatim sortirana i zgusnuta. Postoje mehanički načini recikliranja, hemijsko recikliranje i spaljivanje. U radu su prikazani mehanički način recikliranja plastike od koje se zatim prizvde određeni proizvodi kao vodovodne i kanalizacione cevi itd*

Ključne reči: *plastika, recikliranje, proizvodi od reciklirane plastike*

MECHANICAL RECYCLING OF PLASTIC

Abstract: *Recycling is very significant way to conserve resources. Plastic durability allows many product and packing to be used over again. The number of plastic recycling businesses has tripled since 1990. There are more than 1300 commercially available products made with or packaged in post-consumer recycled plastic, including office supplies, park benches, sweaters, jeans, detergent bottles, and toys. Before plastic can be recycled must be collected from waste stream than are sorted and densificated. There are mechanical recycling, chemical recycling of plastic and incineration. In the paper are presented some products from recycled plastic produced in domestic enterprises.*

Key words: *plastic, recycling, products from recycled plastic*

1. UVOD

Prednosti plastike u odnosu na druge sirovine počinju delimično da se javljaju već na samom početku njenog životnog ciklusa. Istraživanja pokazuju da je uglavnom potrebno manje energije za proizvodnju proizvoda od plastike nego drugih, ali pošto većina plastike zavisi od uglja ili gasa, plastika je odgovorna samo za malu konzumaciju ovih goriva. Međutim pošto su proizvodi od plastike lagani lakše se skladište i transportuju pa se ovde uštedi na energiji.

Recikliranje plastike je u početnoj fazi razvoja pošto je i cela industrija relativno mlada. Budući razvoj recikliranja koji se istražuje, je recikliranje pojedinih hemijskih komponenti plastike za njihovo ponovno korišćenje kao hemikalija ili za proizvodnju nove plastike.

¹⁾ Prof. dr Snežana Radonjić, Tehnički fakultet, Čačak, snezar@tfc.kg.ac.yu

²⁾ Prof. dr Pavao Kovač, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, pkovac@uns.ns.ac.yu

2. RUKOVANJE PLASTIČNIM OTPADOM

Studije koje su urađene u cilju definisanja tehničkih aspekta rukovanja plastičnim otpadom predviđaju:

- mehaničko recikliranje,
- hemijsko recikliranje,
- spaljivanje i
- zatrpavanja (deponije).

2.1. Mehaničko recikliranje

Mehaničko recikliranje se odnosi na procese recikliranja gde se plastični otpad tretira kroz razdvajanje prosijavanje i mlevenje. Zatim se ovako mali komadići najčešće veličine nokta dalje peru i odstranjuje se zaostali kontaminirajući materijali, kao što su papirne nalepnice ili sadržaj koji je u njima bio pakovan. Mešani materijal se šalje proizvođačima plastike kao čiste pahuljice. Završno odvajanje se može vršiti tako što se isečene i očišćene pahuljice ubacuju u vodeno kupatilo gde lakše vrste plastike plivaju na površini a teže potonu. Na ovaj način se odvajaju PET flaše od HDPE poklopaca flaša. HDPE ima specifičnu težinu oko 0,96 tako da pliva a PET ima specifičnu težinu 1.2 tako da tone.

U zavisnosti od sastava, kvalitet reciklata može mnogo da varira. Reciklat „visokog kvaliteta“ može da se odmah ponovo koristi, dok „slab kvalitet“ reciklata može samo da se koristi u proizvodima koji se prave od drugog materijala.

2.2. Hemijsko recikliranje

Hemijski proces recikliranja razlaže polimere u monomere (koji se koriste za proizvodnju novih polimera) ili druge supstance (koji se koriste kao sirovine u bazičnoj hemijskoj industriji). Hlor se oslobađa u obliku HCl i onda se ponovo koristi ili neutrališe u obliku različitih proizvoda. Stabilizatori koji sadrže teške metale uglavnom završavaju u čvrstim ostacima, koji se verovatno u većini slučajeva zatrpavaju. Hemijski proces recikliranja može da se kategoriše na osnovu mogućnosti rukovanja sa velikim ili malim sadržajem hlora. U Zelenoj karti se napominje da od tri postrojenja sagrađena za hemijsko recikliranje otpada sa malim sadržajem hlora, dva su zatvorena zbog ekonomskih razloga i snabdevanja. Prema tome vidi se da hemijsko recikliranje otpada nije atraktivno zbog ekonomskih razloga. Životni ciklus nekih hemijski reciklirajućih procesa više bi doprineo korišćenju energije i globalnom zagrevanju nego spaljivane čvrstog otpada ili zatrpavanje.

2.3. Spaljivanje

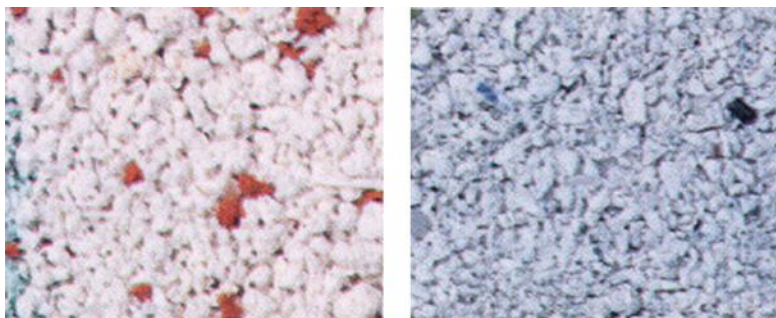
Ponovno korišćenje nije je jedini način za recikliranje plastike. Druga opcija je iskorišćenje toplotnog sadržaja plastike kao alternativnog izvora energije. Jedna tipična količina polimera koja može da se nađe u kućnom otpadu daje 38 mil J po kilogramu (MJ/kg), a ekvivalentna količina uglja daje 31 MJ/kg. Ovo predstavlja vredan izvor kalorične vrednosti u domaćem otpadu, koja može da se vrati kroz kontrolisano sagorevanje i ponovno korišćenje u obliku toplote ili pare za električne generatore

3. PROIZVODI OD RECIKLIRANE PLASTIKE

U toku procesa prerade plastike navedenim postupcima stvara se izvesna količina tehnološkog otpada koju ne možemo izbeći niti pak zanemariti. Kod novijih mašina taj procenat je sigurno manji dok kod starijih koje se još uvek održavaju u nekom radnom

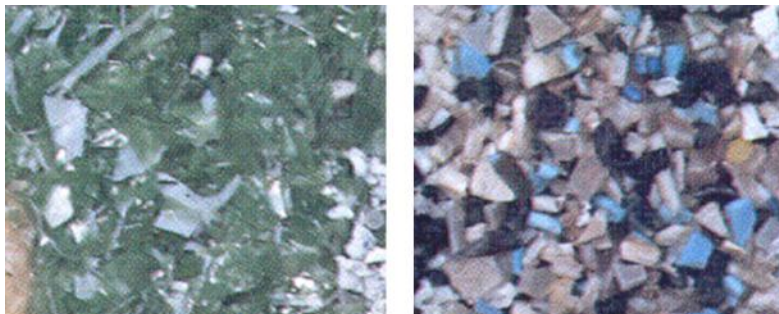
stanju taj procenat je zabrinjavajuće veliki. Prosečni procenat otpada kod preduzeća koji se bave ovom vrstom delatnosti kreće se između 5-8% mada kod nekih taj procenat je i preko 10%. To su velike količine otpada koje kada se prerade mogu popraviti finansijske rezultate svakog prerađivača, iz tog razloga svi prerađivači u svojim pogonima imaju neki sistema za reciklažu tehnološkog otpada.

Za mlevenje plastičnog otpada mogu se koristiti mikseri. Oni se sastoje iz cilindra na kome su pri dnu postavljeni statički noževi između kojih prolazi rotacioni nož jednodelni ili ukršteni dvodelni. Odozgo se ulaže otpad koji treba samleti. Mora se proceniti količina koja se ulaže da se cilindar ne prepuni. Zbog velikog otpora rezanja samleveni materijal se u jednom momentu pretvara u džemastu masu. Tada treba dodati jednu čašu vode da bi došlo do granulacije mase. Kada masa granulira treba otvoriti otvor na donjoj strani cilindra i masu ispustiti u posudu za prihvatanje. Nakon toga zatvoriti otvor i uložiti sledeću količinu itd. Miksovani regenerat najviše liči na krupno mlevene kokice. Pakuje se u papirne vreće i ne zatvara se odmah da zaostala voda sama ispari, a jednim delom je upije papirna vreća. Nakon toga regenerat je spreman za ponovnu preradu u ekstruderu. Izgled miksovanog regenerata dat je na slici 1.



Slika 1. Izgled miksovanog regenerata od plastike

Za preradu plastičnog otpada se koriste sporohodni mlinovi. Mlinovi ovog tipa služe da usitne otpad u sitne komade koji se dalje prerađuju u ekstruderu za granulaciju. Na slici 2 dat je izgled samlevenog otpada.



Slika 2. Izgled samlevenog otpada

U obradni proces se dalje uključuje ekstruder za regeneraciju. To je standardni ekstruder samo što mu je glava prilagođena zadatku koji obavlja. Na glavi po obodu

okrenute prema napred se nalazi više ispusta - diznica kroz koje prolazi rastopljena masa u obliku špageta. Te špagete može rezati u tako žitkom stanju rotacioni nož a vakum uređaj ih prihvata i cevima transportuje u spremnik pri čemu se na tom putu granule i ohlade. Pri transportu kroz cevi granule, koje su u plastičnom stanju se okreću, prevrću i kotrljaju pa dobiju oblik kao na slici 3.



Slika 3. Izgled granula posle preade



Slika 4. Regenerat od štampanog otpada

Drugi način je da se špagete uvedu u vodeni kupelj gde se hlade i očvrstnu. Pri izlasku iz vodene kupke prolaze kroz filcane skidače vlage i nakon toga uvode u alat za rezanje. Izgled ovakvih granula je dat na slici 4.

Dobijeni regenerat od prethodno sortiranih materijala se takođe sortira, pakuje u plastične providne vreće da bi se uvek videlo o kakvom se regeneratu radi. U vreću se stavlja obavezno kontrolni listić gde se upisuje težina vreće koja iznosi 20 kg, vrsta sirovine od koje je regenerat (laka ambalaža, teška, mleko), boja se ne piše jer se vidi. Tako upakovan regenerat se paletira i predaje magacinu i sa njim se postupa kao sa regularnom sirovinom. Regenerat od štampanog otpada je u raznim bojama (slika 4) i jedino se koristi sa dodatkom crnog masterbača za proizvodnju crnih folija za potrebe poljoprivrede ili crnih creva za konfekcioniranje vreća za smeće. Ostale vrste regenerata mogu se koristiti prema potrebi sami ili izmešani sa odgovarajućom sirovinom. Od regenerata bilo čisto ili izmešanog ne proizvode se kese za pakovanje hrane ili mleka već neki proizvodi koji nisu direktno u kontaktu sa hranom kao što su treger kese, ambalažne vreće, navlake i sl.

Kod nas ima malo primera korišćenja recikliranog plastičnog otpada. Uglavnom koji proizvođači plastičnih proizvoda i da recikliraju svoj plastični otpad. U ovom primeru proizvođača iz Doljevcana kod Niša, (slika 5) je prikazana prikupljena i sortirana količina plastičnog otpada, koja je spremljena za dalju preradu.

Na slici 6 je prikazano mehaničko recikliranje kada se plastični otpad melje u mašini pomoću mehaničkih rotacionih noževa. Finalni proizvod je prikazan na slici 4. Na slici 6. je prikazan deo pogona za proizvodnju plastičnih cevi.



Slika 5. Prikupljena i selektirana plastika

Mlevenjem se znatno smanjuje njegova zapremina i priprema se za ponovno korišćenje. Izgled samljevenog otpadnog materijala je na slici 7. Pripremljeni plastični materijal se zatim koristi u ekstruderu za izvlačenje plastičnih cevi. Na sl. 8 je prikazan alat i mašina za izvlačenje. Gotov proizvod se zatim hladi i namotava na kotur slika 9.



Slika 6. Mlevenje prikupljene plastike



Slika 7. Pripremljena samlevena plastika



Slika 8. Mašina i alat za izvlačenje cevi



Slika 9. Finalni proizvod

4. ZAKLJUČAK

Izborom pravilne tehnologije prerade moguće je reciklirati plastični otpad koristiti za proizvodnju korisnih proizvoda.

LITERATURA

1. *Hodolič J., Badiada M., Majernik M., Šebo D.*: Mašinstvo u inženjerstvu zaštite životne sredine, FTN, Novi Sad, 2003.
2. *Nikić Z., Radonjić S.*: Mašinska obrada nemetala, Tehnički fakultet u Čačku, 1998.
3. *Đorđević S.*: Tehnologija izrade plastičnih cevi, Diplomski rad, Tehnički fakultet Čačak, 2006
4. *Vujković IA* Polimerna i kombinovana ambalaža, POLI, NOVI SAD, 1997
5. *Plavšić M.*: Polimerni materijali. Nauka i inženjerstvo, Naučna knjiga, Beograd 1996.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

ISTRAŽIVANJE MOGUĆNOSTI KOMPACTIRANJA METALNOG OTPADA ELEKTROMAGNETNOM IMPULSNOM TEHNOLOGIJOM

M. Jevtić ¹⁾, V. Zeljković ²⁾, D. Ilić ³⁾

Rezime: U radu je data mogućnost primene nekih postavki matematičke fizike i teorije elektromagnetike za slučaj kompaktiranja metalnog otpada. Energija elektromagnetnog impulsnog polja se može iskoristiti za kompaktiranje metalnog otpada. U radu se daje koncepcija i konfiguracija eksperimentalnog sistema.

Ključne reči: Metalni otpad, kompaktiranje, elektromagnetni impuls

RESEARCH OF APPLICATION OF ELEKTRO-MAGNETIC IMPULSE TECHNOLOGY FOR COMPACTING METAL WASTE

Summary: A new possibility of applying some mathematical physics and electromagnetic theory theses is given in the paper. Electromagnetic pulse field energy is used for deforming pieces which are to be processed according to a defined form. The authors expose the physical thesis of the deformation process and give the concept and configuration of the technological system for processing by deformation.

Key words: Metal wast, compacting, electrical pulse discharge

1. UVOD

Istraživanje ove metode se izvodi u LOLA Institutu u duhu razvoja novih tehnologija i postupaka. Predmet ovog rada je jedna od novih metoda, koji su autori nazvali EMIO (Elektro Magnetna Impulsna Obrada). Metoda EMIO sa jednostrukim pretvaranjem energije omogućava dobijanje obradka složene konfiguracije u veoma kratkom vremenu od 40 mikrosekundi. Suština metode EMIO i relevantna fizikalnost procesa, kao i teorijske postavke su locirane u teoriji matematičke fizike i elektromagnetike. Kroz izolovane provodnike induktora se propuštaju snažni impulsi električne energije i u radnoj zoni se formira impulsno elektromagnetno polje. Uzajamno dejstvo elektromagnetnog polja i indukovane struje u obradku u radnoj zoni se manifestuje

¹⁾ Dr Milenko Jevtić, LOLA Institut, Beograd

²⁾ Vladimir Zeljković, ITN SANU, Beograd, vladazz@yahoo.com

³⁾ Dragomir Ilić, LOLA Sistem, Beograd

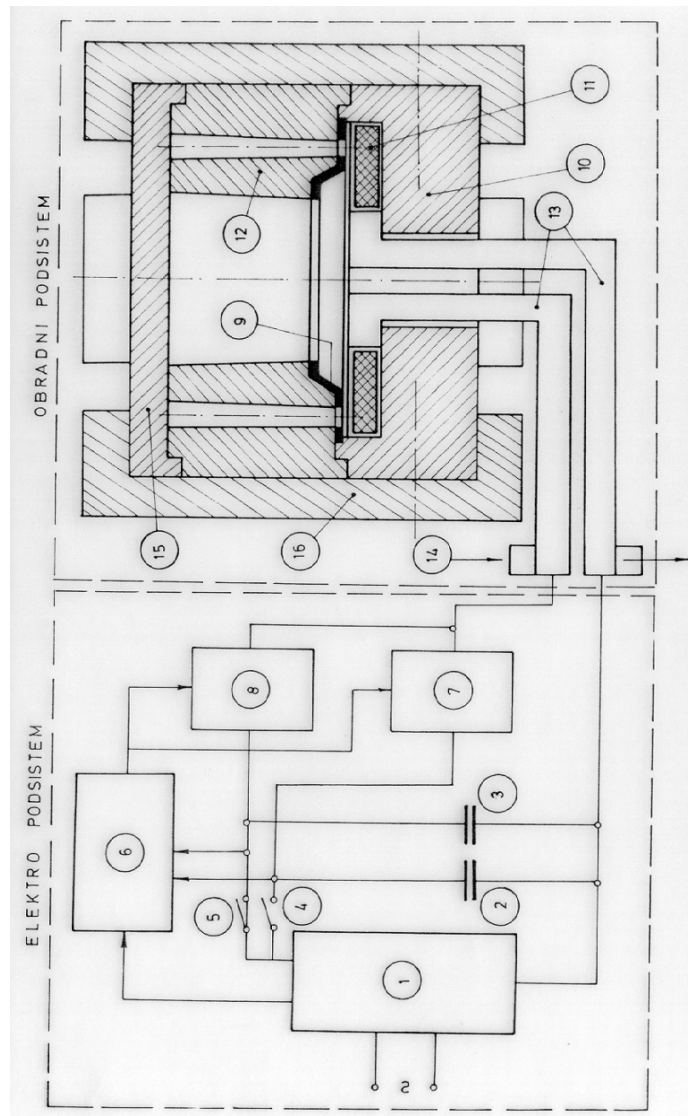
Rad u okviru projekta MNZŽS RS br 6320B, Razvoj sistema separatnog sakupljanja, transporta, pretovara i kompaktiranja komunalnog otpada, 2005-2007.

nastankom ponderomotornih sila, koje kao mehanički pritisak magnetnog polja djeluju na obradak i izvode željeni koristan rad na obradku.

Ovakav tehnološki postupak se može iskoristiti za kompaktiranje (rasutog) metalnog otpada, što se analizira u ovom radu.

2. RAZVOJ EKSPERIMENTALNE INSTALACIJE

U cilju izvođenja eksperimentalnih ispitivanja razvijena je i kompletirana eksperimentalna instalacija, koja je šematski prikazana na slici 1.



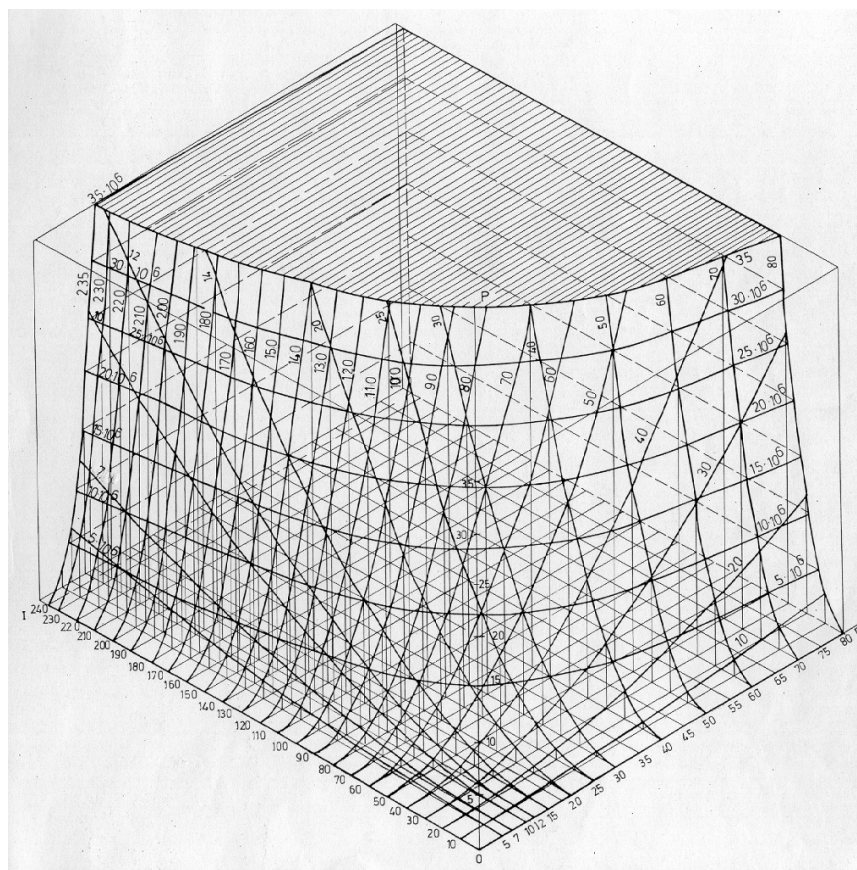
Slika 1. Prikaz eksperimentalne instalacije EMIO

Teorijskim istraživanjem se došlo do matematičke relacije (1), koja predstavlja zavisnost pritiska elektromagnetnog polja P od magnetne propustljivosti μ_0 , Koeficijenta slabljenja magnetnog polja K , jačine struje I i dimenzija obredka u radnoj zoni sl .

$$P = \mu_0 \frac{n^2 K s I_{max}^2}{2l^2} \quad (1)$$

Korektnost izraza (1) je proverena i dimenzionom analizom.

Zavisnost osnovnih parametara je predstavljena na slici 2 u obliku prostornog dijagrama.



Slika 2. Prikaz proračunom dobijenih parametara

Može se videti da u šrafiranoj zoni malim promenama električnih parametara odgovara asimptotski porast pritiska magnetnog polja P , a što EMIO metodu čini veoma interesantnom i tehnički atraktivnom.

Izgled induktora je predstavljen na slici 3.

Pri izvođenju eksperimentalnih ispitivanja proces pražnjenja kondenzatora je praćen pomoću osciloskopa sa memorijom kako bi se utvrdilo stvarno vreme odvijanja procesa u radnoj zoni EMIO.



Slika 3. Izgled induktora EMIO

3. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISPITIVANJA

Sprovedenim eksperimentalnim ispitivanjima dobijeni su afirmativni rezultati pri čemu je eksperimentalno verifikovana fizikalnost procesa EMIO i dobijeni su konkretni deformisani obradci od čeličnog lima. Eksperimenti su izvedeni sa različitim energetske nivoima, a u slučaju bakarnog lima $\phi 220 \times 2,5$ mm izvršeno je izvlačenje $\phi 125 \times 40$ mm, dok je kod čeličnog lima sa nižim energetske nivoom lim $\phi 220 \times 1$ mm deformisan izvlačenjem $\phi 125 \times 20$ mm. Pri eksperimentalnim ispitivanjima variran je napon pražnjenja u intervalu od 0,5 do 6,0 KV pri čemu su dobijeni različiti energetske nivoi. Na slici 5. je dat snimak deformisanog lima sa EMIO tehnologijom.

4. ZAKLJUČAK

Eksperimentima metodom EMIO je verifikovana fizikalnost procesa i dobijeni su konkretni uzorci, od kojih je jedan prikazan u radu. Sprovedenim ispitivanjem EMIO dobijeni su pozitivni rezultati pa ovakvo ispitivanje je nastavljeno u cilju primene ove tehnologije u oblasti kompaktiranja metalnog (rasutog) otpada.



Slika 5. Snimak deformisanog lima sa EMIO postupkom

5. LITERATURA

1. Wilson, E., High Velocity Forming of Metals, American Society of Tool and Manufacturing Engineerings, N.Y., USA, 1978
2. Jevtić, M.B., Nikolić, D., Visokobrzinska EMIO obrada, LOLA Saopštenja 25 (1990), 39, XLIII Naučni skup LOLA, LOLA Institut, Beograd, 1991, str. 5031-5041
3. Jevtić, M.B., Nikolić, D., Obrada deformisanjem pomoću EMIO, I Međunarodni naučni skup, Teška mašinogradnja 93, Zbornik radova, Vrnjačka Banja, 1993, str. 387-392
4. Jevtić, M.B., Nikolić, D., Miljanić, P., EMIO obrada metala deformisanjem, Studija br. 89/94, LOLA Institut, Beograd, 1994.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

ISTRAŽIVANJE PRIMENE ELEKTROHIDRAULIČNE TEHNOLOGIJE ZA KOMPACTIRANJE METALNOG OTPADA

M. Jevtić ¹⁾, V. Zeljković ²⁾, D. Ilić ³⁾

Rezime: U radu se predstavljaju mogućnosti korišćenja teorijskih postavki o električnom impulsnom pražnjenju u tečnom fluidu u cilju izvođenja uslova za compactiranje metalnog otpada. Razmatran je relevantni eksperimentalni sistem na kome će se u narednim istraživanjima ispitivati fizikalnost, izvodljivost i parametri navedenog procesa.

Ključne reči: Metalni otpad, compactiranje, elektromagnetni impuls

RESEARCH OF APPLICATION OF ELECTRO-HYDRAULIC TECHNOLOGY FOR COMPACTING METAL WASTE

Summary: The paper introduces the possibility of implementing metal wast compacting based on the theoretical principles of electrical pulse discharge in a fluid. Within the research, a relevant experimental system for the future testing of the fisical phenomena, plausibility and the parametars of the discussed process is presented.

Key words: Metal wast, compacting, electrical pulse discharge

1. UVOD

U novije vreme značajni naučnoistraživački naponi su usmereni prema osvajanju novih nekonvencionalnih, visokoproduktivnih i visokobrzinskih metoda oblikovanja materijala deformisanjem. Jedna od tih metoda je i elektrohidraulična metoda oblikovanja materijala deformisanjem, koju su njeni autori nazvali ELHIM.

Teorijske postavke ELHIM metode se nalaze u matematičkoj fizici. Metoda ELHIM u fizičkom smislu predstavlja korišćenje efekata impulsnog električnog pražnjenja u radnoj zoni mašinskog podsistema koja je ispunjena tečnim fluidom. Osnovni cilj svih istraživanja je razvoj eksperimentalne instalacije za izvođenje ispitivanja fizikalnosti procesa ELHIM i eksperimentalno utvrđivanje vrednosti vitalnih parametara sa kojim bi se u navedenoj fazi istraživanja razvila industrijska varijanta obradnog

¹⁾ Dr Milenko Jevtić, LOLA Institut, Beograd

²⁾ Vladimir Zeljković, ITN SANU, Beograd, vladazz@yahoo.com

³⁾ Dragomir Ilić, LOLA Sistem, Beograd

Rad u okviru projekta MNZZŠ RS br 6320B, Razvoj sistema separatnog sakupljanja, transporta, pretovara i compactiranja komunalnog otpada, 2005-2007.

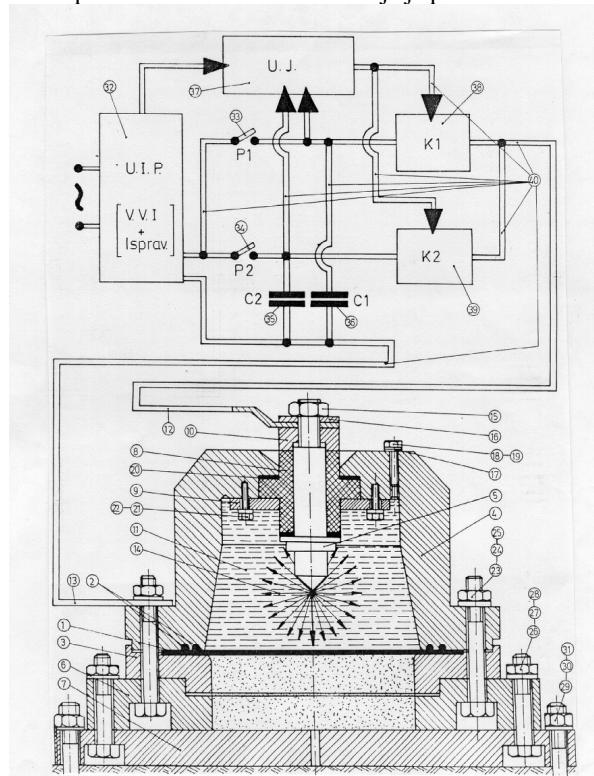
sistema ELHIM. Laboratorijska eksperimentalna ELHIM instalacija se sastoji od elektro i mašinskog podsistema. Impulsno električno pražnjenje se izvodi u radnoj zoni koja predstavlja komoru ispunjenu sa vodom i u koju je potopljena bakarna elektroda dok drugi električni pol predstavlja kućište mašinskog podsistema. Impulsno električno pražnjenje se izvodi u formi električne eksplozije sa formiranjem snažnog električnog lika, koji je praćen nastankom strujno-varničnih gasnih mehurova i kanala u vodi. Prema Paskalovom zakonu nastali gasni mehurovi se trenutno šire i usmeravaju na oblast gde se nalazi obradak i u obliku udarnih talasa izvode njegovu deformaciju sa željenom konfiguracijom.

Izložena metoda je razvijena i primenjena za oblikovanje metalnih limova, a iskustva iz ove metode se primenjuju u oblasti kompaktiranja metalnog otpada.

2. RAZVOJ EKSPERIMENTALNE ELHIM INSTALACIJE

Shodno istraženim teorijskim postavkama ELHIM tehnologije u navedenoj fazi istraživanja je pristupljeno razvoju eksperimentalne instalacije na kojoj izvela detaljna, protokolom ispitivanja predviđena eksperimentisanja sa različitim materjalima i krutostima obradaka i na kojoj bi se izvela eksperimentalna verifikacija fizikalnosti procesa ELHIM. Pored toga utvrdili bi se i osnovni parametri procesa sa kojima bi se u sledećoj fazi razvila industrijska aplikacija ove metode.

Razvijena eksperimentalna ELHIM instalacija je prikazana na slici 1 [2].



Slika 1. Izgled eksperimentalne instalacije ELHIM

Elektro podsistem se sastoji od modula za punjenje baterije kondenzatora, koji se napaja strujom iz standardne mreže i koji sačinjavaju visokovoltni transformator i ispravljač struje. Ovaj modul preko sistema preklopnika K1 i K2 puni bateriju kondenzatora. Baterija kondenzatora C1 i C2 pri njihovom pražnjenju pomoću komutatora K1 i K2 napaja radnu zonu mašinskog podsistema, odnosno preko elektrode 5 izvodi električni pražnjenje. Punjenje i pražnjenje kondenzatora C1 i C2 se izvodi preko upravljačkog modula. Mašinski podsistem se sastoji od kućišta 4 sa vodom 11 ispod koje se nalazi gumeni zaptivač, koji sprečava oticanje vode. Ispod gumenog zaptivača je postavljen obradak 1, koji se deformiše prema matrici 3. Ceo sistem je izolovan sa pločom 6, a elektroda 5 je izolovana sa čaurama 10 i 20. Vezanim elementima 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 i 31 je ostvarena funkcionalna celina osnovnih delova mašinskog podsistema ELHIM. Punjenje radne komore sa vodom se izvodi preko otvora sa vijcima 17.

Na slici 2 je prikazan izgled izradjenog i montiranog mašinskog podsistema ELHIM.



Slika 2. Izgled mašinskog podsistema ELHIM

Pored energetskog nivoa definisanog veličinom napona struje pražnjenja veoma značajan parametar je žižno rastojanje od vrha elektrode do površine obradka. Žižno rastojanje i obuhvatni ugao se u ovako koncipiranom mašinskom podsistemu mogu menjati sa vertikalnim pomeranjem elektrode dodavanjem distantnih prstenova u sistem.

Izgled kondenzatorske baterije sa kondenzatorima C1 i C2 je predstavljen na slici 3, pri čemu je sa otpornikim modulom ostvarena veza kondenzatora sa osciloskopom sa memorijom na kome se prati i evidentira vreme pražnjenja kondenzatora.

Paralelna veza kondenzatora C1 i C2 je ostvarena pomoću bakarnih šina.

Ovako razvijena koncepcija eksperimentalne instalacije ELHIM je kompletirana i povezana u logičku celinu i sa njom će se izvoditi prema predviđenom protokolu planirana ispitivanja parametara procesa ELHIM i eksperimentalna verifikacija

fizikalnosti navedenog procesa. Sa dobijenim vrednostima relevantnih osnovnih parametara će se u narednoj fazi razviti industrijski aplikacija ELHIM za konkretne forme industrijskih obradaka.



Slika 3. Izgled kondenzatorske baterije

Izvođenjem eksperimenata u laboratorijskim uslovima je verifikovana fikalnost procesa impulsnog električnog pražnjenja u komori sa tečnim fluidom u slučaju izvođenja obrade izvlačenjem i prosecanjem na čeličnom limu debljine 1 mm, a što je prikazano na slici 4.



Slika 4. Izgled obratka dobijen elektrohidrauličnom metodom

3. ZAKLJUČAK

Na osnovu teorijskih postavki matematičke fizike izvršeno je istraživanje mogućnosti primene procesa impulsnog električnog pražnjenja na deformisanje obradka od limova i razvijena je realna eksperimentalna instalacija za izvođenje eksperimentalnih ispitivanja ELHIM i verifikacija fizikalnosti procesa. Sa dobijenim vrednostima parametara razviće se industrijska aplikacija ELHIM.

4. LITERATURA

1. Wilson, F., High Velocity Forming of Metals, American Society of Tool and Manufacturing Engineerings, N.Y. USA, 1987,
2. Jevtić, M. B., Nikolić, D., Elektrohidraulična metoda oblikovanja metala deformisanjem, I Međunarodni naučni skup „Teška mašinogradnja 93“, Zbornik radova, Vrnjačka Banja, 1993, str. 382-386,
3. Jevtić, M. B., Nikolić, D., Miljanić, P., Elektrohidraulična metoda oblikovanja metala deformisanjem, Studija br. 90/94, LOLA Institut, Beograd, 1994.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

UTICAJ RAZLIČITIH SUPSTANCIJA NA ZAGAĐIVANJE PRIRODE I MERE ZAŠTITE

R. Drobniak ¹⁾, B. Kovačević ²⁾, P. Drobniak ³⁾,
V. Marjanović ⁴⁾

Rezime: Razvoj industrije imao je za posledicu zagađenje čovekove sredine, koje se iskazuje u zagađenju vazduha, vode i zemljišta. Stvaranje proizvodnih otpadaka takođe remeti ekološku ravnotežu. U cilju smanjenja zagađenja preduzimaju se određene mere zaštite, koje se ogledaju u primeni boljih tehnoloških rešenja i sprovođenju zakona i propisa iz oblasti zaštite radne i životne sredine koji su usklađeni sa propisima Evropske Unije.

Ključne reči: zagađenje, otpaci, ekološka ravnoteža, životna sredina

INFLUENCE OF DIFFERENT SUBSTANCES ON NATURE POLLUTION AND PROTECTIVE MEASURES

Resume: Development of industry had as consequent natural environment pollution which manifest of air, water and ground pollution. Ecological balance is disarranged by making productive refuse parts. Meaning about pollution reduction it should to take measures of protection applying better technological solutions and to enforce the law and act standard in field of working and natural environment protection which are brought into line with European Union regulations.

Key works: pollution, productive refuse, ecological balance, natural environment

UVOD

Ekologija je od teoretske nauke postala izuzetno značajna primenjena nauka koja sve više prodire u ekonomiju, politiku, pa konačno utiče na ponašanje i način mišljenja sve većeg broja ljudi.

Eko sistem je vrhovna sinteza u ekologiji. Šta god da se dogodi u jednom delu sistema odražava se i na druge delove. Ovaj sistem obuhvata vazduh, vodu, zemljište, životne namirnice, recikliranje otpadnog materijala i sekundarnih sirovina.

¹⁾ Dr Radmila Drobniak, Viša poslovno tehnička škola, Užice, vtsuzice@eunet.yu

²⁾ Branka Kovačević, dipl.ing., Viša poslovno tehnička škola, Užice, banekovac@ptt.yu

³⁾ Mr Predrag Drobniak, Politehnička akademija, Beograd

⁴⁾ Mr Vesna Marjanović, Viša poslovno tehnička škola, Užice, vtsuzice@eunet.yu

IZVORI ZAGAĐENJA

Saobraćaj i industrija su osnovni izvori zagađenja vazduha, kao i aktivnosti ljudi kojima se zagađuje vazduh na različite načine.

Emisija azotnih oksida, teških metala i prašine, po mnogim autorima su nus proizvod industrije oko 70%, poljoprivrede do 20%, transporta do 8% i procesa sagorevanja goriva do 3%.

Putem pravnih normi i preduzimanjem mera, moraju se otkloniti izvori koji dovode do zagađivanja u velikim gradovima i industrijskim naseljima.

Preduzeća koja imaju izvore zagađivanja vazduha, dužna su da tehnološkim, tehničkim i drugim merama obezbede da emisija vazduha bude ispod propisanih graničnih vrednosti.

Zagađivanje voda nastaje naročito usled ispuštanja neprečišćenih otpadnih voda iz industrijskih, rudarskih i gradskih naselja, odnosno drugih objekata i postrojenja.

Zakonodavnim merama naročito bi trebalo regulisati uklanjanje smeća i drugih otpadaka, pri čemu bi trebalo obavezati gradove i industrijska naselja da izgrade odgovarajuća postrojenja za uklanjanje smeća i otpadaka i njihovu preradu.

U otpad spadaju svi materijali, materije i supstancije koje više nemaju ekonomsku, odnosno upotrebnu vrednost za industriju ili pojedinca.

Otpad svake godine raste kako po volumenu, tako i po raznovrsnosti usled porasta stanovnika, urbanizacije, povećanog standarda života i razvoja tehnologija (organski materijal, papir, plastične materije, tekstil, staklo, pepeo, zrnasti materijal). U poslednje vreme u razvijenim zemljama raste udeo odbačenih automobila, frižidera, mašina za pranje veša, itd. Tako i prirodu sve više zagađuju otpaci u vidu staklenih, metalnih i plastičnih boca, kesa od plastmase i drugog materijala, kojim ne može da se degraduje ni fizički, ni hemijski, ni biološki.

Procentualni odnos i količina otpada zavise od standarda života.

U razvijenim zemljama komunalni otpad po glavi stanovnika dnevno iznosi 2,75 kg, a u zemljama u razvoju 0,5 kg.

Otpaci iz industrije treba da se obrađuju i odlažu na način predviđen za ovu vrstu otpadaka.

U praksi se, međutim, gradske deponije predviđene za odlaganje otpadaka iz domaćinstva koriste i za odlaganje industrijskih otpadaka.

Ako su ove deponije neuređene, tj., čine u punom smislu reči đubrišta, to one postaju izvor zagađivanja visokog rizika, a posledice su širenje zagađenja na podzemne vode i zemljišta.

U razvijenim zemljama ustanovljen je sistem stroge kontrole odlaganja otpada od momenta stvaranja, sakupljanja, transporta do konačnog odlaganja.

Mere kontrole su posebno stroge kada je u pitanju opasan otpad.

Zato neke razvijene zemlje pokušavaju da izvezu opasni otpad u nerazvijene zemlje i tako ugrožavaju životnu sredinu te zemlje.

Otpad se sakuplja na mestu stvaranja. Često takav otpad sadrži supstancije koje mogu biti korisne za neku industriju. Na primer, industrijski otpad može biti sirovina za neku drugu tehnologiju ili gorivo za proizvodnju energije.

Zatim, treba izdvojiti papir, staklo i metale koji se ponovo mogu upotrebiti (reciklaža).

Na ovaj način se mogu ostvariti velike uštede a smanjuje se volumen koji treba transportovati na mesto konačnog odlaganja.

NAJZAGAĐENLIJI GRAD U SRBIJI -BOR

Više od sto godina rudarenja na ovom području ostavilo je u nasleđe svakom stanovniku po 11 000 tona otpada ili ukupno 680 miliona tona.

U tom otpadu su otrovi svih vrsta koji sadrže sulfate, arsen i veliki broj teških metala.

Swake godine iz topioničkih dimnjaka izađe 200 000 tona sumpora, 300 tona arsena, a rudnička i topionička postrojenja ispuste 22 miliona m³ otrovnih otpadnih voda.

Bor je među prvim gradovima koji svoju ekološku krizu predstavlja i na internetu.

Na primer, svi znaju da je oštećeni kolektor ispod flotacijskog jalovišta rudnika Veliki krivir prava ekološka bomba i da taj kolektor preti velikom ekološkom katastrofom, ne samo Boru, već i Balkanu.

Mnoge svetske organizacije uzele su učešće da pomognu da se reši ovaj problem koji posebno utiče na zdravlje ljudi ovog okruga (deca koja imaju 1,1% manje hemoglobina i 400 000 krvnih zrnaca nego deca u Sokobanji).

Zbog velike zagađenosti prosečan radni staž topioničara je oko 16 godina, nakon čega prelaze u kategoriju invalida rada ili invalida penzionera.

Za razliku od Bora, Novi Sad je među prvim gradovima u Evropi koji je izgradio fabriku za separaciju smeća i to po standardima razvijenih zemalja.

Na ovu deponiju stigne svaki dan oko 200 tona smeća koja se u fabrici odvajaju po grupama, baliraju a potom predaju zainteresovanim dobavljačima i na taj način otplaćuju ovu investiciju.

Izgradnjom ove fabrike Novi Sad je postao grad koji se bavi tretiranjem smeća po standardima razvijenih evropskih zemalja a potom samim tim utiče na smanjenje zagađenja okoline.

MERE ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE

Zaštita životne sredine i prirode u celini predstavlja jednu od najvažnijih aktivnosti savremenog čoveka, tj:

- smanjenje količine štetnih materija koje se ispuštaju u atmosferu,
- posebne mere prečišćavanja vazduha,
- stalno praćenje kvaliteta vode i to je jedan od preduslova za pokretanje adekvatnih akcija zaštite i
- rešavanje problema čvrstog otpada.

Pri rešavanju problema zaštite životne sredine sve zemlje se suočavaju sa potrebom da otklone nasleđeno zagađivanje i da preventivno deluju i kontrolišu izvore zagađenja.

Republika Srbija, kao jedna od poslednjih zemalja Balkana, koja kreće na put tranzicije, donela je zakone i propise iz oblasti zaštite životne sredine koji su usklađeni sa propisima Evropske Unije.

ZAKLJUČAK

Praksa pokazuje da su znanja o ekološki razvojnim problemima još uvek nedovoljna.

Industrijski razvoj treba da se usaglasi sa ekološkim načelima, jer je kvalitet životne sredine presudan faktor životnog standarda.

Jedan od važnih uslova za rešavanje ove problematike je razvijanje svesti kod najširih masa za čuvanje i zaštitu radne i životne sredine.

Uvođenjem čistih tehnologija zaštitili bi smo: vazduh, vodu, zemljište, a pre svega zaštitili bismo sami sebe i naše buduće generacije.

LITERATURA:

1. www.ekoforum.org.yu, najzagađeniji grad u Srbiji-Bor
2. Pantelić M., Brund G., Brković D.: Ekologija i zaštita životne sredine, Epoha, Čačak, 2001.
3. Marković A. Dragan i dr.: Izvori zagađivanja, posledice i zaštita, Univerzitet u Beogradu, 1996.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

MENADŽMENT KVALITETA U ZAŠTITI OD ZRAČENJA U ŽIVOTNOJ SREDINI

R. Biočanin ¹⁾, B. Amidžić ²⁾, R. Rakić ³⁾

Rezime: Prirodna sredina našla se pod uticajem energije razorne moći, zastarele i prljave tehnologije, gustog i nekontrolisanog saobraćaja, trke u naoružanju, ratnih dejstava, diverzantsko-terorističkih aktivnosti i drugih uticaja, koji osetno narušavaju ravnotežu prirode i ugrožavaju životnu sredinu. Brojne su vrste i oblici ugrožavanja radne i životne sredine, od prirodnih nesreća i katastrofa do nuklearnih udesa u miru, N - terorizma i upotrebe N - oružja, što sve više postaje gruba ali stvarna realnost. U svetu postoji zastrašujuća količina nuklearnog oružja različite snage i moći, koje se i dalje gomila i usavršava uz stalno proširenje zemalja posednika. Ugrožavanje svetskog mira nuklearnim terorizmom, koji je poprimio globalne razmere, uticale su da većina zemalja preispita svoja doktrinarna rešenja u sistemu odbrane i da na nov način definišu bezbednosne pretnje i izazove, koji mogu u velikoj meri da ugroze nacionalne interese. Kontaminacija živih bića radioaktivnim materijama postala je ozbiljan i aktuelan problem u eri sve masovnije primene nuklearne energije u vojne svrhe. Sa eskalacijom problema u oblasti zaštite stanovništva u vanrednim situacijama, postalo je evidentno, da se većina problema, vezanih za civilnu zaštitu, ne mogu rešavati izolovanim aktivnostima pojedinih zemalja.

Ključne reči: životna sredina, nuklearni udesi, N- terorizam, radioaktivni materijal, vanredne situacije, menadžment rizika, nuklearna zaštita, sistem bezbednosti.

MANAGEMENT QUALITY DEFENCE IN THE HUMAN ENVIRONMENT

Abstract: Human and work environment is exposed by the threats of high power energy, dirty technologies, heavy and uncontrolled traffic, armament race, war operations, terroristic activities, and many other influences, that hardly affects its natural balance, and become a dangerous threat for the human lives. These numerous threats are our cruel reality. A great arsenal of nuclear weapons and increased number of countries that have it, and can produce it are reality too. Endangering world peace, first of through nuclear terrorism which assumed global proportions, has forced most countries to question its doctrinal documents in the field of national security and defense and to define, in a new way, security threats and challenges which could greatly

¹ Rade Biočanin, Ministarstvo odbrane Srbije, Beograd

² Branka Amidžić, Zdravstveni centar, Kruševac

³ Ružica Rakić, Centar VMC Meljine, Crna Gora

endanger their national interests. Nuclear terrorism and nuclear accidents are always possible, especially during the transport and handling different nuclear material. In view of the escalation of problems in the field of civil protection in state of emergency conditions, it has become obvious that many, if not all of the problems regarding civil protection cannot be resolved by activities of a single country.

Key words: *human environmen, nuclear accidents, N- terrorism, radioactive material, state of emergency, management risk , nuclear protection, defence system.*

1. UVOD

Kada se spomene reč "**radijacija**", odmah pada na pamet pojam: *nuklearno oružje, N-des ili N-terorizam*, čije je zračenje pogubno i opasno po čoveka. Međutim, nije sva radijacija štetna. Sistem zaštite od zračenja je uspostavljen 1990. godine, a opisan u Publikaciji 60 (ICRP) naredne godine i razvijan do današnjih dana. Prethodne preporuke odredile su tri osnovna principa ograničenja doze (opravdanost, optimizacija i ograničenje). Posebno se treba pozabaviti aktivnostima, koje bi obuhvatile isluženost jonizujućem zračenju "**praksu**", u cilju redukovanja porasta doza i smanjenja zračenja u okviru "**intervencije**". Ove preporuke su primenljive kod profesionalne, medicinske, vojne (borbena doza) i javne izloženosti jonizujućem zračenju. Uopšte uzev u obzir, neophodna je primena principa "**opravdanosti**", zasnovane na društvenim, ekonomskim, medicinskim, etičkim, vojnim, naučno-istraživačkim i drugim postavkama. Opravdanost dijagnostičkom zračenju takođe je uključena u nove preporuke u svetu i kod nas, a stepen zabrinutosti može biti *visok, povišen, nizak, vrlo nizak i ne postoji*, uz odgovarajuću primljenu individualnu efektivnu dozu u toku godine. Na višim nivoima, izvori ovih doza preko 100 mSv godišnje ne mogu se opravdati, osim u posebnim okolnostima (ratna dejstva i upotreba N-oružja, udesi, terorizam, letovi u kosmos), kada se angažuju pojedinci ili timovi za spašavanje života i obavljanje posebnih zadataka.

I ako su sve vrste zračenja zapravo elektromagnetske, one različito među deluju s materijom. Svi građevinski materijali sadrže prirodne radionukleide, koji povećavaju izloženost zračenju u stambenim i radnim prostorijama, zašto je neophodna kontrola izoženosti. Inače, u ovim materijalima dominira prirodna radioaktivnost ⁴⁰K. Analiza prirodnih radionukleida, posebno ²²⁶Ra u čvrstim uzorcima veoma je složena i zahteva posao koji nosi puno zamki i poteškoća.

Postavlja se dakle pitanje: **Što neku vrstu zračenja čini opasnom, drugu dobrobitnom, a ostale pak indiferentnima?**

Pred savremenu dozimetriju zračenja postavljaju se sve veći i složeniji zahtevi-merenja ekstremno niskih doza zračenja sa visokom tačnošću i merenja doza različitih tipova i energija. radiolozi primaju najveće doze zračenja, kako u interventnoj, tako i dijagnostičkoj radiologiji, gde je neophodno uspostaviti realan sistem zaštite. Sadašnja saznanja o dejstvu zračenja, a na osnovu toga i pravila zaštite, izgrađena su na vrlo oprečnoj pretpostavci, da je varovatnoća pojave štetnih posledica linearno proporcionalna dozi zračenja. To znači da svaka, pa i najmanja, doza ostavlja posledice u organizmu. Naravno, rizik malih doza je tipično mali rizik koji se nije mogao detektovati ni vrlo opsežnim i temeljitim istraživanjima. Dejstvo zračenja može se ispoljiti direktno na ozračenu osobu putem somatskih efekata ili indirektno na potomstvo genetskim efektima. Niske doze zračenja deluju povećavajući verovatnoću pojave raka i leukemije (kasni somatski efekti) i genetskih oštećenja. Rizik zračenja određen je praćenjem zdravlja ljudi ozračenih većim dozama zračenja. Rezultati posmatranja preživelih stanovnika Hirošime, Nagasakija, Černobila i dr. mesta,

nedvosmisleno ukazuju na povećanje broja nastradalih i obolelih, u proporciji sa primljenom dozom zračenja, kao i na različit stepen rizika po starosnim grupama.



Slika 1. Posledice N-udesa u Černobilu

2. ELEKTROMAGNETNA I JONIZUJUĆA ZRAČENJEA

Energija stavljena u talas odgovara energiji koju predaje taj talas. Dugačke talasne dužine (radio talasi) predaju manje energije nego kratke talasne dužine (x-zraci). Tu leži ta velika razlika u količini energije. Na osnovu ovoga može se shvatiti zašto su x-zraci mnogo opasnije od radio talasa i da imaju jači udar. Takođe, njihova mala talasna dužina omogućuje im da prodiru duboko u organizam. Iz istih razloga, ultraljubičasto zračenje je opasnije od vidljivog svetla. Različite vrste zračenja se takođe mogu definisati iz njihove frekvencije. Elektromagnetsko zračenje koje struji sa Sunca je zapravo oluja ("praćena tučom") fotona. X-zraci su tada najveći komadi tuče, veliki kao kugla, jaki, ali srećom retki. Radio fotoni su kao najmanji komadi tuče - sitni i retki. Dok su fotoni vidljivog svetla kao komadi tuče prosečne veličine, ali svakako najčešći. Fotoni koji padaju na Zemlju daju energiju koja održava planetu na životu, snabdeva sastav vremenskih prilika i greje našu kožu prilikom sunčanog dana.

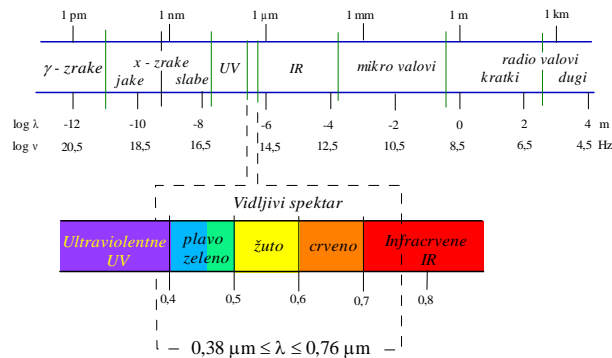
Prenos energije između sistema i okoline preko elektromagnetskih talasa zove se toplotno zračenje. Kod standardne temperature izračeni talasi odgovaraju infracrvenim delu elektromagnetskog spektra. Snaga toplotnog zračenja tela temperature (T) i površine (A) može se izračunati iz Stefan-Boltzmanovog zakona zračenja:

$H_{st} = e\sigma T^4 A$ gde e predstavlja emisivnost koja za ljudsku kožu iznosi 0.98. Kad se izračuna razlika energije koju telo primi iz okoline i energije koju telo emitira, rezultatna snaga zračenja je $\Delta H_{st} = e\sigma T_1^4 A - e\sigma T_0^4 A = e\sigma(T_1^4 - T_0^4)A$ T_1 je temperatura tela, a T_0 je temperatura okoline.

Francuski fizičar Henri Becquere 1896. godine je radio na jedinjenjima koja sadrže element uran. Na njegovo iznenađenje, otkrio je da na fotografskoj ploči, koja treba da štiti od svetlosti, ostaju neki magloviti tragovi, kada se ova uranova jedinjenja nalaze u blizini ploče, čak i kad je ona uvijena u crni prekrivač. Ova zamagljenja su nagovještavala da neka vrsta zračenja prolaze kroz ploču. Nekoliko materijala različitih od urana su, takođe, emitirali ove prodorne zrake. Materijali koji emitiraju ovu vrstu

radijacije su označeni kao *radioaktivni* i prolaze kroz fazu koja se zove radioaktivno raspadanje. Ernest Rutherford je 1899. godine otkrio da uranova jedinjenja proizvode tri vrste radijacije. Odvojio je zračenje prema njihovim prodornim sposobnostima i nazvao ih prema prva tri slova grčkog alfabeta: **alfa**, **beta** i **gama** zračenje.

Alfa zračenje se može zaustaviti listom papira. Rutherford je kasnije pokazao da je alfa-čestica, u stvari, jezgra atoma helija (4He). Beta čestice su kasnije identifikovani kao elektroni velikih brzina. Šest milimetara aluminija je potrebno da bi se zaustavila većina beta-čestica. Nekoliko milimetara olova je potrebno da bi se zaustavili gama-zraci, za koje je utvrđeno da su fotoni velike energije. Alfa-čestice i gama-zraci se emitiraju sa specifičnom energijom koja zavisi od radioaktivnosti izotopa. Beta-čestice, međutim, se emitiraju zajedno sa neprekidnom energijom, od 0,001 do maksimalne, koju odobrava određeni izotop. *Zračenje* ili *radijacija* označava prenos *energije* elektromagnetskim talasima, bez posredstva materije i na daljinu.



Slika 2. Spektar elektromagnetskih talasa

EM zračenje su talasi energije s električnim i magnetskim svojstvima, koji nastaju vibracijom i akceleracijom električkih naboja. Spektar EM talasa proteže se od valova ekstremno visoke frekvencije i kratke talasne dužine do valova ekstremno niske frekvencije (ν) i velike talasne dužine (λ). U smeru smanjenja frekvencije spektar sadrži: gama zrake, jake i slabe x-zrake, ultravioletne zrake (UV), svetlosne zrake, infracrvene zrake (IR), mikro talase i radio talase. Bez obzira na frekvenciju i talasnu dužinu svi valovi šire se kroz vakuum jednakom brzinom od $c = 299.792.458$ m/s. Prolaskom kroz različite sredine menjaju se brzina i talasna dužina, dok frekvencija ostaje konstantna. Visokofrekventna *kratkovalna radijacija* povezana je s velikom energijom, a da bi nastala takva radijacija mora doći do poremećaja u jezgri ili elektronima unutarne ljuske atoma. Uzroci mogu biti: preskakanje atoma iz ljuske veće u ljusku manje energije, pri čemu se oslobođena energija pretvara u fotone, raspad jezgra, bombardovanje jezgra s neutronima ili elektronima i oscilacija i akceleracija nabijenih čestica. Priroda takvog zračenja je korpuskularna, jer počiva na česticama-fotonima. U tu grupu spadaju kozmički, γ i x-zraci, koje su jako prodorni. I dugotalasno zračenje, koje nastaje promenom električkog potencijala (antene TV i radio stanica), takođe prolazi kroz materijale. Sasvim suprotno, vidljivi spektar je slabo prodoran, s izuzetkom nekih tečnosti (voda), plastika i stakla. Taj spektar zahvaća područje talasnih dužina od $0,38 \mu\text{m}$ do $0,76 \mu\text{m}$ i čini podgrupu šireg pojasa talasnih dužina koje pripadaju toplotnom zračenju ($0,1 \mu\text{m}$ – $400 \mu\text{m}$).

4. UTICAJ ZRAČENJA NA ZDRAVLJE

Sadašnja saznanja o dejstvu zračenja, a na osnovu toga i pravila zaštite, izgrađena su na vrlo oprečnoj pretpostavci, da je varovatnoća pojave štetnih posledica linearno proporcionalna dozi zračenja. To znači da svaka, pa i najmanja, doza ostavlja posledice u organizmu. Naravno, rizik malih doza je tipično mali rizik koji se nije mogao detektovati ni vrlo opsežnim i temeljitim istraživanjima. Dejstvo zračenja može se ispoljiti direktno na ozračenu osobu putem somatskih efekata ili indirektno na potomstvo genetskim efektima. Niske doze zračenja deluju povećavajući verovatnoću pojave raka i leukemije (kasni somatske efekti) i genetskih oštećenja. Rizik zračenja određen je praćenjem zdravlja ljudi ozračenih većim dozama zračenja. Rezultati posmatranja preživelih stanovnika Hirošime i Nagasakija nedvosmisleno ukazuju na povećanje broja obolelih u proporciji sa primljenom dozom zračenja, kao i na različit stepen rizika po starosnim grupama.. Pri razmatranju preventivnih mera zaštite, faktori (brzina i način ozračivanja i kontaminacije stanovništva) biće od neposrednog interesa za izbor metoda, pravilnost i brzinu zaštite i uklanjanja posledica. Pre svega treba uzeti u obzir somatska oštećenja čoveka, nastala usled izlaganja visokim dozama jonizujućeg zračenja. Takvi efekti mogu se ispoljiti posle nekoliko časova ili sedmica, ili tek posle nekoliko meseci, ili čak mnogo godina nakon izlaganja radijaciji. Iz prethodno pomenutog vidljivo je da se rizik od malih doza zračenja procenjuje na osnovu praćenja zdravlja ljudi ozračenih visokim dozama, tj. dozama koje uzrokuju primetne efekte (akutnim, od 4,5 Sv, svi ozračeni biće ozbiljno bolesni a približno polovina njih će umreti). Taj iznos doze predstavlja srednju letalnu (smrtnu) dozu. Povećanjem doze zračenja znakovi slabosti i smrt nastupaju sve brže.



Slika 3. Dijagnostika pacijenta uz upotrebu skenera

Veći deo čvrstih radionuklida se zadržava u sistemu za filtriranje vazduha, ali prilikom njegove saturacije čestice ispod $0,1\mu\text{m}$ prolaze i odlaze u atmosferu. Pojedine pare i gasovi prolaze lake sisteme za filtriranje vazduha i odlaze slobodno u atmosferu. To su, uglavnom, gasoviti i volatilni produkti (brom i jod i njihovi derivati), inertni gasovi (kripton i ksenon), kao i članovi familije koji nastaju beta - raspadom (^{35}Br , ^{36}Kp , ^{37}Rb , ^{38}Sr , ^{39}J , ^{53}I , ^{54}He , ^{55}Ce , ^{56}Ba , ^{57}La).. a poznavanje kinetike dekontaminacije neophodno je ispitati svaki postupak u graničnim slučajevima i to: kada se radi o hemijski aktivnom gasu i kad je gas hemijski inertan.

Izraz somatske ozlede (somatski efekat) načelno se upotrebljava u vezi sa klinički ispoljenim efektima, koji nastaju usled oštećenja ćelije posle izloženosti radijaciji. Takvi efekti mogu se ispoljiti posle nekoliko časova ili sedmica, ili tek posle nekoliko meseci, ili čak mnogo godina nakon izlaganja radijaciji.

Za određenu dozu radijacije karakteristično je da je dužina tog intervala u neposrednoj povezanosti s veličinom tela pacijenta (što je krupniji pacijent, to je i duži interval), a ako se početni simptomi ne razvijaju u roku od 5 - 6 časova nakon ozračivanja, do njih verovatno neće ni doći. Sem toga, postoji povezanost između dužine intervala i izraženosti simptoma, dok za pacijenta određene veličine postoji obrnuta povezanost između dužine intervala i doze zračenja. Te odlike ukazuju na to da je razvoj simptoma povezan sa cirkulacijom toksične supstance ili supstance koja treba da dostigne izvesnu kritičnu koncentraciju u međućelijskoj tečnosti, pre nego što se razviju simptomi. Smatra se, da se promene dešavaju zbog propustljivosti membrane radiosenzitivnih ćelija u kratkom vremenskom intervalu, posle izlaganja radijaciji, što se manifestuje gubljenjem kalijuma u ćeliji i porastom natrijuma u njoj. Ta promena propustljivosti može da se javi kao vanćelijska cirkulacija metabolita koji su normalno ograničeni na ćeliju a toksični su van nje. Značajna je i somatska smrt ćelije, posebno smrt matičnih ćelija, što je značajno u procesu oštećenja, odnosno smanjenja koštane srži i limfopoetičnog tkiva i gubitka epitelnih ćelija. Naknadni efekti izlaganja radijaciji mogu da budu u vidu nefroskleroze, katarakte i tumora (sa posebnim osvrtom na leukemiju).

Tabela 1. Raspodela radionuklida u čoveku

R.br.	Organ tela	Način kontamin.	Prirodni radionuk.	Veštački radionuk.
1.	Pluća	Respiratorno (disanjem)	Rn-222, Po-10, Po-218, Pb-210	Ur-85, Te-133, Pu-239, Pu-240
2.	Kosti	Peroralno (preko usta)	Ra-226, Ra-228, Pb-210	Sr-90, Pu-239, Pu-240
3.	Tkiva	Peroralno	H-3, C-14, K-40	Sc-137
4.	Štitna žlezda	Peroralno	Ra-226, Ra-228	J-129, J-131
5.	Bubreg	Peroralno	Th-230, Th-32, U-235, U-238	Pt-239, Pt-240
6.	Jetra	Peroralno	Po-210	Au-198, Pt-239

Iz prethodno pomenutog vidljivo je da se rizik od malih doza zračenja procenjuje na osnovu praćenja zdravlja ljudi ozračenih visokim dozama, tj. dozama koje uzrokuju primetne efekte (akutnim, od 4,5 Sv, svi ozračeni biće ozbiljno bolesni a približno polovina njih će umreti). Taj iznos doze predstavlja srednju letalnu (smrtnu) dozu. Povećanjem doze zračenja znakovi slabosti i smrt nastupaju sve brže. Prirodne razlike u osetljivosti i otpornosti pojedinih osoba objašnjavaju raznolikosti posledica koje mogu nastati za iste doze. Ako je umesto čvrstog tela izlaganje zračenju ograničeno na deo (ekstremitete), reakcija će biti mnogo manja i najčešće ograničena samo na kožu.

5. RADIOLOŠKA ZAŠTITA U DIJAGNOSTICI

Kvalitet zaštite od zračenja ima različite forme u zavisnosti od vrste izvora zračenja i ljudskih aktivnosti koje dovode do izlaganja jonizujućim zračenjima. Iako najveći doprinos dozi za pojedinca potiče od prirodnih izvora zračenja, u ovom slučaju

se ne preduzimaju posebne mere radiološke zaštite. Izloženost veštačkim izvorima se ograničava, odnosno smanjuje na prihvatljiv nivo. Pri tome je od posebnog značaja smanjenje nepotrebnog izlaganja, što se postiže primenom osnovnih principa zaštite od zračenja (opravdanošću prakse, optimizacijom zaštite, ograničavanjem individualnih doza i rizika). Usled svojih specifičnosti, medicinsko izlaganje i zaštita pacijenata u rendgen-dijagnostici tretiraju se posebno u odnosu na izloženost profesionalno izloženih lica.



Slika 4. Uporedna skala dijagnostičkog ozračivanja (mSv)

Direktiva Evropske Komisije EC 97/43 EUROATOM pruža osnovne odrednice za zaštitu pacijenta, pri čemu je od suštinskog značaja činjenica da nema individualnih granica doza. Zaštita od zračenja se temelji na stavu da je praksa opravdana i da je korist za pacijenta neosporna, pa su načela opravdanosti prakse i optimizacije zaštite još značajniji u slučaju medicinskog izlaganja. Optimizacija zaštite u dijagnostičkoj radiologiji je u suštini, pronalaženje kompromisa između kvaliteta dijagnostičke informacije koju pruža rendgenski snimak i doze koju primi pacijent. Poštujući neophodne dijagnostičke zahteve, doza za pacijenta treba da bude što je moguće niža. Stručna i naučna tela koja se bave problemom zaštite od zračenja u medicini, kao način optimizacije predlažu uvođenje graničnih vrednosti koje odvajaju dobru od loše radiološke prakse. Odabrani referentni nivoi određuju se merenjem pacijentnih doza za svaki tip pregleda i reprezentativni uzorak pacijenata. Po pravilu, distribucija doza je veoma široka, što samo po sebi ukazuje na mogućnosti za smanjenje pacijentnih doza. Potreba za uvođenjem pacijentne dozimetrije formulisana je i kroz Zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja (Sl. list SRJ 46/96), Pravilnik o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima i Pravilnik o načinu primene izvora jonizujućih zračenja u medicini (Sl. list SRJ 32/98), kroz stavove da pacijentna doza mora biti u skladu sa prihvaćenom dijagnostičkom praksom, da doza mora biti što je moguće niža a da se pri tom obezbedi dijagnostička informacija potrebnog kvaliteta i da lica koja odobravaju i sprovode postupak, moraju biti upoznata sa tipičnim vrednostima doza, metodama merenja i mogućnostima za smanjenje doza.

U poslednjih nekoliko decenija zabeležen je veoma intenzivan razvoj opreme i dijagnostičkih metoda. Film tehnologija se neprekidno razvija, fokusirajući se na zrna i strukturu emulzije na filmu i pojačivačkim folijama, kao i boljoj spektralnoj

usaglašenost kombinacije film-pojačivačka folija. Klasični snimci se dobijaju uz relativno niske pacijentne doze iako još uvek postoje značajne razlike u kvalitetu slike za slične sisteme u zavisnosti od proizvođača i kombinacije film-pojačivačka folija. Digitalne tehnike otvaraju mogućnosti za poboljšanje kvaliteta slike. Prosečan stanovnik Evrope tokom svog životnog veka primi oko 10 puta veću dozu od procedura dijagnostičke radiologije u odnosu na sve druge veštačke izvore zračenja. Stoga, zaštita pacijenata od nepotrebnog izlaganja zahteva značajnu pažnju. Direktiva 97/43 EUROATOM ukazuje na nedostatak sistematskog znanja i preciznih metodologija za merenje, analizu i vrednovanje podataka. Kriterijumi za utvrđivanje kvaliteta slike u dijagnostičkoj radiologiji predstavljaju značajnu osnovu za sprovođenje programa osiguranja kvaliteta i optimizaciju zaštite pacijenata i profesionalno izloženih lica. Međutim, evidentno je da radiolozi pokazuju nedovoljan interes za problematiku zaštite od zračenja, smatrajući je irelevantnom u odnosu na medicinsku praksu. Referentne vrednosti doza prema preporukama EU, predstavljaju prvi korak u harmonizaciji zaštite od zračenja. Utvrđivanje referentnih nivoa na nacionalnom nivou prethodno podrazumeva sistematičnu i efikasnu edukaciju medicinskih fizičara i drugog osoblja.



Slika 5. Zaštitna odeća i nivo zaštite za dijagnostiku

Osnovni principi zaštite od zračenja definisani su Publikacijom ICRP. Dijagnostički pregledi primenom jonizujućih zračenja podrazumevaju potencijalni korist za izloženog pojedinca i predstavljaju opšte prihvaćen deo medicinske prakse. Međutim, poslednjih godina uočen je i rizik od malignih oboljenja povezan sa izlaganjem jonizujućim zračenjima. Pored toga, kao činjenica navodi se izvestan rizik za potomstvo. Pod pretpostavkom da je rizik srazmeran dozi koju primi pojedinac, neophodno je razmotriti potencijalna oštećenja koja mogu nastati kao posledica izlaganja malim dozama i izbeći ona izlaganja koja nisu neophodna.

Tabela 2. Rizici povezani sa izlaganjem R-zračenju

Procenjeni rizik od R-dijagnostike	Prirodni rizik od fatalnih malignih oboljenja		
Pluća	1 / 1 000 000	Karcinom pluća	1 / 16
Donji GIT	1 / 3 000	Karcinom debelog creva	1 / 44
Mamografija	1 / 100 000	Karcinom dojke	1 / 21

Klinički opravdana praksa u cilju postizanja dijagnostičkih zahteva, treba da bude sprovedena na način koji obezbeđuje najmanje moguće izlaganje pacijenta, tj. optimalan način. Kvantitativne odrednice procesa optimizacije zaštite, za različite tipove procedura definisane su kroz pojam referentnih doza. Uravnoteženost između pacijentne doze i kvaliteta slike jeste rezultat optimizacije zaštite. EC je tokom poslednje decenije razvila konstruktivne preporuke koje se odnose na optimizaciju zaštite.

Tabela 3. Efektivne doze i rizik od pojedinih dijagnostika

Procedura snimanja	Efektivna doza (mSv)	Rizik za karcinom
- lobanje AP/PA	0,03	1 / 670 000
- lobanje LAT	0,01	1 / 2 000 000
- pluća PA	0,02	1 / 1 000 000
- pluća LAT	0,04	1 / 500 000
- grudnog dela kičmenog stuba AP	0,4	1 / 50 000
- grudnog dela kičmenog stuba LAT	0,3	1 / 67 000
- slabinskog dela kičmenog stuba AP	0,7	1 / 29 000
- dela kičmenog stuba LAT	0,3	1 / 67 000
- slabinskog dela kičme LSJ	0,3	1 / 67 000
- abdomena AP	0,7	1 / 29 000
- animanje karlice AP	0,7	1 / 29 000
- zuba intraoralno	0,01	1 / 2 000 000
- zuba panoramsko	0,01	1 / 2 000 000
- mamografija	1,24	1 / 100 000

*nominalni rizik od medicinskog izlaganja: 5% Sv-1

Postoji nekoliko pristupa problemu kvantifikacije pacijentnih doza u cilju zaštite pacijenata. Referentne doze u dijagnostičkoj radiologiji imaju funkciju nivoa proveravanja, u cilju identifikacije bolnica sa neprihvatljivim dozimetrijskim podacima. Referentni nivoi su nivoi proveravanja, s idejom da se identifikuje potencijalno loša klinička praksa u nekoj bolnici. Nivoi proveravanja su iskazani preko veličine koja dobro reflektuje dozimetrijske karakteristike prakse i omogućava međusobno provođenje različitih tehnika. Najnovije preporuke iz oblasti zaštite od jonizujućih zračenja zahtevaju određivanje Dijagnostičkih referentnih nivoa (DRL) za rendgendijagnostičke preglede. Tretiranje DRL kao integralnog dela zaštite od zračenja u radiološkoj dijagnostici, zahteva i pripremu protokola u kome su precizno navedeni ciljevi, procedure za koje se DRL utvrđuju, merilo koje se koristi, metod merenja za svaki tip procedure (snimanje, prosvetljavanje, KT), način beleženja rezultata, nivoi tolerancije, odgovornost i akcije koje se preduzimaju u slučaju konstantnog prekoračenja DRL. Na osnovu Preporuka ICRP 60, DRL se iskazuju kroz veličinu koja se jednostavno može izmeriti (kerma u vazduhu ili apsorbovana doza u tkivno ekvivalentnom materijalu na površini standardnog fantoma ili referentnog pacijenta) a odnose se na medicinska izlaganja i predstavljaju rezultat optimizacije zaštite od zračenja. U praksi, ovakav pristup se konkretizuje odabirom inicijalnih vrednosti statističke veličine iz populacije izmerenih vrednosti doza za pacijente. Ove vrednosti biraju profesionalna tela a povremeno ih treba proveravati kao rezultat kompromisa između neophodne stabilnosti i promene u distribuciji doza. DRL se odnose na standardne dijagnostičke postupke i rendgen-aparate opšte namene. Postoji nekoliko pristupa u određivanju DRL. Iako se DRL odnosi na određenu dijagnostičku proceduru, klinički, tehnički uslovi nisu uvek

precizno definisani. DRL se određuju merenjem različitih dozimetrijskih veličina u zavisnosti od tipa kliničke procedure. Pomoću njih se ostvaruje kontrola medicinskog izlaganja na nivou koji je u skladu sa kliničkim zahtevima koji se odnose na datu proceduru. Koncept DRL dopušta fleksibilnost u izboru dozimetrijskih veličina, numeričkih vrednosti i tehničkih i kliničkih faktora.

U skladu sa Euroatom Direktivom 43/97, za DRL dijagnostičkoj radiologiji treba uzeti one vrednosti, koje omogućavaju identifikaciju procedura koje nepotrebno rezultuju visokom dozom za pacijente. Te vrednosti treba da budu veće od srednje vrednosti ili medijane. Distribucija izmerenih vrednosti ima Gausovski oblik a preporuka je da se kao DRL uzme treći kvartil. DRL treba da budu zasnovane na merenjima u različitim zdravstvenim ustanovama, bolnicama i klinikama koje poseduju opremu različitih karakteristika. Ljudski faktor, takode, ima značajnog uticaja na pacijentnu dozu. Doze mogu biti neopravdano visoke usled nepažnje, nezainteresovanosti ili velikog opterećenja ali i nespremnosti pojedinaca da prihvate usvojene standardne procedure. Trenutno dostupni Evropski DRL u dijagnostičkoj radiologiji prikazani su u tabeli, dok su u tabeli prikazani prihvatljivi nivoi koji se koriste u pojedinim zemljama. Protokolima je utvrđen metod za monitoring pacijentnih doza tokom rutinskih rendgendijagnostičkih pregleda. Doza na površini kože pacijenta se definiše kao absorbovana doza u vazduhu u tački preseka ose snopa rendgenskog zračenja sa kožom pacijenta, uključujući povratno rasejanje i izražava se u mGy. Za merenje doze na površini kože koriste se dve vrste dozimetara: termoluminiscentni dozimetri (TLD) i jonizacione komore. TLD se postavljaju direktno na kožu pacijenta i u potpunosti registruju povratno rasejanje. Parametri koji direktno utiču na dozu za pacijenta su telesna masa, napon rendgenske cevi, filtracija, veličina polja, rastojanje fokus-koža pacijenta, rešetka za sprečavanje rasejanog zračenja i osetljivost kombinacije film-pojačivačka folija. Primena SI sistema jedinica je obavezna. Konverzioni faktor za pretvaranje Rendgena (R) u culon po kilogramu je 2,58 10⁻⁴. Prema evropskim preporukama, za određivanje DRL koristi se doza na površini kože pacijenta. Pored toga, preporučuje se primena lako merljive veličine, obično apsorbirane doze u vazduhu ili tkivnoekvivalentnom materijalu, na površini standardnog fantoma ili pacijenta. Postoje četiri tipa merenja koja se koriste u dijagnostičkoj radiologiji: doza ili kerma na površini kože pacijenta, procena doze za organe, procena doze u detektoru u funkciji rezultujućeg zacrnenja filma ili izlaznog signala i merenje slabljenja iza pacijenta a ispred prijemnika slike. U kontekstu optimizacije, proizvod doze i površine (DAP) tokom celokupnog pregleda sadrži informaciju o dozi, veličini radijacionog polja, broju snimaka i veremenu trajanja pregleda, kao i o debljini pacijenta. Srednja vrednost izmerene distribucije doza, koriste se kao reper za pojedine bolnice. Osnovni principi DRL su: referentni nivoi nisu granice doza, referentni nivoi su slični nivoima proveravanja, ne odnose se na pojedinačne pacijente, veličine preko kojih se iskazuju DRL moraju biti jednostavno merljive, razumljive za radiologa i radiološkog tehničara, primenjuju se zajedno sa ocenom kvaliteta snimka, mogu imati nekoliko oblika; doza, vreme trajanja pregleda, broj snimaka, treba da budu fleksibilni i ne predstavljaju granicu između dobre i loše kliničke prakse, izmerene vrednosti ispod referentnih nisu uvek optimalne, i u tom slučaju podležu optimizaciji. Referentne vrednosti doza za različite uzraste pedijatrijskih pacijenta se izvode na osnovu dostupnih dozimetrijskih podataka na evropskom nivou. Smanjenje pacijentnih doza treba da bude posledica samokontrole operatora i poređenja postojećih dozimetrijskih podataka sa referentnim nivoima. To je kompilacija učinjenih napora pri dizajniranju opreme, konstrukciji, održavanju i kontroli kvaliteta opreme.

6. ZAKLJUČAK

Elektromagnetsko zračenje u radnoj i životnoj sredini su talasi energije s električkim i magnetskim svojstvima, koji nastaju vibracijom i akceleracijom električkih naboja. Spektar elektromagnetskih talasa proteže se od talasa ekstremno visoke frekvencije i kratke talasne dužine do talasa ekstremno niske frekvencije i velike talasne dužine. Sadašnja saznanja o dejstvu nejonizujućeg i jonizujućeg zračenja, a na osnovu toga i pravila zaštite, izgrađena su na vrlo oprečnoj pretpostavci, da je varovatnoća pojave štetnih posledica linearno proporcionalna dozi zračenja. To znači da svaka, pa i najmanja, doza ostavlja posledice u organizmu čoveka. Naravno, rizik malih doza je tipično mali rizik koji se nije mogao detektovati ni vrlo opsežnim i temeljitim istraživanjima. Dejstvo zračenja može se ispoljiti direktno na ozračenu osobu putem somatskih efekata ili indirektno na potomstvo genetskim efektima. Niske doze zračenja deluju povećavajući verovatnoću pojave raka i leukemije (kasni somatske efekti) i genetskih oštećenja. U središtu našeg interesovanja svakako se nalaze problemi odbrane i bezbednosti od nuklearnih udesa i terorizma u okviru obezbeđenja od NHB udesa u miru. Široka mreža naučno-istraživačkih vojnih ustanova i laboratorija fizike, hemije i preventivne medicine nalazi se u funkciji ranog otkrivanja bolesti od jonizujućeg zračenja, uzročnika i porekla.

Optimizacija radiološke zaštite u dijagnostičkoj radiologiji je u suštini, pronalaženje kompromisa između kvaliteta dijagnostičke informacije koju pruža rendgenski snimak i doze koju primi pacijent. Poštujući neophodne dijagnostičke zahteve, doza za pacijenta treba da bude što je moguće niža. Stručna i naučna tela koja se bave problemom radiološke zaštite u medicini, kao način optimizacije predlažu uvođenje graničnih vrednosti, koje odvajaju dobru od loše radiološke prakse. Reprezentativna merenja doze na površini kože pacijenta i proizvoda doze i površine treba sprovoditi periodično, najmanje jednom u tri godine na svakom rendgen-aparatu ili nakon intervencija na opremi, koje mogu uticati na primljenu dozu. Ovakva periodična merenja treba da budu sastavni deo sistema kvaliteta, što obezbeđuje dovoljnu redovnost u cilju upoređivanja pacijentnih doza sa aktuelnim nacionalnim i međunarodnim normama. Referentne doze u dijagnostičkoj radiologiji imaju funkciju nivoa proveravanja, u cilju identifikacije bolnica sa neprihvatljivim dozimetrijskim podacima, što se ponekad dešava u praksi. Utvrđivanje referentnih nivoa na nacionalnom nivou, prethodno podrazumeva efikasnu edukaciju i obuku osoblja iz oblasti radiološke zaštite. Kvalitetan transfer informacija iz oblasti zaštite mora biti obezbeđen, tako da odgovarajuće mere i aktivnosti budu primerene. Relevantne publikacije treba da budu dostupne i predstavljane na nacionalnim i međunarodnim skupovima. Kompetentne institucije i naučni kadar moraju obezbediti protok informacija i odgovarajuću literaturu i transfer znanja iz ove problematike. Obrazovanje kadra i opremanje odgovarajućim sredstvima i opremom za NHB zaštitu treba i mora biti u skladu sa usvojenom terminologijom, s obzirom da je od ključnog značaja za distribuciju relevantnih informacija.

Cilj ovog rada je da se korišćenjem znanja i postojećih iskustava i primenom teorije igara smanji NHB rizik pri odlučivanju u višekriterijumskim konfliktnim situacijama i u mirnodopskoj praksi, posebno pri dijagnostici pacijenata. Sigurno je i ovde, da od nuklearne (radiološke) opasnosti postoji „odgovor“, od klasičnih mera bezbednosti pa do aktiviranja nadležnih specijalizovanih ustanova i jedinica, posebno opremljenih za preduzimanje mera zaštite od NHB oružja, udesa i terorizma u savremenim operacijama. U tom cilju neophodno je razviti jedinstven sistem ABHO, sa kojim može da se reaguje u svim pa i u najtežim situacijama. Iako je većina zemalja

izvršila implementaciju preporuka, ICPR teži da Sistem zaštite od zračenja učini koherentnijim i razumljivijim, ističući potrebu za stabilnošću međunarodnih i nacionalnih zakonskih propisa. Neophodna je pristupna projekcija Studije izvodljivosti (Radijacioni HACCP sistem). Uspostavljanje ovog sistema treba zasnovati na operacionim istraživanjima, a koji treba da odgovori na pitanje zadataka, činilaca, strukture organizacije, menadžmenta i informatičke podrške, kao i da osmisli osnovne parametre i procedure reakcije u sistemu kvaliteta zaštite i bezbednosti.

LITERATURA

- [1] Biočanin R. Mere i sadržaji obezbeđenja od NiH udesa u miru, Bilten ABHO, ŠC ABHO, Kruševac, 1995.
- [2] Biočanin R., Nikolić D., Petković M.: Nuklearni udesi u miru i zaštita, VII Kongres nuklearne medicine Jugoslavije, 24 - 26 septembar, Soko Banja, 1998.
- [3] Biočanin R. Nuklearni udesi u miru - uzročnici koji zabrinjavaju, NIC "VOJSKA", 18.4.2002.
- [4] Amidžić B., Biočanin R. Nuklearni udesi i zaštita, Nacionalna naučna konferencija sa međunarodnim učešćem "ETRA-2005", 05-10. jun 2005. Budva.
- [5] Amidžić B., Biočanin R. Efekti i posledice nuklearnih udesa i mere zaštite životne sredine., Naučno-stručni časopis "IMK-14", 3 4/2005. Kruševac.
- [6] Karkalić R., Popović R. Biočanin R. Chemical warfare agents protection wih NBC clohing materijals, V International conference "RaDMI 2005", 2005. Vrnjačka Banja, Serbia and Montenegro.
- [7] Kljajić R., Kovačević M., Mitrović R. Nove preporuke ICPR u zaštiti od zračenja, XXIII Simpozijum Društva za zaštitu od zračenja SCG, 2005. D. Milanovac.
- [8] Recommendations of the ICRP. Publication 60. Annals ICRP 21. Oxford, Pergamon Press, 1991.
- [9] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No.115-I, Vienna 1994.
- [10] NRPB Guidelines on Patient Dose to promote the Optimisation of Protection for Diagnostic Medical Exposure. Report of an Advisory Group on Ionizing Radiation. Vol. 10, No1, 1999.
- [11] National Protocol for Patient Dose Measurements in Diagnostic Radiology. Institute of Physical Sciences in Medicine, 1992.
- [12] Zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja. Sl list SRJ, 46/96.
- [13] Papageorgiou E, et al. Estimation of doses received by a patients undergoing radiological examinations in Greece, Rad. Prot. Dosim, 2001.
- [14] Guidance of Diagnostic reference Levels for Medical Exposures. European Commission, 1999.
- [15] Johnston D A, Brennan P C, reference dose levels for patients undergoing common diagnostic X-ray examinations in Irish hospitals. Br J Radiol 2000.
- [16] European Commission. European Guidlines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images. EUR 16260 EN, Luxembourg, 1996.
- [17] European Commission. European Protocol on Dosimetry in Mammography, Luxembourg, 1996.
- [18] European School of Radiological Protection, Course book on Training Course on Radiation Protection in Medicine, Berlin, Germany, 1999

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

EKOLOŠKI ASPEKTI REINŽENJERINGA LANCA SNADBEVANJA

B. Davidović ¹⁾, D. Rajković ²⁾

Rezime: Klasičan lanac snabdevanja obuvata sve logističke procese počev od nabavke sirovina do distribucije gotovih proizvoda krajnjem korisniku, sa fokusom na optimizaciju procesa. Reinženjering lanca snabdevanja, uz redefinisane postojećih procesa, ima za cilj razmatranje neposrednih i konačnih efekata proizvoda i usluga povratnih i otpadnih proizvoda na životnu sredinu. Potpuno integrisan, produžen lanac snabdevanja uključuje i reciklažu proizvoda i ambalaže, ponovnu upotrebu i/ili operacije re-proizvodnje. Osim operativnih performansi moraju se definisati i pratiti i ekološke performanse.

Ključne reči: Lanac snabdevanja, logistika, ekologija

ECOLOGICAL ASPECTS OF SUPPLY CHAIN REENGINEERING PROCES

Abstract: Traditional supply chain comprises all logistic processes from raw material purchasing up delivery of final products to end users with special focus on proces optimization. The main goal of redefining of supply chain extension is considering of the immediate and final effects of all products and proceses on the environment. Completly integrated, extended supply chain includes products and packages recycle, reuse and/or re-production operations. Besides operative performances, ecological performances must be defined and controled too.

Key words: Supply chain, logistics, ecology

1. UVOD

Standardi serije ISO 14000 (EMS) postavljaju nove zahteve u pogledu razvoja organizacija i ekologije.

Pre uvođenja novih usluga i proizvoda neophodna je analiza i procena njihovog uticaja na okolinu. Na svakom organizacionom nivou utvrđuju se standardi i ciljevi, koji uključuju politiku zaštite od zagađenja i minimiziranje otpada, kao i monitoring za svaki identifikovani cilj. Moraju se definisati procedure koje treba slediti u slučaju neostvarenja i nepoklapanja sa ustanovljenim politikama razvoja životne sredine.

Da bi jedno preduzeće (organizacija) bilo vodeće na tržištu ono mora da ostvaruje visoke nivoe kvaliteta proizvoda i/ili usluga sa konkurentnim cenama i

¹⁾ Prof. dr B. Davidović, Viša Železnička škola, Beograd, iwtbg@beotel.yu

²⁾ Mr Dragan Rajković, Zastava automobili, Kragujevac, zastmar@infosky.net

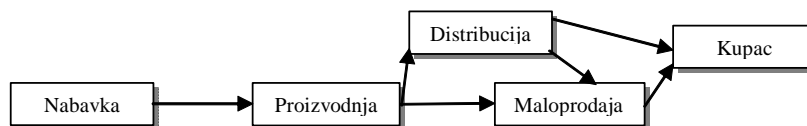
rokovima isporuke. Taj uslov je potreban, ali ne i dovoljan. Naime, uz proizvod preduzeće ne može »isporučivati« otpadne gasove, zagađivati vodu i zemljište, stvarati buku i dr.

Nova era u shvatanju životne sredine predstavlja novi izazov organizacijama širom sveta koje se bave »zelenom« proizvodnjom. Prvi korak u dostizanju ovog izazova je reinženjering osnovne strukture čitavog lanca snabdevanja prema sve strožijim zahtevima životne sredine.

2. REINŽENJERING LANCA SNABDEVANJA

2.1 Klasičan lanac snabdevanja

Klasičan lanac snabdevanja se definiše kao integrisani skup procesa od prvog snabdevača sirovina, prerade u finalne proizvode do isporuke krajnjim potrošačima tj. kupcima (preko distribucije, maloprodaje ili na oba načina). Slika 1 ilustruje osnovnu strukturu klasičnog lanca snabdevanja [2].



Slika 1. Tradicionalni lanac snabdevanja

Analiza i modeliranje klasičnog lanca snabdevanja je primarno fokusirana na optimizaciju nabavke sirovina od dobavljača do distribucije proizvoda kupcima. U okviru analize lanca snabdevanja problematika analize fokusirana je na sledeće:

- Planiranje proizvodnje/distribucije: Planiranje rasporeda prerade i/ili distribucije.
- Nivoi zaliha: Određivanje količine i lokacije skladišta svake sirovine, podsklopa i finalnih sklopova (gotovih proizvoda).
- Broj nivoa (instanci): Određivanje broja nivoa koji će biti uključeni u lanac snabdevanja. Ovo podrazumeva ili povećanje ili smanjenje nivoa vertikalne integracije (kombinovanjem ili eliminisanjem nivoa ili odvajanjem ili dodavanjem nivoa ponaosob).
- Logističke centre (LC) - Dodeljivanje kupaca: Određivanje koje kupce će uslužiti određeni LC.
- Dodeljivanje proizvoda fabrici: Određivanje koje proizvode će proizvoditi određene fabrike tj. preduzeća.
- Odnosi na relaciji Kupac-Dobavljač: Utvrđivanje i razvoj kritičnih aspekata odnosa kupac-dobavljač (isporučilac).
- Diferenciranje proizvoda-specifikacija koraka: Određivanje koraka (faza) u okviru procesa proizvodnje na kojima proizvod treba da bude diferenciran ili specijalizovan.
- Broj tipova proizvoda na zalihama: Određivanje broja različitih tipova (vrsta) proizvoda koji će biti na zalihama gotovih proizvoda.

2.2 Produženi lanac snabdevanja

Krajnji cilj reinženjeringa – redefinisiranja klasičnog lanca snabdevanja je da omogući razmatranje ukupnih neposrednih i konačnih efekata svih proizvoda i procesa na sredinu (upravljanje proizvodom i procesom ponaosob). Koncept upravljanja se bazira na raspoznavanju činjenice da efekti organizacije na sredinu uključuju uticaje robe i procesa, počevši od vadenja sirovina, njihove upotrebe za proizvodnju dobara, pa do finalne distribucije ovih dobara.

Evolucija proizvodnih preduzeća od tradicionalnog do potpuno integrisanog menadžmenta životne sredine (*EMS*) tehnikama upravljanja rešavanjem problema životne sredine prikazuje se u tabeli 1.

Tabela 1. Nivoi menadžmenta životnom sredinom

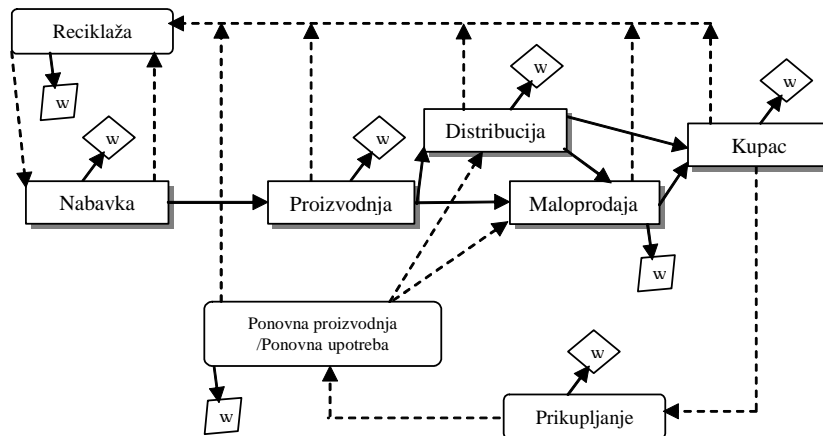
Nivo evolucije	Karakteristike
1. Rešavanje problema	Tradicionalni pristupi Sagledavanje regularne usklađenosti opterećujućih troškova poslovanja
2. Upravljanje radi usklađivanja	Mali pokušaji u koordinaciji i integraciji <i>EMS</i> Orjentisanost na usklađenost
3. Upravljanje radi osiguranja	Vizionari/planeri na dugi rok Rizik menadžment i balansiranje potencijalnih budućih opasnosti životne sredine (kroz troškove)
4. Upravljanje radi eko-efikasnosti	Prevenција zagađenja umesto kontrole zagađenja Minimizacija otpadaka i redukcija izvora
5. Potpuna integrisanost	Sagledavanje kvaliteta životne sredine kao aspekta totalnog menadžmenta kvalitetom (<i>TQM</i>) Globalna briga o procesima i čitavom životnom ciklusu proizvoda

Na najranijim evolutivnim nivoima menadžmenta životnom sredinom organizacije "*odvajaju*" parametre životne sredine (parametri otpadnih i povratnih materijalnih resursa) od ostalih sistemskih parametara (strukturni, kvaliteta, ekonomičnosti, produktivnosti). Međutim, kako organizacije evoluiraju, počinju da integrišu ciljeve životne sredine u okviru svojih operativnih ciljeva dolaze do kvalitetnije proizvodnje i značajnih ekonomskih efekata.

Na ovaj način mogu biti realizovane sledeće potencijalne koristi:

- Smanjenje troškova životnog ciklusa proizvoda vodi do povećane profitabilnosti;
- Detaljnije, efikasan *EMS* dovodi do izbegavanja sledećih troškova: kupovine opasnih materijala kao inputa što se odražava na veličinu troškova zajedno sa štetama životnoj sredini; procesa skladištenja, upravljanja i distribucije otpada, naročito ako troškovi odstranjivanja otpada postanu visoki; otpora tržišta prema proizvodima koji štete okolini; usled javnih i stalnih "*prozivanja*" i konsekvenci prema organizacijama koje nanose štete životnoj sredini;
- Smanjenje rizika po životnu sredinu i zdravlje;
- Sigurnije i čistije fabrike.

Reinženjering lanca snabdevanja (slika 2) se sastoji od elemenata klasičnog lanca snabdevanja, ali se produžava jednosmernim kanalom sa poluzatvorenom petljom - koja uključuje reciklažu proizvoda i ambalaže, ponovnu upotrebu i/ili operacije re-proizvodnje. Odgovarajući segmenti produženog lanca snabdevanja prikazani su isprekidanim linijama na slici 2.



W (waste) - otpadni (izbačeni) materijal

Slika 2. Produženi lanac snabdevanja

Reciklaža je proces prikupljanja korišćenih proizvoda, komponenti i/ili materijala, njihove demontaže-rasklapanja (onda kada je to neohodno), njihovog odvajanja u kategorije zavisno od tipa materijala (npr. posebni tipovi plastike, staklo itd.) i njihove prerade u reciklirane proizvode, komponente i/ili materijale. U ovom slučaju, identitet i funkcionalnost originalnih materijala se gubi. Uspeh reciklaže zavisi od: 1) postojanja ili nepostojanja tržišta za reciklirane materijale, 2) kvaliteta recikliranih materijala (pošto većina procesa reciklaže redukuje vrednost materijala u odnosu na njegovu originalnu vrednost, jer se sam materijal degradirao).

Ponovna upotreba je proces prikupljanja upotrebljenih materijala, proizvoda ili komponenti i njihova distribucija ili prodaja kao već upotrebljivanih proizvoda. Prema tome, iako je konačna vrednost proizvoda u odnosu na originalnu vrednost takođe umanjena, nije potrebna nikakva dodatna obrada.

Proces ponovne proizvodnje sastoji se od prikupljanja korišćenih proizvoda ili komponenti, procene njihovog stanja i zamene pohabanih, polomljenih ili zastarelih delova sa novim ili obnovljenim delovima. U tom slučaju identitet i funkcionalnost originalnog proizvoda se zadržava. Rezultujući (ponovno proizvedeni proizvod) se onda pregleda i testira sa ciljem da se postignu ili prevaziđu standardi kvaliteta brenda novog proizvoda. Prema tome, u nekim slučajevima ponovo obrađeni proizvod može da prevaziđe originalni proizvod u pogledu kvaliteta i/ili funkcije. Ovo je zbog činjenice da se tokom procesa ponovne obrade, dizajn zamenjenih delova i/ili komponenti može poboljšati u odnosu na način proizvodnje originalnog proizvoda. Jedinstvena prednost ponovne obrade je ta što, za razliku od reciklaže ili ponovne upotrebe, proces ponovne obrade ne degradira sveobuhvatnu vrednost korišćenih materijala.

2.3 Oblikovanje produženog (zelenog) lanca snabdevanja

Uopšteno, uticaji operacija prerade na okolinu mogu biti kategorizovani na : I - otpad (u svim oblicima), II - upotrebu energije i III - upotrebu bogatstva (potrošnju materijala). Da bi ostvarili zeleni lanac snabdevanja, proizvodna preduzeća moraju slediti bazne principe koje je ustanovio *ISO 14000*. U osnovi, organizacije moraju da razviju procedure koje su fokusirane na analize operacija, kontinuirana poboljšanja, merenja, ciljeve i praćenje. Postupak produženja lanca snabdevanja obuhvata:

1. Identifikovanje procesa produženog lanca snabdevanja;
2. Razvijanje sistema merenja performansi;
3. Merenje performansi (karakteristika) lanca snabdevanja;
4. Utvrđivanje prioriteta poboljšanja performansi;
5. Razvijanje alternativa i izbor pristupa poboljšanja performansi;
6. Uspostavljanje procedura za proveru i poboljšanje;
7. Monitormig produženog lanca snabdevanja.

3. PERFORMANSE PRODUŽENOG LANCA SNADBEVANJA

Mada je veliki broj parametara koji karakterišu klasičan lancu snabdevanja već razvijen, oni su uslovno značajni za ocenu kvaliteta produženog lanca snabdevanja. Razlog je u postizanju dvostrukih ciljeva produženog lanca snabdevanja, ekonomske efikasnosti i zaštite okoline. Ekološki aspekti se odnose direktno na zahteve za analizom i procenom uticaja na okolinu, kontinuirano merenje, ciljeve i procedure za monitoring. Pored sistema logističkih parametara otpadnih i povratnih materijalnih resursa datih u [3], u tabeli 2 dati su dodatni parametri na osnovu kojih se može ocenjivati kvalitet produženog lanca snabdevanja [1].

Tabela 2. Performanse produženog lanca snabdevanja

Tip parametra	Mere parametra
Korišćenje resursa	Ukupna potrošnja energije Ukupna potrošnja materijala
Povraćaj vrednosti proizvoda Ponovna obrada Ponovna upotreba Reciklaža	Vreme potrebno za povraćaj proizvoda (vrednosti) % Materijala koji se može reciklirati % Zapremine ili mase proizvoda koji je vraćen ili ponovno upotrebljen Čistoća materijala koji se može reciklirati i ponovo mu je vraćena vrednost % Recikliranog materijala/masa ili zapremina % Proizvoda koji je uništen ili spaljen Broj reciklirane ambalaže ili kontenera Stopa povraćaja materijala Odnos netaknutog prema recikliranom bogatstvu Odnos recikliranog materijala prema materijalu koji se potencijalno može reciklirati Produktivnost materijala: ekonomski rezultat po jedinici inputa materijala
Karakteristike proizvoda	Korisni operativni vek proizvoda Ukupna masa proizvedenih proizvoda

Emisija otpada i izlaganje opasnim materijama	Ukupna količina upotrebljenih toksičnih ili opasnih materija Ukupna količina proizvedenih toksičnih ili opasnih otpada Emitovanje čvrstih otpada % Proizvoda koji se odlažu na deponije Koncentracija opasnih materija u proizvodima Procenjen godišnji rizik od nepovoljnog uticaja na ljude i živi svet
Ekonomičnost	Prosečni troškovi životnog ciklusa proizvoda Troškovi nabavke i operativni troškovi Uštede u prosečnim troškovima ukupnog ciklusa zajedno sa poboljšanjima u dizajnu Ekonomska efikasnost
Ekološka efikasnost	Ekološka efikasnost: dodavanje najveće vrednosti sa najmanjom upotrebom bogatstava i najmanjim zagađenjem. Upošteno, sposobnost da se istovremeno zadovolje ciljevi u pogledu troškova, kvaliteta i performansi, redukuju uticaji na životnu sredinu i očuva vredno bogatstvo

4. ZAKLJUČAK

Klasična struktura lanca snabdevanja mora biti produžena kako bi uključila mehanizme povećanja vrednosti proizvoda. Ovo produženje predstavlja dodatni nivo kompleksnosti dizajna i analize lanca snabdevanja. Neophodno je da se donesu strateške i operativne odluke i oblikuje zeleni lanac snabdevanja. Produženi lanac snabdevanja, obuhvata procese tradicionalnog logističkog lanca i uključuje reciklažu proizvoda i ambalaže, ponovnu upotrebu, skupljanje i operacije ponovne proizvodnje, odnosno re-proizvodnje. Krajnji cilj produženja tradicionalnog lanca snabdevanja je da omogući razmatranje ukupnih neposrednih i konačnih efekata svih proizvoda i procesa na sredinu. Novi sistemi merenja ekoloških performansi omogućuju organizacijama da postanu i ostanu konkurentni dok postižu procese održivog razvoja.

LITERATURA

1. *Beamon, M. Benita*, "Measuring supply chain performance", International Journal of Operations & Production management, vol. 19, no. 3, 2002. - s. 275-292.
2. *Beamon, M. Benita*, "Supply Chain Design and Analysis: Models and Methods", International Journal of Production Economics, vol. 55, no. 3, 1998. -s. 281-294.
3. *Davidović, B.*, Logistika, Viša Železnička škola, 2004, Beograd.
4. [4] United States Congress, Office of Technology Assessment (1992), Green Products By Design: Choices for a Cleaner Environment, OTA - E - 541, Washington, DC, US Government Printing Office. Available:
5. http://www.wws.princeton.edu/~ota/ns20/year_f.html [1997, November 5].
6. [5] www.iso.org



ЕКОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ЖЕЛЕЗНИЧКОГ САОБРАЋАЈА

Д. Јовановић¹⁾

Сажетак. Утицај саобраћајног система на животну средину, у еколошком смислу, данас је све израженији. Саобраћајна средства на различите начине и у различитој мери стварају одређене еколошке проблеме са мањим или већим последицама. Одвијање железничког саобраћаја испољава одређени штетни утицај на животну средину. Посматрајући утицај железнице дате су препоруке за предузимање мера у циљу смањења штетних утицаја, буке и вибрација, и побољшања еколошких карактеристика железнице.

Кључне речи: Железница, бука, вибрације, загађење, екологија.

ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF RAILROAD TRAFFIC

Summary. The environmental effects of the traffic system today, in the ecological sense, are increasingly pronounced. Vehicles create certain ecological problems in various ways and degrees, with minor or greater consequences. Ongoing railroad traffic has a certain negative effect on the environment. Considering the effects of railroad, measures are given for diminishing harmful effects, noise and vibrations, as well as improving the ecological characteristics of the railroad.

Keywords: railroad, noise, vibrations, pollution, ecology.

1. УВОД

Саобраћајни систем у знатној мери угрожава животну средину узрокујући одређене еколошке последице: загађење ваздуха, бука и вибрације, заузимање плодног земљишта и нарушавање природног амбијента.

У току свог функционисања саобраћајна средства у атмосферу избацују бројне штетне материје чиме значајно загађују ваздух. Ниво загађења ваздуха у градским зонама добија забрињавајуће размере.

Бука коју стварају саобраћајна средства испољава толико штетног утицаја да се све више води рачуна о пројектовању и предузимању спектра мера ради његовог ублажавања. И бука и загађење стварају одређене директне и индиректне трошкове.

¹⁾ Др Драгутин Јовановић, редовни професор, пуковник ВС, Министарство одбране, Управа за школство, Ул. Павла Јуришића Штурма бр. 1. 11000 Београд, joviki@net.yu

За градњу разноврсних саобраћајница и пратеће инфраструктуре, по правилу, се одвајају најплодније земљишне површине и деградира околни простор.

Природа терета који се превозе испољава одређени утицај на животну средину. Највећу потенцијалну опасност за угрожавање животне средине испољавају опасне материје у току свог транспорта.

У циљу смањења или евентуалног елиминисања опасности штетног деловања на животну средину предузимају се разноврсне организационе и техничке мере, користећи при томе резултате бројних истраживања у Европи и свету.

Проучавајући целокупни саобраћајни систем уочене су еколошке предности железнице, изражене кроз мање загађење животне средине, заузимање простора, ризике при превозу ОМ, а све захваљујући њеним техничко-технолошким карактеристикама.

Одвијањем железничког саобраћаја настају нежељени утицаји буке, вибрација, загађења и сл. С циљем њиховог смањења примењују се разноврсне активне мере на месту настанка и пасивне мере на путу преношења и објекту испољавања дејства.

У раду се разматрају одређене еколошке карактеристике, односно утицаји одвијања железничког саобраћаја на животну средину, као и могући начини ублажавања евентуалних последица.

1. УГРОЖАВАЊЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ ЗАГАЂЕЊЕМ ВАЗДУХА

Саобраћајна средства друмског, ваздушног и железничког саобраћаја, с обзиром на своје специфичности, различито утичу на загађење ваздуха. Када се говори о загађењу ваздуха, првенствено се мисли на моторна возила, јер се у друмском саобраћају троши највише течних горива.

Електроенергију у саобраћају троши железнички и градски саобраћај. У земљама Западне Европе од укупне енергије потрошене у саобраћају у друмском саобраћају се троши од 71,8% до 92,4%, а у железничком од 1,9% до 5,9%.

Видљива разлика у потрошњи енергије у друмском и железничком саобраћају настаје као последица тога што је друмски саобраћај, углавном, потрошач течних горива које има најнижи степен ефикасности. То је један од битних разлога приступања многих земаља Европе убрзаној електрификацији железнице.

Електрификацијом железнице може да се повећа обим превозења, а да се знатније не повећа потрошња енергије у односу на остварени обим, што железници даје предност у односу на остале гране саобраћаја.

Енергија, као фактор који одређује место железнице у саобраћајном систему, мора да се посматра и са становишта специфичне потрошње у саобраћају. Специфична потрошња је један од основних економских показатеља у саобраћају, јер се трошкови енергије одражавају на укупне транспортне трошкове.

Железница са својом електровучом троши електричну енергију домаће производње са високом ефикасношћу по јединици услуге, што јој обезбеђује значајно место у саобраћајном систему.

У издувним гасовима моторних возила, због непотпуног сагоревања горива, остаје висок степен отровних материја.

Табела 1. Преглед емисије штетних материја код појединих саобраћајних грана [1]

Назив штетне материје	% у једин. количине	% по саобраћајним гранама			
		железнички	друмски	ваздушни	водни
Угљен-моноксид (CO)	68	1	98		0,8
Азот. оксид (NO ₂)	17	4	90,5	0,5	5
Угљен-водоник (CH)	9	1	95	1	3
Сумопор -оксид (SO ₂)	2	10	74	2	14
Чврсте честице	1	5	85	3	7
Остали (олово, гума, асфалт и сл.)	3				

Подаци приказани у претходној табели су доказ да је железница неупоредиво мањи загађивач ваздуха од средстава друмског саобраћаја.

Имајући у виду да је из енергетских и еколошких разлога све веће учешће електролокомотива у саобраћају, које не емитују штетне гасове, јасна је предност железнице у односу на остале саобраћајне гране, што јој обезбеђује централно место у саобраћајном систему.

2. УГРОЖАВАЊЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ БУКОМ

Поред загађења ваздуха, штетни утицај на животну средину има и бука коју стварају различита саобраћајна средства, а која директно делује на централни и вегетативни нервни систем човека изазивајући низ тешких нервних поремећаја.

Најраспрострањенија врста буке је бука коју стварају друмска (путна) возила. То је у развијеним земљама један од озбиљнијих друштвених проблема.

Главни извори буке код железничких возила потичу од локомотива (погонских и маневарских), железничких кола, моторних возова као и сигнала упозорења. Највећи извори буке за све брзине шинских возила потичу од буке точкова и шина при котрљању воза, посебно при кочењу. Поред брзине кретања бука зависи од геометријске конфигурације пруге. Бука је већа код кретања воза у кривинама, по мостовима и сл.

Бука изазива одређена физиолошка и психолошка дејства, изражена у облику:

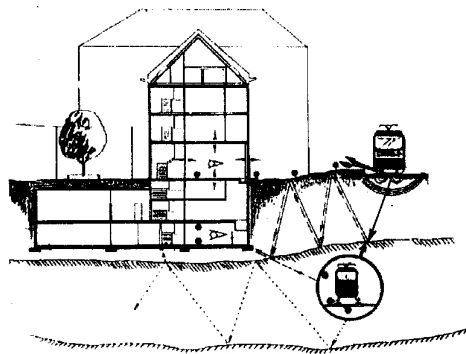
- психосоматских ефеката – главобоља, мучнина, умор и нервоза,
- физичких ефеката – утицај на тело или телесне функције,
- ометања активности – утицај на сан, одмор, рекреацију, говор и функционисање организма у целини.

Све израженији постаје проблем утицаја буке и вибрација на људе изазван железничким (шинским) саобраћајем, у возовима, на перонима, као и у грађевинским објектима поред железничке пруге. Надземни шински саобраћај изазива примарну и секундарну ваздушну буку и вибрације. Путници у возовима највише осећају утицај примарне емисије, док се у објектима уз пругу, поред примарне, осећа и утицај структурне и секундарне емисије буке и вибрација. Структурна бука настаје у неком чврстом телу или на његовој површини, док је секундарна бука одрачена од зидова и таваница неког објекта и представља чујни резултат структурне буке. Према томе, основни извор секундарне ваздушне буке и вибрација су таванице и зидови грађевинских објеката, које пролазак железничких композиција побуђује на вибрирање и емисију секундарне буке [2,3].

На сл.1 су приказана места извора буке и вибрација у железничком саобраћају, путеви њиховог простирања и места на којима се њихово дејство испољава (имисија).

На настанак буке и вибрација на железници пресудан утицај има горњи строј. Побуде могу настати услед одигнутих прагова, услед преласка преко скретница, некавалитетно обрађених места варова на шинама, на изолационим саставима итд. Доминантна је бука коју производе точкови у додиру са шинама. Ниво буке зависи од карактеристика точка, похабаности ивице точка, врсте кочница, конструкције сандука кола итд. Бука се повећава и с брзином кретања воза. На железничким мостовима вибрације и бука су израженији код челичних него код бетонских мостова, и код мостова без туцаничког застора.

- ↓ места настанка побуде (емисије) и допунски побуђивачи
- ⊙ емисија ваздушне буке
- ↔ ● емисија структурне буке и вибрација



Слика 1. Приказ места настанка (емисије) вибрација и буке у железничком саобраћају, путеви њиховог преноса и места (имисије) где се испољава њихово дејство

При кретању возова ограниченим брзинама, као и у току стајања у станицама, преовлађује бука од мотора или других делова локомотиве (компресори, вентилатори итд). Електричне локомотиве производе мање буке од дизел-локомотива. У ранжирним станицама у току ноћних активности, почев од раздвајања и спајања композиција, рада одређене помоћне опреме и сл., јавља се бука веома високог нивоа, а припада категорији индустријске буке.

Дати подаци [5] о односима буке коју изазивају различита саобраћајна средства добијени су кроз истраживања Међународне железничке уније (UIC), табела 2.

Подаци приказани у табели 2 доказују да је железница са својим саобраћајним средствима најмањи изазивач буке.

Ради смањења вибрација и буке примењују се различите мере и то: активне мере на месту емисије(настанка) буке, пасивне мере на путу преношења буке и пасивне мере на објекту имисије (испољавања дејства) буке.

Табела 2. Преглед буке коју стварају саобраћајна средства [5]

Врста саобраћајног средства	Просечна вредност буке(dB)
Друмски аутомобил испод 700 см ³	85
Друмски аутомобил 700-1200 см ³	82
Друмски аутомобил изнад 1200 см ³	82
Тешко теретно возило	103
Авион при узлетању и слетању	106
Шинско возило (25 м на обе стране)	65-75
Теретни воз (V = 120 км/х)	60
Брзи воз	65
Приградски воз	70

Активне мере заштите на месту емисије обухватају мере за избегавање или смањење побуде, односно отклањање узрока настанка вибрација и буке.

Пасивне мере смањења буке односе се на постављање препрека на путу преношења звука (зидови за заштиту од буке, заштитни појасеви дрвећа). Зидовима и заштитним појасевима се преумерава и апсорбује емисија буке.

За смањење вибрација могу да се користе одговарајући еластомери, који се уграђују у горњи строј колосека, испод главе и стопе шина, испод ребрасте плоче, испод прага, испод туцаничког застора. Поред ових мера, могу да се предузму и одређене мере заштите на месту емисије утицаја уградњом звучне изолације на зградама, одређених апсорпционих панела, специјалних стакала и сл.

Дозвољени нивои буке на железници морају да се ограниче на стандардне вредности, и то у оквиру међународних стандарда који важе на мрежи Заједнице европских железница. Деведесетих година су поједине земље Европе почеле да доносе националне прописе о дозвољеним нивоима буке која потиче од железничког саобраћаја, што је узроковало развој различитих техничких решења и примену разноврсних мера заштите.

Примене појединих мера дале су различите ефекте. Најбоље ефекте постижу:

- високи стандарди квалитета параметара инфраструктуре и њеног одржавања,
- градња ниских баријера поред пруге,
- акустичка оптимизација нових возних средстава заснована на јединственим међународним стандардима о дозвољеним нивоима буке коју стварају и
- акустичка модификација на постојећим возним средствима, посебно на теретним колима.

3. ЗАКЉУЧАК

Саобраћајни систем у знатној мери угрожава животну средину узрокујући одређене еколошке последице: загађење ваздуха, бука и вибрације, заузимање плодног земљишта и нарушавање природног амбијента.

У циљу смањења деловања штетних последица примењују се разноврсне мере, користећи при томе резултате бројних истраживања у Европи и свету. При томе се користе и развијају одговарајући стандарди усаглашени са међународним.

Проучавајући целокупни саобраћајни систем уочене су еколошке предности железнице, изражене кроз мање загађење животне средине, заузимање простора, а све захваљујући њеним техничко-технолошким карактеристикама.

Одвијањем железничког саобраћаја настају нежељени утицаји буке и вибрација. С циљем њиховог смањења примењују се разноврсне активне мере на месту настанка и пасивне мере на путу преношења и објекту испољавања дејства. Примена ових мера изазива одређене индиректне трошкове.

Директни и индиректни трошкови оштећења животне средине треба да се реално процењују - утврђују и наплаћују од субјеката одговорних за њихово изазивање. Њихова вредност треба да буде мотив да се оштећења животне средине избегну.

ЛИТЕРАТУРА

1. ЈОВАНОВИЋ, Д., КАЛИЧАНИН,Б. Железнички саобраћај и транспорт, уџбеник, Београд, 2002.
2. WEISS,Т., GAUTIER,П.Е., BIRD,W.-Research on railway noise in Europe, 1995.
3. СИМОНОВИЋ,М., КАЛИЋ,Д., ПРАВИЦА,П.: Бука-Ниш,1982.
4. ЈОВАНОВИЋ,Д. Управљање квалитетом услуге у железничком саобраћају и транспорту, XI НАУЧНО-СТРУЧНА КОНФЕРЕНЦИЈА ЖЕЛКОН-04, Ниш, 2004.
5. КОЛАРИЋ,Н. Савремене концепције у саобраћајној политици и управљању саобраћајним системом. Завод за НИП делатност ЈЖ, Београд, 1987.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

ENERGETSKA EFIKASNOST DOMAĆIH TRAKTORSKIH DIZEL MOTORA U ODNOSU NA EVROPSKE

J. Jevtić ¹⁾, R. Gligorijević ²⁾, Đ. Borak ³⁾,

Rezime: Industrija motora i vozila je jedna od najdinamičnijih i najkompleksnijih grana svetske privrede. Ona je glavna pokretačka snaga svetske ekonomije. Ali ona je i veliki potrošač energije iz fosilnih goriva. Zato je smanjenje potrošnje goriva u transportu, pre svega drumskom saobraćaju veoma bitno kako sa energetskeg aspekta jer se štedi gorivo a time smanjuje zavisnost od uvoza i smanjuje zagađenje životne sredine, tako i sa operativnog aspekta, jer potrošnja goriva čini oko 30% operativne cene vozila. U budućim dekadama biće veća pažnja usmerena na emisije kao i potrošnju goriva van putnih vozila, pre svega traktora zbog proizvodnje zdrave hrane. Sa tog aspekta vršena su upordna ispitivanja domaćih dizel motora u odnosu na savremene evropske dizel motore, a u cilju uklapanja u evropske norme.

Ključne reči: dizel motori, traktori, potrošnja goriva

FUEL EFFICIENCY OF DOMESTIC DESIGN TRACTORS DIESEL ENGINES IN RELATION TO EUROPEAN ONES

Abstract: The automotive industry is one the most complex and dynamic sectors of the manufacturing world. It is major force in the world economy, but it is higher consumer energy from fossil fuel. Therefore reduction fuel consumption in transport, first of all in the motorized traffic is very important because it is not only one of the largest consumers of mineral oil products, but also one of the largest sources of air pollution, because of evaporative losses and exhaust emissions.

The paper gives a review of fuel efficiency of domestic design tractors diesel engines in relation to European ones.

Key words: diesel engines, tractors, fuel consumption

1. UVOD

Jedna od karakteristika našeg vremena je opšta javna saglasnost da društvo neracionalno koristi energiju [1]. Ukupna potrošnja svih vidova energije je veoma velika i stalno se povećava (sl.1). Izražena po glavi stanovnika na godinu ona iznosi 75

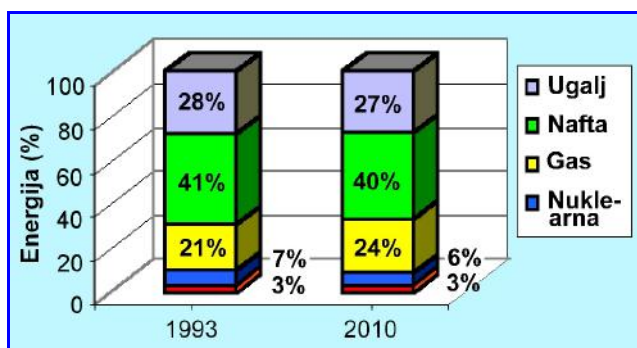
¹⁾ J. Jevtić, IMR- Institut, P. Dimitrija 7, Beograd, Srbija, imrkb@eunet.yu

²⁾ R. Gligorijević, IMR- Institut, P. Dimitrija 7, Beograd, Srbija, imrkb@eunet.yu

³⁾ Đ. Borak, IMR- Institut, P. Dimitrija 7, Beograd, Srbija, imrkb@eunet.yu

GJ, što je ekvivalentno 2,6t uglja ili 1,8t sirove nafte. Ne samo da je globalna potrošnja energije velika već će ona i dalje rasti, jer će rasti i tehnološki razvoj u svim pravcima - u poljoprivredi, transportu, industriji i stambenoj oblasti.

Zbog globalizacije nacionalnih ekonomija veoma značajan je porast prevoza u transportnom sektoru koji će biti jedan od najznačajnijih potrošača energije. Sa tog aspekta smanjenje potrošnje goriva u transportu, veoma je bitno kako sa energetskeg aspekta jer se štedi gorivo a time smanjuje zavisnost od uvoza i smanjuje zagađenje životne sredine [2,3,4,5], tako i sa operativnog aspekta, jer potrošnja goriva čini oko 30% operativne cene vozila [6]. Imajući ovo u vidu kao i činjenicu da su domaći dizel motori za traktore starije konstrukcije i da je njihova energetska efikasnost prilično niska u odnosu na savremene traktorske dizel motore prišlo se istraživanju energetske efikasnosti ovih motora i poređenju sa savremenim evropskim motorim, da bi se na osnovu dobijenih rezultata preduzele mere za poboljšanje njihove energetske efikasnosti.



Slika 1. Potrošnja primarne energije u svetu

Sa tog aspekta vršeno je uporedno ispitivanje energetske efikasnosti trocilindričnih traktorskih dizel motora starije konstrukcije-domaće proizvodnje i nekih evropskih dizel motora novije konstrukcije.

3. EKSPERIMENTALNI PODACI

Ispitivanje potrošnje goriva izvođeno je na trocilindričnim traktorskim motorima sa indirektnim ubrizgavanjem (Perkins 3.152 - M 33/T) i direktnim ubrizgavanjem (Perkins D3.152 - DM 33/T).

Ovi motori su starije konstrukcije (tehnologije proizvodnje). Kriterijum za izbor ovih motora bili su njihova masovnost u proizvodnji kao i zastupljenost u eksploataciji na području Srbije kao i na širem području Balkana.

Oni su poredjeni sa evropskim traktorskim motorima, koji se proizvode po savremenijoj tehnologiji.

Kriterijum za izbor reprezentativnih evropskih traktorskih motora (V3 i E3) bili su njihova zastupljenost na tržištu, ista klasa sa domaćim izabranim motorima, a pre svega njihove performanse (snaga, moment) kao i ispunjavanje evropske zakonske emisije regulative.

U tabeli 1 prikazane su tehničke karakteristike motora starije i novije konstrukcije.

Iz tabele 1 se vidi da evropski savremeni traktorski dizel motori (V3 i E3) imaju veći stepen kompresije (10-15%), veće pritiske ubrizgavanja(15-30%),manju specifičnu potrošnju, veći prečnik klipa a manji hod , manju radnu i znatno veću (8-19%) litarsku snagu od M33/T i DM33/T dizel motora starije konstrukcije domaće proizvodnje.

Takodje je značajna razlika u opremi za ubrizgavanje. Savremeni evropski motori imaju za svaki cilindar pumpu goriva dok domaći motori starije konstrukcije imaju rotacionu pumpu visokog pritiska.

Tabela 1: Uperedne tehničke karakteristike domaćih i inostranih traktorskih dizel motora

Motori				
Naziv karakteristike	M33/T	DM33/T	V3	E3
Sistem ubrizgavanja	indirektno	direktno	direktno	direktno
Radna zapremina V(lit)	2,5	2,5	2,1	2,33
Broj cilindara u liniji	3	3	3	3
Stepen kompresije ϵ	17,4:1	16,5:1	18:1	19:1
Prečnik cilindra D (mm)	91,4	91,4	94	94
Hod klipa s (mm)	127	127	100	112
Nazivna snaga ISO 2288 (KW)	30,2	34,8	35	35
Broj obrtaja n (o/min)	2200	2250	2500	2800
Max.moment M (Nm)	150/1400	163/1800	145/1250	138/1800
Pumpa VP	Rotaciona	Rotaciona	Jedinična	Jedinična
Litarska snaga (KW/lit)	12,08	13,92	16,7	15,02
Ugao ubrizgav (° pre SMT)	20	20		
Pritisak ubrizgavanja (bar)	118	200	230	
Sp. potrošnja goriva ge(gr/KWh)	258	246	242	225

Merenje specifične potrošnje goriva izvodjeno je na probnom stolu a korišćena je direktna metoda [7].

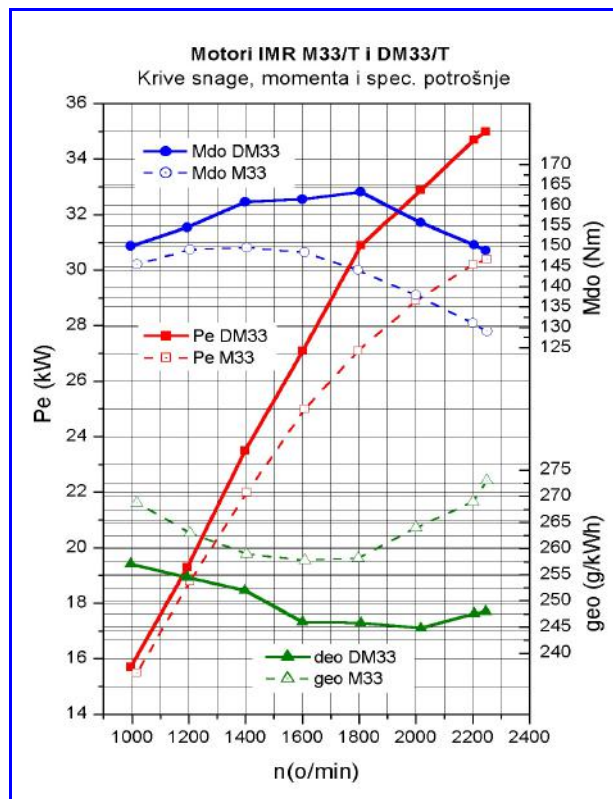
Specifična efektivna potrošnja goriva pretstavljena je dijagramski kao 1. Funkcionalna karakteristika i 2. preko univerzalnog dijagrama, nalaženjem pola ekonomičnosti.

REZULTATI I DISKUSIJA

Na slici 2. prikazani su uporedni rezultati ispitivanja funkcionalnih karakteristika na trocilindricnim traktorskim dizel motorima (M33/T I DM33/T)domaće proizvodnje. Uočava se da motori sa direktnim ubrizgavanjem (DM33) imaju veću snagu oko 15% , a manju specifičnu potrošnju goriva oko 5% iz iste radne zapremine.Ove razlike su posledica razlika u konstrukciji ova dva motora. Naime, motor M33/T ima indirektno ubrizgavanje goriva u vihornu komoru za sagorevanje, koja se nalazi u glavi motora.

Brizgaljke imaju po dva otvora, pritisak ubrizgavanja je relativno nizak u odnosu na savremene traktorske dizel motore.

Motor DM33/T ima direktno ubrizgavanje goriva u cilindre i znatno veće pritiske ubrizgavanja (1,7x), a time i bolju energetska efikasnost. Brizgaljke imaju po četiri otvora (0,26 mm), mlaz goriva je duži a to znači i duže izlaganje vazduhu za sagorevanje.



Slika 2. Uporedni rezultati ispitivanja trocilindričnih dizel motora domaće proizvodnje sa direktnim i indirektnim ubrizgavanjem

Univerzalne dijagrame specifične efektivne potrošnje goriva M33/T I DM33/T dizel motora prikazuje slika 3 a i 3b.

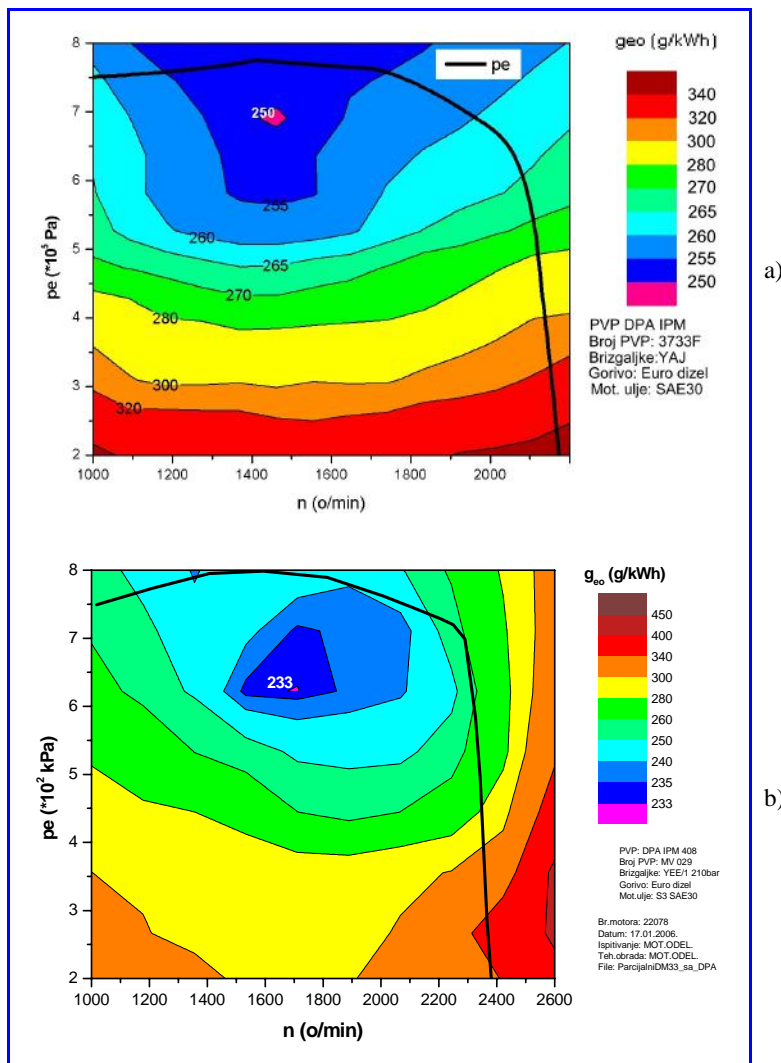
Zapaža se da polovi potrošnje goriva ova dva motora (M33/T I DM33/T) obuhvataju različite oblasti rezima rada. Oni su 250g/kWh i 233 g/kWh respektivno, dakle razlika je oko 7%.

Pol ekonomičnosti DM33/T motora (233g/kWh), u odnosu na isti M33/T motora (250g/kWh) je pomeren malo udesno i nadole, tako da je na oko 300 o/min. udesno od momenta i na oko 78% od punog opterećenja.

Relativno nizak pol ekonomičnosti DM33/T motora pokazuje da kad bi se on preregulisao na deklarisanu snagu M33/T motora 29 kw pri 2000 o/min., umesto 34 kw pri 2250 o/min. (tab. 1) pol potrošnje bi ostao i dalje unutar radne oblasti motora.

To praktično znači da bi tako regulisani motor imao za oko 8% nižu potrošnju goriva za iste izlazne parametre. Međutim, time se nebi znatnije smanjila visoka emisija dima i NOx.

Uporedne funkcionalne karakteristike ispitivanih trocilindričnih traktorskih motora starije konstrukcije (M33/T i DM33/T, proizvedeni u Srbiji) i ekvivalentnih evropskih dizel motora novije konstrukcije prikazuje slika 4.

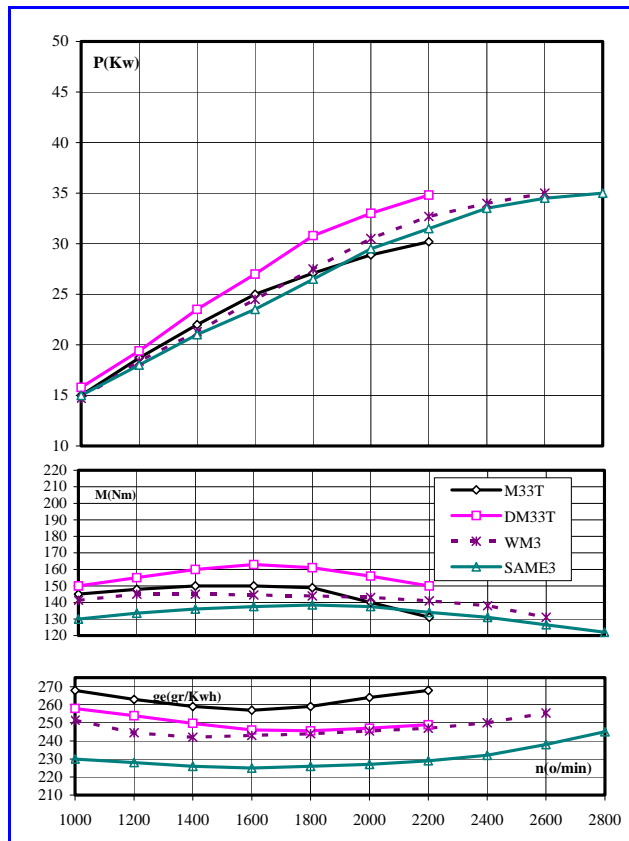


Slika 3a i 3b: Univerzalni dijagrami specifične efektivne potrošnje goriva motora M33/T i DM33/T

Sa slike 4 se uočava da savremeni evropski motori V3 i E3 u odnosu DM33/T motor imaju približno istu maksimalnu snagu a manju radnu zapreminu uz istovremeno bolju ostvarenu elasticnost po momentu.

Drugi evropski motor savremene konstrukcije E3 u odnosu na DM33/T motor ima takodje približno istu maksimalnu snagu, manju radnu zapreminu za 7%, veću litarsku snagu za 8% uz istovremeno bolju ostvarenu elasticnost po momentu.

Na slici 5 prikazana je potrošnja goriva trocilindricnih traktorskih dizel motora starije i novije konstrukcije.



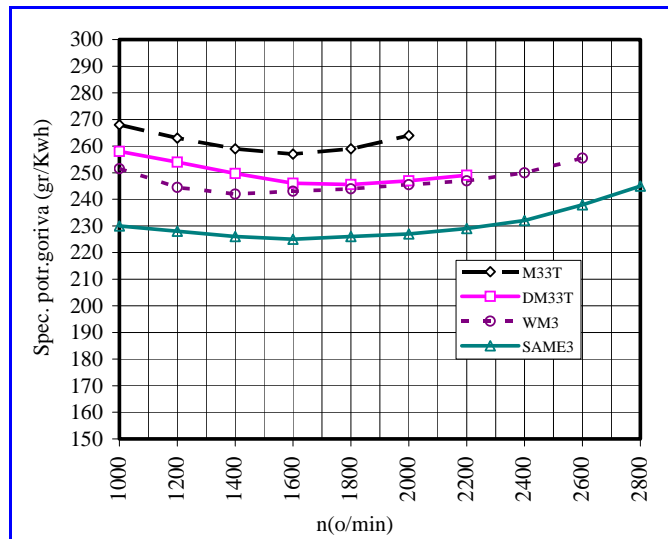
Slika 4: Usporedne funkcionalne karakteristike trocilindričnih traktorskih dizel motora starije-domaći i novije-evropski konstrukcije.

Sa slike 5 se vidi da motor sa indirektnim ubrizgavanjem (starije konstrukcije) ima oko 5% veću potrošnju goriva od motora DM33/T sa direktnim ubrizgavanjem a isto tako starije konstrukcije. Međutim, ako se analiziraju režimi opterećenja prilagodjeni polovima ekonomičnosti (sl.3ab) vidi se da se raspored i veličina tih polova u DI motora mnogo bolje uklapa u uslove eksploatacije motora, a što je i važna tendencija savremenih traktorskih dizel motora. To znači, u uslovima eksploatacije motora odnosno traktora tokom obavljanja radova osnovne, pretsetvene i setvene obrade, raspored pola minimalne potrošnja goriva može uticati na apsolutnu odnosno časovnu potrošnju goriva koja može biti znatno niža od one obračunate za jednu ili više diskretnih tačaka tokom laboratorijskog ispitivanja motora.

Poznato je, da se kod traktorskih motora u najvećem broju poljoprivrednih operacija zahteva režim rada motora od 1400 do 1600 o/min. i opterećene od 60 do 80 % što je ujedno i oblast minimalne potrošnje dizel motora sa direktnim ubrizgavanjem.

Ako se posmatra potrošnja goriva na ovaj način ušteda može biti i veća, do 15%.

U odnosu na motore savremene konstrukcije (V3 i E3) potrošnja goriva M33/T motora je znatno veća za oko 7, ako se posmatra V3 motor, odnosno 15% ako se posmatra motor E3.



Slika 5 : Specifične potrošnje goriva trocilindričnih domaćih traktorskih dizel motora starije i novije konstrukcije-evropskih

Ako se uporede domaći motori sa direktnim ubrizgavanjem starije (DM33/T) i novije konstrukcije (V3 i E 3) vidi se da motor V3 ima oko 2% manju specifičnu potrošnju goriva dok motor E3 ima oko 9,3 manju specifičnu efektivnu potrošnju goriva u odnosu na DM33/T motor. Ove razlike su uglavnom posljedica razlika u opremi za ubrizgavanje, pritiska ubrizgavanja i stepena kompresije. To ukazuje da se na domaćim traktorskim dizel motorima starije konstrukcije moraju primeniti rešenja koja će poboljšati njihovu ekonomičnost s obzirom da je to dugoročni društveni interes kao i neophodnost uklapanja u evropske norme o potrošnji goriva i emisijama.

Treba istaći, a što se ne vidi sa slike 5, da motori savremene konstrukcije (V3 i E3) imaju znatno veću litarsku snagu u odnosu na domaće motore starije konstrukcije, što ukazuje na trend razvoja savremenih motora a on je povećanje litarske snage uz istovremeno smanjenje specifične potrošnje goriva.

ZAKLJUČCI

Na osnovu dobijenih rezultata ispitivanja može se reći:

1. Traktorski motori domaće proizvodnje sa direktnim ubrizgavanjem (DM 33/T) imaju oko 5% manju specifičnu potrošnju goriva od dizel motora sa indirektnim ubrizgavanjem (M33/T).
2. Savremeni evropski traktorski dizel motori (V3 i E3) imaju oko 2% i 9,3% respektivno, manju specifičnu potrošnju goriva u odnosu na DM33/T motor.
3. Savremeni evropski traktorski dizel motori (V3) imaju približno istu maksimalnu snagu, oko 19% manju radnu zapreminu, oko 10% veći stepen kompresije, oko 15% veće pritiske ubrizgavanja i oko 20% veću litarsku snagu u odnosu na DM33/T motor domaće proizvodnje.

4. Savremeni evropski traktorski dizel motori (E3) imaju približno istu maksimalnu snagu, oko 7% manju radnu zapreminu, oko 15% veći stepen kompresije i oko 8% veću litarsku snagu u odnosu na DM33/T motor domaće proizvodnje.
5. U cilju približavanja evropskim normama o potrošnji goriva potrebno je na domaćim motorima starije konstrukcije primeniti rešenja koja će dovesti do poboljšanja njihove energetske efikasnosti.
Ta rešenja se odnose pre svega na opremu za ubrizgavanje.

Zahvalnost

Ova istraživanja su finansirana od strane Ministarstva za Nauku i Zaštitu Životne Sredine u okviru programa Nacionalne Energetske Efikasnosti, Projekat 290017 i autori izražavaju zahvalnost Ministarstvu.

LITERATURA

1. Energy Efficiency profile: European Union, MURE-Odyssey,-MURE-Measures de Utilisation rationale de l' Energie, 2004
2. Richardson, E., Review of Power Cylinder for Diesel Engines, Trans., ASME, J., Engineering for Gas Turbines and Power, Vol.122, 2000, pp.506.
3. Igarashi, J., The Mineral Oil Industry in Japan, 13-th Intern. Colloq. Tribology, January 2002, pp.13
4. Bleimschein, I., Brieger, P., PAO Base Oil Reduce Fuel and Energy Consumption, 14-th Intern. Colloq. Tribology, January 2004, pp.1561
5. Esig G., at al., Diesel engine Emission Reduction – The Benefits of Low Oil Consumption Design, SAE Paper 90059, 1990
6. Korcek, S., at al., Automotive Lubricants for the Next Millenium, 12-th Intern. Colloq. Tribology-Plus, January 2000, pp.93
7. ECE 84, 120 Regulations

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učesćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

EKOLOŠKI MENADŽMENT U TOTALNOM KVALITETU OBRAZOVANJA U OSNOVNIM I SREDNJIM ŠKOLAMA

R. Marjanović ¹⁾, R. Biočanin ²⁾, D. Jokić ³⁾

Rezime: *Nastavni proces u školi je složen, specifičan, odgovoran i neizvestan u pogledu ishodnih rezultata, tj. učeničkih postignuća, kako parcijalnih, tako integralnih. Neizvesnost u ishodnim rezultatima učeničke populacije se pojačava po osnovu obaveznosti pohađanja nastave, osetljivosti uzrastne dobi i procesa njihovog intenzivnog odrastanja tokom nastavnog procesa. Osnovni akter vaspitno-obrazovnog procesa u organizovanom školskom sistemu, koji usmerava razvoj vaspitanika je nastavnik. Uspešnost nastavnikovog delovanja zavisi od pripreme za profesiju u toku inicijalnog obrazovanja, kao i od profesionalnog usavršavanja u toku rada. U ovom radu dat je hronološki prikaz uvođenja sistema obezbeđivanja kvaliteta u osnovnim i srednjim školama Republike Srbije. Rad analizira stanje i perspektive daljeg razvoja u oblasti modeliranja elemenata i konstrukcija u obrazovnom sistemu. Ukratko su opisane faze kroz koje se može videti kako je ovaj proces započeo u obrazovanju Republike Srbije. Prikazana je kratka uporedna analiza ostignutih rezultata u našoj zemlji i zemljama razvijenog sveta. Na osnovu navedenih analiza, a imajući u vidu publikovane svetske trendove razvoja u ovoj oblasti, ukazano je na nedostatke u našem sistemu obrazovanja. Posebno su naglašene aktivnosti koje su sprovedene u organizaciji Ministarstva prosvete i sporta u cilju obuke sopstvenih kadrova. Realizacija ovog projekta i rad prosvetnih savetnika treba da obezbedi osposobljavanje škola da primene samovrednovanje, koje je u središtu sistema kvaliteta i osnova za eksterno vrednovanje. U radu je dat i osvrt na značajna dokumenta koje je izdalo Odeljenje za obezbeđivanje kvaliteta, u funkciji podizanja sveukupnog kvaliteta obrazovno-vaspitnog rada.*

Ključne reči: *obrazovni sistem, životna sredina, zagađenje, održivi razvoj, ekološko obrazovanje, kvalitet obrazovanja, područja vrednovanja, pokazatelji*

ECOLOGICAL MANAGEMENT IN TOTAL QUALITY OF EDUCATION IN PRIMARY AND SECONDARY SCHOOLS

Abstract: *Educational process in school is complex, specify, responsible and questionable about the ending results. Indeterminate results of students are growing because students are at differnt age, school attendance and proces of growing in*

¹⁾ Prof. Radmila Marjanović, Ministarstvo prosvete i sporta Republike Srbije,

²⁾ Prof. dr Rade Biočanin, Ministarstvo prosvete i sporta Republike Srbije,

³⁾ Prof. Dragica Jokić, Školska uprava Užice

teaching process in school. In the organized school system the fundamental actor of educational process, who direct individual is teacher. Effectiveness of teacher's dealing is depended of the professional preparing at the initial education, and of the vocational improvement In this paper the chronological review of introducing the system of quality assurance in primary and secondary schools in the Republic of Serbia is presented. The paper presents the state-of-the-art and future development of the education system in the area of elements and assemblies modeling. A short comparative analysis of the results obtained in our country and the developed countries is shown aswell. Upon these analysis, taking into account published global trends in education, we point out the shortages in our educational system in the area. The phases that indicate how this process began in education in the Republic of Serbia are briefly described. The activities are emphasized that were undertaken by the Ministry of Education and Sports in training the present staff to carry out this project and the work of educational advisors on building capacity of the schools to apply self-evaluation that is the core of the quality system and the basis for external evaluation. A review on documents of importance issued by the Department for Quality Assurance is also given in order to improve the overall quality of education.

Key words: *educational system, natural surroundment, living environment, ground, asustainable development, education quaity, external evaluation, key areas.*

1. UVOD

Svedoci smo opšte inertnosti i manjkavosti vaspitno-obrazovnog sistema, kada su u pitanju sadržaji iz oblasti obrazovanja i zaštite životne sredine. Mlada generacija nema priliku da se dovoljno susretne sa namenskim sadržajima iz ekologije, a uslovi življenja upravo potenciraju na primeni eko-menadžmenta i prilagođavanju ponašanja ekološkim kriterijumima. Uvažavajući realnu potrebu čoveka za dostignućima ekološkog predznaka, otvara se ozbiljno pitanje inoviranja postojećih nastavnih planova i programa u smislu uvođenja ekoloških sadržaja, kao posebnih predmeta, "modula" umetnutih u programe pojedinih nastavnih predmeta o osnovnim i srednjim školama rešpublike Srbije. Eko-menadžment-kaoo multidisciplinarna i kognitivna disciplina, predpostavlja pravovremeno odpočinjanje i školski način usvajanja sadržaja u cilju obezbeđenja ekoloških dostignuća. Ta obrazovna priprema je bitan preduslov za ponašanje čoveka u životu i radu, u skladu sa ekološkim normama. Dalje odsustvo ekoloških sadržaja iz vaspitno-obrazovnog procesa povećava rizik i ostavlja prostora pojedincu da misli i deluje "komotno" uz stalnu pretnju životnoj sredini.

Kraj XX veka u republici Srbiji obeležen je stagnacijom ukupnog društvenog razvoja. Prema mnogim pokazateljima, među najteže pogođenim oblastima istraživanja i razvoja bilo je obrazovanje. Obrazovno-vaspitni rad u našim školama bio je centralizovan i zasnovan na realizaciji nastavnih sadržaja, koji nisu u potpunosti pratili potrebe i interesovanja učenika. Od 2001. godine pristupilo se reformi obrazovanja čiji je cilj bio modernizacija i reorganizacija školskog sistema radi ekonomskog oporavka, razvoja demokratije i međunarodne integracije SRJ, SCG i Srbije. Jedan od osnovnih zadataka u reformskim procesima bio je uspostavljanje primerenog sistema obezbeđivanja sistema kvaliteta.

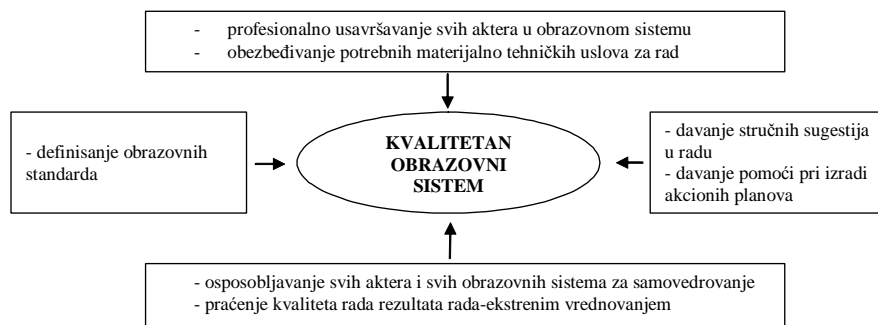
Oblast projektovanja proizvoda i procesa predstavlja okosnicu obrazovanja u osnovnim i srednjim školama. Njen položaj i značaj, kao i konkretna implementacija,

neretko su odraz društvenih, ekonomskih, kulturnih, pa i političkih okolnosti, koje se, uz to, neprestano menjaju. Međutim, procesi globalizacije, pre svega u tržišnom, ali i u privrednom, industrijskom i ekonomskom smislu, doveli su do uspostavljanja suštinskih koncepata, kako u samoj oblasti projektovanja proizvoda i procesa, tako i u sferi obrazovanja. Cilj takvog ponašanja i rada je skraćanje vremena potrebnog za razvoj proizvoda od ideje do realizacije, uz postizanje visokog kvaliteta. Saglasno tome, koncepti obrazovanja kadrova spremnih da prihvate navedene izazove baziraju se na intenzivnoj primeni računara u okviru stručnih disciplina, podrazumevajući pri tom značajan nivo osnovne računarske pismenosti i osposobljenosti. Ti koncepti su u Republici Srbiji uglavnom prihvaćeni i primenjuju se u manjoj ili većoj meri niz godina. Sa druge strane, često izražena neažurnost u stalno prisutnim promenama u metodologiji i pristupima ukazuje na neophodnost (ponovne) identifikacije ključnih sadržaja pojedinih grana i disciplina, njihovih odnosa i redizajniranje kurikuluma u cilju obezbeđivanja efikasnog obrazovnog procesa.

U Republici Srbiji se veliki broj stručnjaka iz oblasti obrazovanja bavio problemom vrednovanja rada škola i uočavao neophodnost uspostavljanja celovitog sistema vrednovanja kvaliteta rada škola. U pedagoškoj literaturi teorijski su detaljno razrađene tehnike i instrumenti praćenja, merenja i vrednovanja kvaliteta rada škola. Uočeno je da je najslabija karika u našem obrazovnom sistemu bilo vrednovanje kvaliteta rada škola. Naime, vrednovanje kvaliteta rada škola dolazilo je uglavnom spolja, od strane prosvetnih vlasti. Jedino unutrašnje vrednovanje bilo je nastavnikovo ocenjivanje učenika i analize uspeha koje su vršile stručne službe škole. Našem sistemu obrazovanja neophodan je primeren i savremen sistem praćenja i vrednovanja koji će iskoristiti postojeće resurse u domenu vrednovanja, uvesti nove forme koje odlikuju objektivnost, validnost i pouzdanost i sve ih usmeriti na ostvarivanje obrazovnih standarda, osiguranje i unapređivanje kvaliteta obrazovnog procesa, obrazovnih postignuća i uslove u kojima se ovaj proces odvija.

2. UVOĐENJE SISTEMA KVALITETA OBRAZOVANJA

U pravnoj regulativi od 2003.godine predviđeno je da se pored Ministarstva prosvete i sporta, obezbeđivanjem kvaliteta bave i sledeće ustanove: Zavod za unapređivanje obrazovanja i vaspitanja i Zavod za vrednovanje kvaliteta obrazovanja i vaspitanja. Zakon o osnovama sistema obrazovanja i vaspitanja predviđa i osnivanje Nacionalnog prosvetnog saveta čiji je cilj utvrđivanje pravaca razvoja i unapređivanja kvaliteta predškolskog, osnovnog i srednjeg obrazovanja i vaspitanja. Ministarstvo prosvete i sporta počev od 2002.godine je u svojim strateškim dokumentima dalo smernice razvoja našeg obrazovnog sistema u kome je istaknuta neophodnost izgradnje primerenog i savremenog sistema praćenja i vrednovanja kvaliteta. Jedan od prvih koraka Ministarstva prosvete i sporta na tom putu bilo je formiranje Odeljenja za osiguranje kvaliteta rada škola sa ciljem da podrži uspostavljanje, dokumentovanje, održavanje i unapređivanje obrazovnih standarda i kvaliteta obrazovanja u svim školama i za sve učesnike u obrazovanju. U ovo Odeljenje bilo je uključeno 26 dotadašnjih predmetnih nadzornika različitih struka sa područja Republike Srbije koji su u svom dotadašnjem radu imali iskustva u spoljašnjem vrednovanju osnovnih i srednjih škola za određeni predmet. Jedno od prvih pitanja koje se postavilo pred Odeljenje je kako obezbediti kvalitetan obrazovni sistem. Koristeći sopstvena iskustva i iskustva iz drugih zemalja koje imaju razrađen sistem obezbeđivanja kvaliteta, došlo se do saznanja o neophodnim procesima i procedurama za kvalitetno obrazovanje.



Slika 1. Procesi i procedure u razvoju obrazovnog sistema izvrsnosti

U cilju podizanja kvaliteta ukupnog obrazovnog sistema Ministarstvo prosvete i sporta Republike Srbije uložilo je značajna sredstva u materijalno-tehničku opremu za škole, kao i za stručno usavršavanje nastavnika kroz brojne seminare čiji je cilj bio podizanje profesionalnih kompetencija nastavnika u funkciji reforme obrazovanja (Školsko razvojno planiranje, Građansko vaspitanje, Opisno ocenjivanje, razni komunikacijski seminari i dr). Deo poslova na podizanju kvaliteta obrazovanja realizuju Zavod za unapređivanje obrazovanja i vaspitanja i Zavod za vrednovanje kvaliteta obrazovanja i vaspitanja. Oni se bave definisanjem obrazovnih standarda i postignuća učenika u okviru kojih je dobar deo poslova i odrađen. Definisanje postignuća učenika na kraju prvog i drugog ciklusa osnovnog obrazovanja je u toku, odnosno, izvršeno je pilotiranje postignuća učenika na kraju IV i VIII razreda osnovne škole.

Iz prethodne šeme uviđa se i da je najveći deo poslova Odeljenja za obezbeđivanje kvaliteta na pružanju stručne pomoći, zatim pomoći pri izradi akcionih planova, osposobljavanju svih aktera za samovrednovanje, praćenje kvaliteta i rezultata rada eksternim vrednovanjem. Ciljevi Odeljenja za obezbeđivanje kvaliteta su: osiguranje implementacije nacionalnih ciljeva obrazovanja, podizanje kulture vrednovanja i procenjivanja u školama i drugim obrazovnim institucijama, podsticanje i pružanje aktivnog doprinosa u uspostavljanju sistema kvaliteta rada škole, preuzimanje uloge integralnog činioca celokupnog sistema kvaliteta obrazovanja, razvijanje systemske podrške školama i svim akterima u obrazovanju, informisanje nadležnih državnih organa, obrazovno-vaspitnih ustanova, stručne i šire javnosti.

Da bi se posao na uspostavljanju sistema kvaliteta što kvalitetnije realizovao, Odeljenje za obezbeđenje kvaliteta je od 2003. godine imalo niz domaćih i međunarodnih seminara i obuka i to:

- kontinuirani seminari u organizaciji Britanskog Saveta,
- seminar „Inspekcija i evaluacija škola“ SICI (Stalna međunarodna konferencija inspektorata),
- obuka za strateško planiranje,
- obuka za timski rad,
- obuka “Veštine dizajniranja i vođenja seminara“.

Pored navedenih seminara i obuka u periodu od 2003.godine savetnici za obezbeđenje kvaliteta prošli su i niz seminara koji su bili u funkciji reformskih procesa:

- školski program (kurikulum), koncepcija, podrška. implementacija,
- implementacija kurikuluma,
- analiza školskih programa i evaluacija,
- opisno ocenjivanje,

- politika obrazovanja za demokratiju i građansko društvo,
- kako voditi seminare i dr.

Najznačajnija je, svakako, stalna saradnja sa Britanskim Savetom i Harvijem Stokerom, glavnim inspektorom Škotske, koji je rukovodio najvećim delom seminara i obuka za savetnike iz Odeljenja za obezbeđivanja kvaliteta. Deo savetnika u okviru saradnje sa Britanskim Savetom boravio je u Škotskoj i upoznao se sa funkcionisanjem sistema kvaliteta u obrazovanju ove zemlje. Koristeći prethodna znanja i iskustva prosvetni savetnici dobili su i nova znanja kako da se podrži procedura obezbeđivanja kvaliteta u našem obrazovnom sistemu. Jedan od najdelotvornijih mehanizama za obezbeđivanje kvaliteta je samovrednovanje, postupak kojim se vrednuje sopstveni rad i praksa, polazeći od analize šta je i kako je urađeno. U procesu obuka Odeljenje za obezbeđivanje kvaliteta sačinilo je i dokumenta koji su bili polazna osnova za uspostavljanje i razvijanje sistema kvaliteta rada škola, a to su: Strateški plan za 2003/2006.godinu, Škola po meri deteta i Priprema škola za samovrednovanje. Nakon završetka pomenutih seminara i obuka, savetnici za obezbeđivanje kvaliteta bili su osposobljeni da samostalno osmisle i zajedno sa školama koje su učestvovalе u projektu krenu u realizaciju uspostavljanja kvaliteta.

3. REALIZACIJA PROJEKTA USPOSTAVLJANJA SISTEMA KVALITETA

Realizacija projekta ostvarena je kroz dve faze u pilot školama na području Republike.

U *prvoj fazi* učestvovalo je 34 škole. Iz svake školske uprave izabrane su po tri škole koje su želele da učestvuju u projektu. Pri izboru škola poštovan je kriterijum da budu zastupljene osnovne (seoska i gradska) i srednje škole (gimnazije i stručne). Za ovu fazu projekta, savetnici za obezbeđivanje kvaliteta sačinili su jedinstven scenario po kome su seminari odrađeni u svim odabranim školama. Za potrebe seminara, škole su bile u obavezi da u rad seminara uključe po pet predstavnika učenika, nastavnika, roditelja, lokalne i školske vlasti. Cilj seminara u ovoj fazi bio je da se predstavnici svih zainteresovanih aktera života i rada škola upoznaju sa načinom uspostavljanja sistema kvaliteta i da u saradnji sa savetnicima iz Odeljenja za obezbeđivanje kvaliteta dođu do zajedničkih segmenata života i rada škole koji će u narednom periodu biti predmet vrednovanja. Kroz prvu fazu seminara definisano je sedam ključnih oblasti, i to: Školski i godišnji program rada škole, Nastava i učenje, Postignuća učenika, Podrška učenicima, Etos, Resursi, Rukovođenje, organizacija i obezbeđivanje kvaliteta. Prikupljeni su i primeri dobre prakse za po dve ključne oblasti u svakoj školi. U okviru svake ključne oblasti izdvojena su i područja vrednovanja, kao uže tematske celine koje bliže definišu predmet praćenja i vrednovanja. Nakon održanih seminara u svim školskim upravama savetnici iz Odeljenja za obezbeđivanje kvaliteta su sakupili i sistematizovali primere dobre prakse. Na osnovu sistematizovanih produkata seminara nastao je Nacrt priručnika za praćenje škola i samovrednovanje.

U *drugoj fazi* seminara učestvovalo je 65 škola, pri čemu su zadržane škole koje su učestvovalе u prvoj fazi. Pilot projektom Priprema škola za samovrednovanje na ovaj način obuhvaćeno je oko 5% škola u Srbiji. Ciljevi seminara u ovoj fazi bili su da se proverí primenljivost Nacrta priručnika kroz područja vrednovanja, pokazatelje i instrumente i da se dobiju predlozi za poboljšanje priručnika i instrumenata, kao i da se škole obučavaju za proces samovrednovanja. Zadatak svake škole u ovoj fazi bio je da formira školski tim, u koji će biti uključeni predstavnici učenika, roditelja, nastavnika, lokal-

ne zajednice i Školskog odbora (po preporuci tim je trebalo da broji od 5 do 8 članova, zavisno od veličine škole) i odabere ključnu oblast koja će biti predmet samovrednovanja. U ovoj fazi savetnici za obezbeđivanje kvaliteta su po pripremljenom scenariju održali obuke školskim timovima za samovrednovanje u svim pilot školama. Tom prilikom savetnici su pružali kontinuiranu pomoć školskim timovima u procesu planiranja i sprovođenja samovrednovanja, obradi podataka i pisanju izveštaja. Škole su bile u obavezi da sačine dva izveštaja, jedan o izvršenom samovrednovanju, a drugi izveštaj koji će sadržati predloge i sugestije za poboljšanje Priručnika i ponuđenih instrumenata. Na osnovu dostavljenih izveštaja škola, kao i mišljenja savetnika za obezbeđivanje kvaliteta, sačinjena je konačna verzija Priručnika za samovrednovanje i vrednovanje rada škole.

4. PRIRUČNIK O (SAMO)VREDNOVANJU RADA ŠKOLE

Ministarstvo prosvete i sporta Republike Srbije u saradnji sa Britanskim Savetom publikovalo je Priručnik za samovrednovanje i vrednovanje rada škole (u daljem tekstu: Priručnik) krajem 2005. godine. Priručnik se sastoji iz četiri poglavlja:

I. Ka samovrednovanju škole. U ovom poglavlju definisano je samovrednovanje kao postupak i objašnjen značaj koji ima za pojedine aktore života i rada škole. Takođe, definisan je cilj samovrednovanja u funkciji unapređivanja rada škole. Pomenuta su i iskustva drugih zemalja kao i tok uspostavljanja i razvoj sistema obezbeđivanja kvaliteta rada škola u Srbiji;

II. Metodologija samovrednovanja. Teorijski su objašnjena pravila i principi samovrednovanja, veza samovrednovanja sa spoljašnjim vrednovanjem i školskim razvojnim planiranjem. Dati su odgovori na pitanja: šta vrednujemo u školi i jasno definisane ključne oblasti, područja vrednovanja, pokazatelji i nivoi ostvarenosti. Opisano je i kako se dolazi do dokaza i dato uputstvo za primenu instrumenata u procesu samovrednovanja. Pregledno i jasno date su i preporuke za sprovođenje procesa samovrednovanja u školi;

III. Ključne oblasti, područja vrednovanja, pokazatelji i primeri instrumenata. Tabelarno i tekstualno prikazane su sve ključne oblasti, područja vrednovanja i pokazatelji, a uz svaki pokazatelj i nivoi ostvarenosti (opisani nivoi 4 i 2). Uz svaku ključnu oblast dati su primeri instrumenata koji se mogu koristiti u procesu samovrednovanja.

IV. Prilozi. Ovo poglavlje sadrži: pojmovnik, literaturu, spisak škola koje su učestvovalе u nastajanju Priručnika i podaci o prosvetnim savetnicima Ministarstva prosvete i sporta koji su autori Priručnika.

Priručnik je namenjen nastavnicima, učenicima, direktorima, stručnim saradnicima, članovima Školskog odbora, kao i drugim zainteresovanim za rad škole, roditeljima, lokalnim i prosvetnim vlastima, stručnim organizacijama i društvima. Nastao je sa ciljem da bude praktičan vodič i osnova za samovrednovanje i vrednovanje rada škole. Kroz proces samovrednovanja po utvrđenim pokazateljima i nivoima ostvarenosti, školama je data mogućnost da objektivno sagledaju dobre i loše strane i da na osnovu uočenih nedostataka rade na njihovom otklanjanju. Podaci o samovrednovanju su osnova za izradu akcionog plana za unapređivanje kvaliteta rada. Akcionim planom se predviđaju aktivnosti, nosioci poslova i vremenska dinamika kojom će se uočeni nedostaci otklanjati.

Samovrednovanje kao proces pruža mogućnost školi da o sopstvenom radu čuje mišljenje i drugih zainteresovanih aktera: roditelja, lokalne zajednice i Školskog odbora i istovremeno je znak da je škola spremna da prihvati odgovornost za sopstveni rad i razvoj. Ujedno, ovaj Priručnik omogućava da školsko samovrednovanje i eksterno

31. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA SCG

vrednovanje budu koherentni i da oba koriste iste kriterijume, standarde i evaluacione procedure. Na taj način škole postaju ravnoparan partner spoljnom evaluatoru. Nakon objavljivanja Priručnika i njegove distribucije školama, zadatak prosvetnih savetnika bio je da upozna sve škole sa ovim dokumentom i pripremi ih za proces samovrednovanja. Obaveza svih škola bila je da do kraja školske 2005/2006.godine izvrši samovrednovanje u jednoj ključnoj oblasti. Da bi se proces samovrednovanja što kvalitetnije obavio prosvetni savetnici u svim školskim upravama izvršili su upoznavanje škola sa Priručnikom. Nakon toga, realizovane su i obuke školskih timova svih škola za proces samovrednovanja tokom marta i aprila 2006.godine.

Tabela 1. Okvir vrednovanja obrazovnog procesa

Ključne oblasti	Područja vrednovanja	Pokazatelji
Školski program i Godišnji program rada	<i>Školski program</i>	Struktura i sadržaj
	<i>Godišnji program rada</i>	Struktura i sadržaj
Nastava i učenje	<i>Planiranje i pripremanje</i>	Planiranje
		Pripremanje
	<i>Nastavni proces</i>	Komunikacija i saradnja
		Racionalnost i organizacija
		Podsticanje učenika
<i>Učenje</i>	Korelacija i primena znanja	
	Odgovornost učenika	
<i>Praćenje napredovanja učenika</i>	Naćni učenja	
	Praćenje i ocenjivanje	
Postignuća učenika	<i>Kvalitet školskih postignuća</i>	Izveštavanje
		Ocene i uspehi
		Kvalitet znanja
		Prijemni i kvalifikacioni ispiti, takmičenja
		Motivisanost učenika
Podrška učenicima	<i>Briga o učenicima</i>	Vrednosti kod učenika
		Bezbednost i sigurnost učenika u školi
	<i>Podrška učenju</i>	Praćenje fizičkog, zdravstvenog i emocionalnog stanja i socijalnih potreba učenika
		Kvalitet ponuđenih programa za podršku učenicima u procesu učenja
		Napredovanje i uspehi učenika
<i>Lični i socijalni razvoj</i>	Stručna pomoć nastavnicima u pružanju podrške učenicima u procesu učenja	
	Podsticanje pozitivnih stavova i razvoj socijalnih veština	
<i>Profesionalna orijentacija</i>	Podsticanje i negovanje demokratskog duha i učenjskih inicijativa i aktivnosti	
	Pomoć pri izboru daljeg obrazovanja, obuke ili zaposlenja	
Etos	<i>Ugled i promocija škole</i>	Ugled i obeležja škole
		Očekivanja i promocija uspešnosti
		Kultura ponašanja
	<i>Atmosfera i međuljudski odnosi</i>	Poštovanje ličnosti
		Jednakost i pravdnost
<i>Partnerstvo sa roditeljima, Školskim odborom i lokalnom zajednicom</i>	Estetsko i funkcionalno uređenje školskog prostora	
	Komunikacija sa roditeljima	
	Uključivanje roditelja u život i rad škole i školsko učenje	
Resursi	<i>Ljudski resursi</i>	Veza između škole i Školskog odbora
		Uloga škole u lokalnoj zajednici
	<i>Materijalno-tehnički resursi</i>	Nastavni kadar
		Nenastavni kadar
	<i>Finansijski resursi</i>	Školski prostor i oprema
Nastavna sredstva		
Rukovođenje, organizacija i obezbeđivanje kvaliteta	<i>Resursi lokalne sredine</i>	Korišćenje raspoloživih materijalno-tehničkih resursa
		Korišćenje raspoloživih finansijskih resursa
	<i>Rukovođenje</i>	Korišćenje raspoloživih resursa
		Profesionalne kompetencije
		Sposobnost rukovođenja
<i>Organizacija rada škole</i>	Podela obaveza i zaduženja	
	Organizovanje i koordinisanje rada u školi	
<i>Školski i razvojni plan</i>	Struktura i sadržaj školskog razvojnog plana	
	Realizacija školskog razvojnog plana	
	Effikti realizacije	
<i>Obezbeđivanje kvaliteta</i>	Samovrednovanje	
	Effikasnost i efektvnost rada	

* U tabeli 1 prikazane su izdvojene ključne oblasti sa definisanim područjima vrednovanja i pokazateljima koji će biti osnova za samovrednovanje i vrednovanje rada škola.

Ove obuke organizovale su školske uprave prema sopstvenim mogućnostima i utvrđenom dinamikom. Cilj ovih obuka bio je da se u svim školama stvori odgovarajuća klima i razvija kultura za samovrednovanje, što je veoma važan korak u unapređenju obrazovno-vaspitnog rada. U tabeli 1 prikazane su izdvojene ključne oblasti sa definisanim područjima vrednovanja i pokazateljima koji će biti osnova za samovrednovanje i vrednovanje rada škola.

5. AKTUELNO STANJE OBRAZOVANJA

Najveći broj škola je izvršio proces samovrednovanja u jednoj ključnoj oblasti i sumirao dobijene rezultate. Škole su u obavezi da do kraja školske 2005/2006. godine napišu izveštaj o izvršenom samovrednovanju i da na osnovu dobijenih rezultata sačine akcioni plan koji će se realizovati u narednoj školskoj godini. Prosvetni savetnici su konstantno bili u komunikaciji sa školama pružajući im stručnu pomoć dajući predloge i sugestije, kako bi se proces samovrednovanja što kvalitetnije realizovao. Treba napomenuti da izveštaj o izvršenom samovrednovanju ostaje u dokumentaciji škole kao dokaz da je proces samovrednovanja u odabranoj ključnoj oblasti obavljen. Istovremeno ovaj izveštaj škole treba da posluži kao polazna osnova za eksterno vrednovanje.

Razvijanje sposobnosti percepcije životne sredine svodi se na izgrađivanje intelektualnih mogućnosti učenika i pravilno procenjivanje ugroženosti. Proces obrazovanja i vaspitanja mora biti u stalnoj funkciji formiranja vrednosne ekološke orijentacije učenika osnovnih i srednjih škola. Pravilnom stvaranju ekološkog vrednosnog sistema doprinose i mikrosredina, porodica, kolektiv, organizacija, ustanova i dr. Svako industrijsko društvo i društvo znanja obeležavaju promenljive veze između društvenih, ekonomskih, političkih, tehničkih, vojnih i dr. uslova na nacionalnom, regionalnom, međunarodnom i globalnom nivou. Ovaj splet veza je podvrgnut neprestanim promenama, koje oblikuju pojedinci i grupe, a koje isto tako obuhvataju programske zadatke jedne zemlje u sistemu kvaliteta izvrsnosti. Konceptija modela totalnog kvaliteta obrazovanja trebalo bi da pomogne u tome. Treba da se dobiju informacije o stanju i perspektivama na tržištu radne snage, oblicima opšteg i stručnog obrazovanja, izgledima napredovanja u radu, organizaciji rada, korišćenju novih tehničkih mogućnosti, vrstama proizvodnje, značaju porasta produktivnosti i školama gde se sve to na najbolji način može naučiti, jer mlad čovek najčešće ne može sam sve to da sagleda. Sadržaji iz oblasti zaštite i unapređenja radne i životne sredine nalaze se u svim školskim programima osnovnih i srednjih škola evropske zajednice, pa naravno i u našoj zemlji. Nazivi predmeta različiti su: tehničko obrazovanje, biologija V VI VII VIII, fizika VI VII VIII, hemija VII VIII, MATEMATIKA I II III IV V VI VII VIII, poznavanje prirode i društva III i IV, svet oko nas I II V VI VII VIII, geografija V VI VII VIII i dr.

6. ZAKLJUČAK

U cilju uspostavljanja sistema za obezbeđivanje kvaliteta Ministarstvo prosvete i sporta Republike Srbije preduzelo je niz aktivnosti u jačanju materijalne baze, kao i podizanju stručne kompetencije zaposlenih u obrazovanju kroz dodatne obuke i seminare, pri čemu su korišćenja i iskustava zemalja koje imaju razvijen sistem obezbeđivanja kvaliteta. Takođe, Ministarstvo prosvete i sporta je sačinilo nekoliko važnih dokumenata u kojima se daju smernice ka kvalitetnijem obrazovanju. Značajno mesto zauzima Priručnik za samovrednovanje i vrednovanje rada škole koji smo predstavili u ovom radu i koji treba da bude pomoć i vodič školama u procesu

vrednovanja sopstvenih kapaciteta. Sistem obezbeđivanja kvaliteta je na samom početku i sve što je na tom planu do sada urađeno su pionirski koraci, a da bi planirani procesi i aktivnosti zaživeli neophodno je puno raditi na podizanju svesti i odgovornosti ljudi zaposlenih u obrazovanju. Radi preglednijeg shvatanja izrađen je pregled vrednovanja obrazovnog procesa kao nauke i ukazano na oblasti koje bi nastavnik i učenik trebao da upozna u svom osnovnom obrazovanju. Kako bi im se pomoglo u profesionalnoj orijentaciji. Kod modela totalnog kvaliteta obrazovanja, škole i modela faza razvoja funkcija obrazovanja, prikazani su putevi kvalitetnog profesionalnog obrazovanja mladog čoveka. Da bi sistem kvaliteta u potpunosti zaživeo, neophodno je veće uključivanje svih zainteresovanih aktera za život i rad škole, a posebno roditelja i lokalne sredine. Ekološka edukacija i formiranje načina mišljenja započinje u najranijoj mladosti, pa je otuda veoma značajna uloga obrazovno-vaspitnih organizacija na svim nivoima sticanja znanja (predškolsko, osnovnoškolsko, srednje i visokoškolsko). Neophodno je pored ekološkog obrazovanja i zdravstveno obrazovanje uvesti u sistem školovanja na svim nivoima. Otuda i zadatak u sticanju znanja, na rešavanju problema i sistematizovanju znanja o problemima radne i životne sredine, o karakteru i suštini opasnosti ugrožavanja i načinu otklanjanja posledica narušene ekološke ravnoteže. U tome ekološki menadžment i školsko imaju prevashodnu ulogu i veliki značaj. Mogućnosti za zaštitu radne i životne sredine od potencijalnih zagađivača rastu u skladu sa stečenim znanjem i razvojem ekološke svesti. Javljaju se nove tehnologije za tretiranje problematičnih kategorija zagađivača, a s druge strane, proizvođači otkrivaju nove mogućnosti zaštite i unapređenja radne i životne sredine. Neophodno je da konstruktori, proizvođači, potrošači, vaspitači i nastavnici prate stanje i procese u životnoj sredini, što će znatno uticati na efikasnost, racionalnost i ekonomičnost određenih mera i postupaka zaštite životne sredine.

LITERATURA

1. Zakon o osnovama sistema obrazovanja i vaspitanja, Službeni glasnik RS, br.62/03, 64/03 i 58/04.
2. Priručnik za samovrednovanje i vrednovanje rada škole, MPS i Britanski Savet, Beograd, 2005.
3. Reforma obrazovanja u Republici Srbiji-od vizije do konkretnih koraka, Beograd, 2002.
4. Kvalitetno obrazovanje za sve – put ka razvijenom društvu, MPS, Beograd, 2002.
5. Vilotijević M. Promenama do kvalitetne škole, Zavod za udžbenike, Beograd, 2003.
6. Mandić P., Vilotijević M. Vrednovanje rada škole, Zavod za udžbenike, Sarajevo, 1980.
7. Andevski M. Uvod u ekološko obrazovanje, Univerzitet Novi Sad, 1997.
8. Žderić M. Škola i životna sredina, Misao, Novi Sad, 1983.
9. Kundačina M. Činioci ekološkog vaspitanja i obrazovanja, Univerzitet u Kragujevcu, 1986.
10. Biočanin R., Milutinović D. Ekološko obrazovanje i vaspitanje kao doprinos zaštiti i unapređenju životne sredine, Narodna biblioteka Srbije, Beograd, 2000.
11. Marjanović R. Nastavni materijali, Školska uprava Užice, 2005.
12. Anagnostopoulos C. N., Williams L. A.: "Few Gold Stars for Precollege Education", IEEE Spectrum, pp.18-26, April 1998.
13. Bjekić D., Papić Ž. Ocenjivanje u srednjem stručnom obrazovanju – priručnik, Program reforme srednjeg stručnog obrazovanja, Beograd, 2005.

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

ZNAČAJ UVOĐENJA EMS U PRIVREDNIM SUBJEKTIMA SA SOPSTVENIM VOZNIH PARKOM

J. Đukić ¹⁾, R. Đukić ²⁾

Rezime: U privrednim organizacijama koje su uvele EMS, ne obraća se pažnja na transport (odnosno vozni park i organizaciju) i njegov uticaj na životnu sredinu. Transport je poznat kao jedan od izvora uticaja na životnu sredinu, i kao takav, treba ga uzeti u obzir i staviti, pored ostalih uticaja, u sistem za upravljanje zaštitom životne sredine (EMS).

Ključne reči: upravljanje, transport, ekologija, zaštita.

SIGNIFICANCE OF THE INTRODUCTIONS OF EMS IN ORGANIZATIONS THAT USE THEIR OWN MEANS OF TRANSPORT

Abstract: People usually do not pay attention to the transport (vehicles and the organization) and its environmental impacts in the organizations that have applied EMS. Transport has an important environmental impact and it should be considered and put into Environmental Management System (EMS) together with all other impacts.

Key words: management, transport, ecology, protection

1. UVOD

Krupne tehnološke promene u prošlom veku izuzetno su unapredile uslove života većeg dela čovečanstva, ali istovremeno su izazvale i niz nedoumica u vezi nekih neželjenih efekata. Zahvaljujući novim mogućnostima percepcije prirodnih i društvenih fenomena, uočen je određen broj negativnih efekata razvoja, te je analiza njihovih posledica i alternativa dovela do stvaranja novog koncepta razvoja—tzv. "održivog razvoja" ("sustainable development"), koji podrazumeva racionalno korišćenje svih prirodnih resursa i njihovu zaštitu na dugi rok radi obezbeđenja prihvatljivih uslova razvoja generacijama koje dolaze.

Saobraćajni sistem, neophodan u svim sverama života i rada ljudi, utiče danas bitno na životnu sredinu izazivajući i niz negativnih efekata sa dugoročnim posledicama, čiji intenzitet zavisi od karakteristika saobraćajnih sredstava i infrastrukture, uslova njihove eksploatacije i održavanja. Narušavanje prirodnih uslova dešava se i lokalno i globalno. Istraživanja posledica tih negativnih efekata saobraćajnog sistema pokazuju da je saobraćaj jedan od velikih zagađivača životne sredine, posebno atmosfere, tako da je neophodno preduzeti niz ozbiljnih i sinhronizovanih akcija radi smanjenja štetnih uticaja.

¹⁾ Jelena R. Đukić, Agencija za tehničke i poslovne usluge, Oslonac, Čačak

²⁾ Radisav D. Đukić, Viša tehnička škola, Čačak, vtscacak@eunet.yu

Strategija održivog razvoja zahteva ne samo zaoštavanje propisa u svim oblastima u vezi zaštite životne sredine, već integrisanu i celovitu akciju, primenom serije standarda međunarodne organizacije za standardizaciju koji se odnose na kvalitet (ISO 9000) i na upravljanje zaštitom životne sredine ("ekološki menadžment" – ISO14000). Odgovornost za zaštitu životne sredine leži na državnim institucijama u domenu definisanja strateških ciljeva i osnovnih programa, a prihvatanjem standarda ISO 14000, ona se adekvatno raspoređuje i na peduzeća kao nosioce privrednih aktivnosti.

Upravljanje zaštitom životne sredine, kako ga definišu standardi ISO 14000, nije "upravljanje životnom sredinom" niti "upravljanje okolinom", već je to upravljanje organizovanim ljudskim aktivnostima radi smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu.

Kod nas se sertifikacija sistema menadžmenta kvalitetom prema zahtevima standarda ISO 9001 još uvek odvija veoma sporo. Kada je reč o sertifikaciji sistema upravljanja zaštitom životne sredine, prema ISO 14001, situacija je još poraznija. Razlozi ove pojave najčešće se traže u materijalnom osiromašenju, stagnaciji privrede, nedovoljnoj spremnosti na promene i slično. Menadžment se najčešće pravda nedostatkom sredstava, jer je navodno usaglašavanje sa zahtevima standarda ISO 14001 skupa investicija, a mala dobit.

Priključenje EU postavlja pred zemlje, potencijalne članice, veliki zadatak koji između ostalog podrazumeva i transponovanje EU tzv. "ekoloških" direktiva u nacionalno zakonodavstvo, njihovu implementaciju i primenu. Proračunate potrebne investicije za dostizanje standarda samo u sektoru zaštite životne sredine kreću se od 80 do 120 biliona evra za 13 zemalja centralne i istočne Evrope (koje su poslednje pristupile EU).

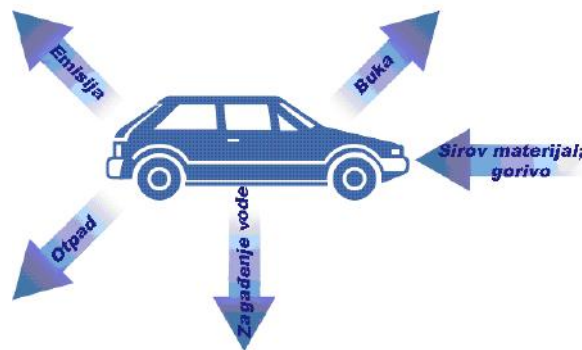
U radu analiziramo uticaj EMS na upravljanje radom voznog parka.

2. POLITIKA ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE

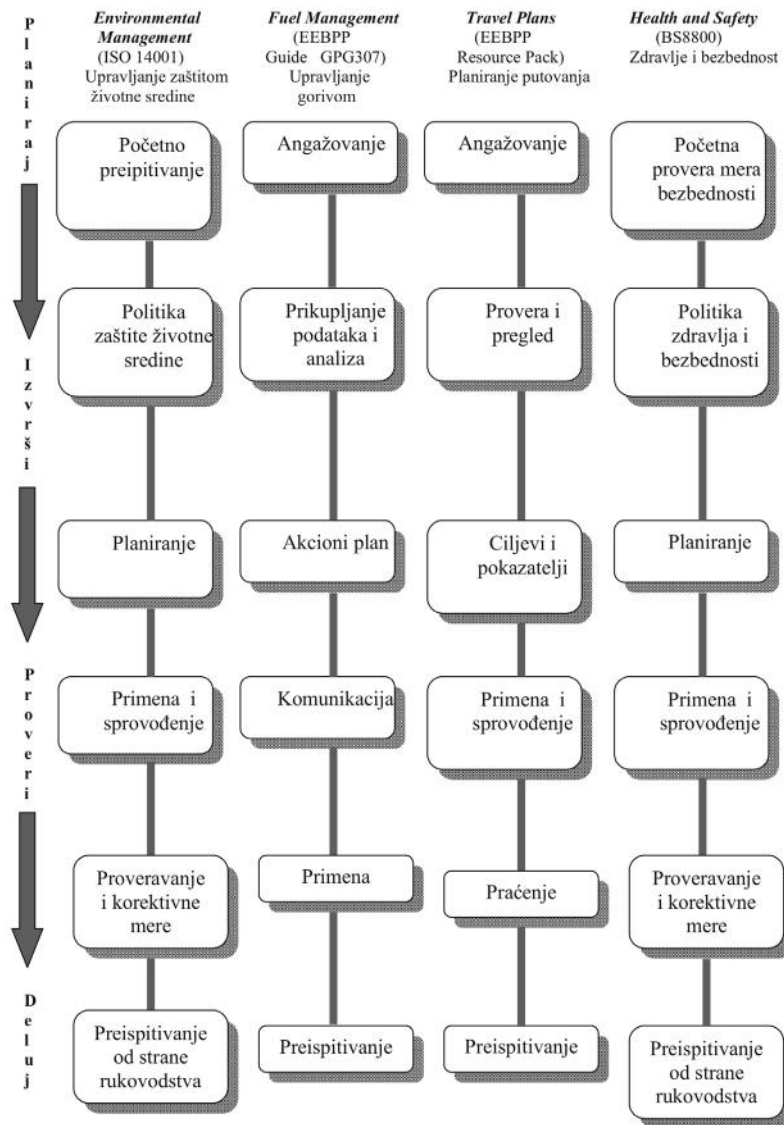
U okviru poslovno-proizvodnih sistema problem transporta treba sagledati kroz:

- izbor optimalnog prevoznog sredstva sa ekološkog aspekta,
- upravljanje gorivom u okviru voznog parka (minimalna potrošnja goriva), i
- optimizaciju prevoznog puta.

Veza između transporta i životne sredine prikazana je na slici 1 dok je na slici 2 dato poređenje menadžment sistema bitnih za utvrđivanje politike zaštite životne sredine.



Slika 1. Veza između transporta i životne sredine



Slika 2. Poređenje menadžment sistema

3. IDENTIFIKACIJA ASPEKATA I UTICAJA ŽIVOTNE SREDINE U OKVIRU TRANSPORTA

Jedan aspekt zaštite životne sredine može da ima više od jednog uticaja. Na primer, upotreba goriva (kao aspekt) ima tri uticaja i to promena klime emisijom ugljen dioksida, zagađivanje vazduha od emisije ostalih gasova i iscrpljivanje resursa. U tabeli 1 prikazani su neki primeri aspekata i uticaja životne sredine, a tabela 2 prikazuje uticaje životne sredine koji su povezani sa odgovarajućim aspektima.

Tabela 1. Neki primeri aspekata i uticaja životne sredine

Aspekti životne sredine	<ul style="list-style-type: none"> • upotreba resursa i sirovog materijala • raspoređivanje otpada • upotreba goriva • efekat staklene bašte • ispuštanje u vazduh • ispuštanje u vodu • ispuštanje u tlo • saobraćajna gužva • buka
Uticaji životne sredine	<ul style="list-style-type: none"> • iscrpljivanje/očuvanje prirodnih resursa • globalno zagrevanje • zagađenje vode • zagađenje vazduha • kontaminacija zemljišta • saobraćajne nezgode • štetno delovanje buke (neugodnost)

Tabela 2. Prikaz aspekata životne sredine i njihovih uticaja

Aktivnost	Aspekt životne sredine	Uticaj životne sredine
Materijali/proizvodi	Izlivanje prilikom transporta	Zagađenje površinskih voda i kontaminacija zemljišta
	Raspored otpada prilikom čišćenja	Kontaminacija zemljišta i zagađenje podzemnih voda
	Buka i gužva u saobraćaju	Neprijatnost od buke i gužve i zagađenje vazduha
	Upotreba goriva	Globalno zagrevanje, zagađenje vazduha i siromašenje resursa
	Raspored otpada od korišćenja voznog parka	Kontaminacija zemljišta i zagađenje podzemnih voda
Putovanja osoblja	Buka i gužva u saobraćaju	Neprijatnost od buke i gužve i zagađenje vazduha
	Upotreba goriva	Globalno zagrevanje, zagađenje vazduha i siromašenje resursa
	Raspored otpada od korišćenja voznog parka	Kontaminacija zemljišta i zagađenje podzemnih voda

Za identifikaciju značajnih aspekata životne sredine koriste se dva načina:

- 1) numerička metoda (vrednovanje aspekata i njihovih uticaja putem ocenjivanja kao što je prikazano u tabeli 3)
- 2) procena rizika

Tabela 3. Klasifikacija uticaja životne sredine

Aspekt	Zakonodavstvo 1= nije propisan zakonom 5= pokriven zakonom	Uticaj 1= lokalizovan, slab uticaj 5= globalni uticaj	Rukovodioci 1= mala zainteresovanost 5= velika zainteresovanost	Ukupno
Poslovno putovanje	3	4	2	9
Efekat staklene bašte	5	5	5	15
Upotreba vode	5	2	2	9

4. IDENTIFIKACIJA KLJUČNIH CILJEVA I PRINCIPA RADI SMANJENJA NEGATIVNOG UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU

Zbog provere postavljenih ciljeva nužno je stalno merenje i praćenje aspekata životne sredine. U tu svrhu potrebno je posedovati:

- informacije od organizatora voznog parka o : sastavu goriva, potrošnji goriva, vrsti goriva (odnos npr. dizel/obično i koliko se kog goriva koristi), praćenju otpada;
- informacije koje se dobijaju od koordinatora sprovođenja plana transporta;
- informacije koje se dobijaju od agencija kod kojih se iznajmljuju vozila (broj iznajmljenih vozila, količina utrošenog goriva, informacije koje se dobijaju od troškova radnika).

Postavljanje ciljeva zasnovano je na proceni aspekata životne sredine odnosno na merenju učinka, kao što je dato u tabeli 4.

Primeri određenih kvantitativnih i kvalitativnih ciljeva koji se mogu iskoristiti u vezi sa transportom jedne organizacije navedeni su u tabeli broj 5.

Tabela 4. Merenje transportne usluge

Aspekt	Pokazatelji učinka	Jedinica
Upotreba resursa i sirovih materijala	Beleške sadrže: broj pređenih kilometara, račun za gorivo, prosečna potrošnja po kilometru.	Km/zaposlen litar/ zaposlen km/litar ; litar/km
Raspored otpada	Beleške sadrže: količina otpada od voznog parka.	litar ili tona
Efekat staklene bašte	Merenje ispuštanja ugljen dioksida zavisi od vrste vozila, pređene kilometraže.	Tona ugljenika u tC ili tCO ₂
Ispuštanje u vazduh	Glavna stvar je da se razlikuje ispuštanje od koncentracije zagađivača na osnovu ukupnog goriva koje potroši vozni park.	G/m ³ ili ppm ili Kg zagađivača
Ispuštanje u vodu	Praćenje rada sistema za otpadne vode neke organizacije treba da je dovoljno za praćenje ovog aspekta.	Ukupno km
Ispuštanje u zemljište	Praćenje celokupnog voznog parka.	Ukupno km
Zagušenje saobraćaja	Glavna stvar je kako smanjenje u korišćenju vozila utiče na smanjenje vramena putovanja, proporcija onih koji koriste svoje vozilo i oni koji koriste javni prevoz.	Prosečno vreme putovanja Učešće pojedinih vresta u %
Buka	Može da se prati rutinski; bilo kakve žalbe treba da budu zabeležene; izvor buke i mere za njihovo otklanjanje.	DB(A) (koristi indeks kao L ₁₀ /t)

Svaka organizacija treba da se pridržava sledećih **principa**, u okviru kojih će razvijati programe u cilju smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu:

- na prvom mestu smanjenje potrebe za transportom,
- prelazak sa transportnih sredstava koja izuzetno zagađuju okolinu na prevozna sredstva koja su manje štetna,
- treba se postarati da prevozna sredstva budu dobro održavana i efikasna,
- maksimalno ikorišćenje prevoznog sredstva pri prevozu tereta (na primer, maksimalno iskoristiti tovarni prostor kamiona).

Tabela 5. Neki od predloga ciljeva koji su u vezi sa transportom jedne organizacije

Kategorija	Pokazatelji	Ciljevi
Poslovno putovanje	Pređena kilometraža	Procentualno godišnje smanjenje po radniku
	Efikasnost goriva	Procentualno godišnje povećanje
	Vozači kompanije završavaju program obuke kako bi savladali tehnike efikasnog korišćenja goriva	Veći broj obučениh radnika za X% tokom X godina
	Količina zagađenja vazduha	Procentualno smanjenje u toku jedne godine
	% snabdevača u okrugu od 15 km	Procentualno povećanje u toku jedne godine
Putovanje do posla	Broj vozila koja se dovoze do posla na 100 radnika	Godišnje smanjenje
	Korišćenje javnog prevoza	Godišnje povećanje (ovo je povezano sa prethodnim)
	Radnici koji pešače ili voze bicikl do posla	Godišnje povećanje
	Radnici koji nemaju fiksno radno vreme ili skraćeno radno vreme	Godišnje povećanje broja radnika

5. ZAKLJUČAK

Posledice odlaganja ili bilo kakvog odugovlačenja u pogledu uklapanja u aktuelne svetske eko – trendove mogu biti nesagledive. U okviru nadležnih institucija trebalo bi pratiti svetske trendove i regionalna dešavanja, i kada je god to moguće u nacionalni sistem unositi dopune.

U oblasti saobraćaja i transporta treba parcijalno i sekvencijalno uvoditi novine, a prema preporukama granskih i strukovnih međunarodnih organizacija. Pri tom uticati da se na domaćem transportnom tržištu implementiraju i zakonski utvrde međunarodni principi i norme koji su prihvatljivi za naše uslove a po svojoj suštini su obavezni.

Dostignuti stepen uvođenja standarda serije ISO 14000 daleko prevazilazi stepen implementacije usvojenih standarda serije JUS ISO 14000 u praksu naših organizacija.

Na kraju da zaključimo da ukoliko želimo da pristupimo EU, moramo što pre da krenemo sa implementiranjem standarda ISO 14001(EMS) o kome je u radu bilo reči, ali ne samo zbog toga što je to jedan od uslova koje nam nameće Evropa i svet, već i zbog toga što time utičemo na poboljšanje kvaliteta života i na zaštitu životne sredine.

6. LITERATURA

1. Good Practice Guide, Transport and Environmental management systems, prepared by: Future Energy Solutions, Harwell, Didcot, Oxfordshire OX11 0QJ and Enviros Aspinwall, 16 Crucifix Lane, London Bridge, London, 2003.
2. JUS ISO 14001:2005, Sistemi upravljanja zaštitom životne sredine-Zahtevi sa uputstvom za primenu.
3. www.vecyu.org/yy/projekti

31. SAVETOVANJE
PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
Kragujevac, 19-21. 09.2006.



31. CONFERENCE ON
PRODUCTION
ENGINEERING
with foreign participants
Kragujevac, 19-21.09.2006.

PRILOG DOGRADNJI SISTEMA KVALITETA

D. Marković ¹⁾, S. Đurić ²⁾, S. Veselinović ³⁾

Rezime: Jedan od zahteva standarda menadžmenta kvalitetom je upravljanje dokumentima sistema kvaliteta i potreba za stalnim poboljšanjima. U radu je dat prikaz jedne od mogućnosti dogradnje sistema kvaliteta i upravljanje dokumentima primenom računara. Opisana je Multimedijalna baza podataka organizacionih sredstava u IMK „14. oktobar“ AD Kruševac koja sadrži preglede svih organizacionih propisa i uputstava koji se koriste u ovom poslovnom sistemu, kao i uvid u njih. Primenom ovakvog načina upravljanja dokumentima sistema kvaliteta ima višestruke prednosti.

Ključne reči: sistem kvaliteta, dokument, upravljanje, baza podataka, organizacija

CONTRIBUTION TO IMPROVEMENT OF QUALITY SYSTEM

Summary: One of the requests for standards of quality management is management of quality system documents and constant need for improvement. In this paper is given a review of possibility for improvement of quality system and management of documents by using computer. It is described Multimedial data base of organizational resources in IMK „14.oktobar“ AD Kruševac, which contains reviews of all organizational rules and instructions used in this business system. By appliance of this way to manage documents of quality system several advanages are achieved.

Key words: quality system, document, management, data base, organization

1. UVOD

Tradicionalno, u IMK „14.oktobar“ AD u Kruševcu velika pažnja se posvećuje u normativnoj regulativi, kao u oblasti organizacije procesa, tako i u tehničkoj sferi. Počev od sredine šezdesetih godina prošlog veka pa do danas urađeno je i primenjuje se više stotina dokumenata sistema kvaliteta: organizacionih propisa, uputstava, internih standarda i obarazaca koji se u njima koriste.

Zato i nije bilo teško da se među prvima sredinom devedesetih godina prošlog veka akredituje Tehnička laboratorija, kao i da sertifikuje sistem kvaliteta u Institutu

¹⁾ Dragoslav Marković, dipl.inž.maš., IMK „14.oktobar“ AD Kruševac, markdam@ptt.yu

²⁾ Sava Đurić, dipl.inž.maš., Institut IMK „14.oktobar“ Kruševac, buba18@ptt.yu

³⁾ mr Svetlana Veselinović, dipl.inž.maš., Institut IMK „14.oktobar“ Kruševac, institutimkks@ptt.yu

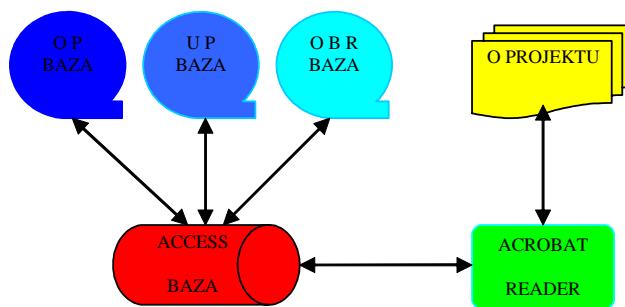
IMK „14.oktobar“ u Kruševcu. Nedavno je izvršena i reakreditacija Lanoratorije za ispitivanja u skladu sa zahtevima Standarda JUS ISI / IEC 17025 za hemijska, fizička, mehanička i metalografska ispitivanja i metrologiju i reocenjivanje i sertifikacija sistema menadžmenta kvalitetom u Institutu IMK „14.oktobar“ u Kruševcu u skladu sa zahtevima standarda JUS ISO 9001:2001. Da bi se aktivnosti na dogradnji i ocenjivanju sistema kvaliteta uspešno realizovale bilo je neophodno da se izvrši revizija i usklađivanje nekih dokumenata sistema kvaliteta. Kako je po oceni konsultatanata i proverivača ovaj poslovni istem „preorganizovan“ i ima u opticaju i primeni i više dokumenta nego što standardi obavezno zahtevaju bilo je potrebno da se kvalitetno upravlja dokumentima i da se omogući brz i lak uvid u njih, njihovo pretraživanje, pregled i po potrebi štampanje. Dosada su originali rađeni u papirnom obliku, na paosu i bili u zavisnosti od prirode arhivirani u službama: Standardizacija i Organizacija i poslovni sistem na više stotina stranica pisanog teksta, šema i obrazaca, pa su čuvanje, arhiviranje, pretraživanje, umnožavanje i distribucija korisnicima bili dosta složeni skuplji i otežani.

2. PROGRAMSKI PAKET ZA UPRAVLJANJE DOKUMENTIMA

Na predlog stručnjaka Instituta IMK „14.oktobar“ iz Kruševca, uključenih u aktivnosti na dogradnji sistema kvaliteta u službi Organizacija i poslovni sistem razvijen je i uveden u primenu programski sistem, programski paket pod nazivom „Multimedijalna baza podataka organizacionih sredstava“. Pristupljeno je popuni baze i digitalizaciji dokumenata. Baza sadrži pregled svih važećig organizacionih sredstava koja obuhvataju organizacione propise, uputstva i obrazce.

Programski paket je tako strukturiran da omogućava interaktivan rad i uvid u pregled dokumenata, kao i u obrazce koje oni pozivaju, ili koji dokumenti njih pozivaju i u kojima se koriste pojedini obrasci, kao i štampu dokumenata i obrazaca. Dosada su štampana dva izdanja dokumenata na CD-ima i po šemama distribucije dostavljena korisnicima.

Na slici 1 prikazabna je struktura razvijenoj programskog paketa, sistema za upravljanje dokumentima, pod nazivom „Multimedijalna baza podataka organizacionih sredstava“.



Slika 1. Struktura programskog paketa „Multimedijalna baza podataka organizacionih sredstava“

Kao što je već rečeno, programski paket je urađe tako da se koristi inteaktivno kroz dijalog „korisnik-računar“. Kao što se vidi paket sadrži tru nezavisne baze

podataka o dokumentima, organizacionim sredstvima (organizacionim propisima i uputstvima) i obrascima koje oni pozivaju. Takođe, definisni su i odnosi među njima. Program omogućava pretraživanje i dobijanje traženih podataka kao i dalju popunu baza, a po potrebi i štampanje željenih dokumenta.

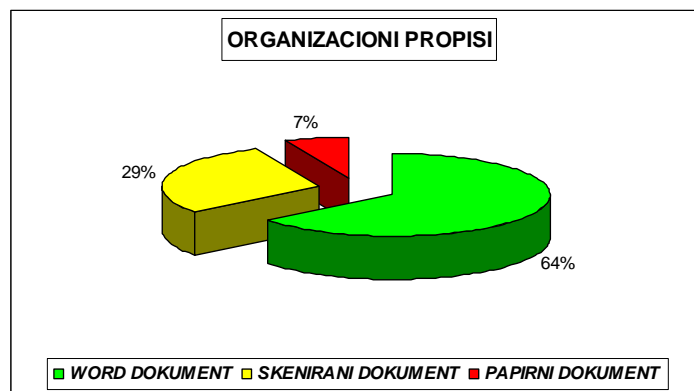
Dosada su u bazu ubačeni mogu se koristiti skoro svi dokumenti sistema kvaliteta koji obuhvataju organizaciona sredstva, a u toku je rad na dogradnji informacionog sistema tako da će njime biti obuhvaćeni i interni standardi i tehnička uputstva.

Primenom programskog paketa „Multimedijalna baza podataka organizacionih sredstava obuhvaćena su i obrađena sva važeća organizaciona sredstva.

U tabeli 1. i na slikama 2, 3 i 4 prikazano je stanje i obuhvaćenost obrađene dokumentacije trenutno, a aktivnosti koje su u toku omogućiće u potpunosti korišćenje organizacionih sredstava u digitalnom zapisu.

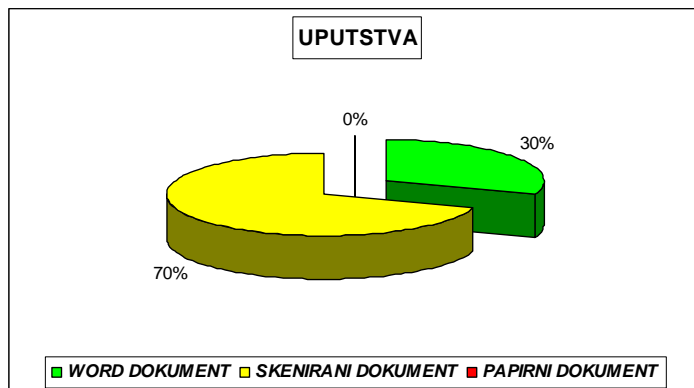
Tabela 1. Pregled digitalizovanih organizacionih sredstava

RED. BROJ	VRSTA DOKUMENTA	DIGITALNI ZAPIS		PAPIRNI DOKUMENT	Σ
		WORD DOKUMENT	PDF DOKUMENT		
01.	ORGANIZACIONI PROPIS	49	22	5	76
02.	UPUTSTVO	33	76	0	109
03.	OBRAZAC	64	263	152	479

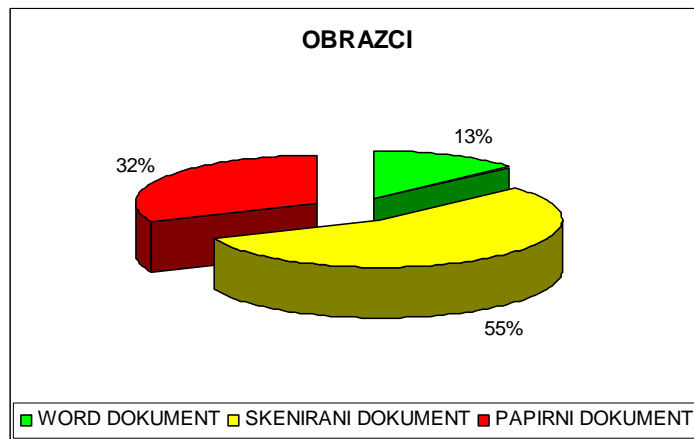


Slika 2. Pregled digitalizovanih organizacionih propisa

“Multimedijalna baza podataka organizacionih sredstava” je modul u okviru novog informacionog sistema u IMK “14.oktobar” AD Kruševac i predstavlja sistem za upravljanje organizacionim sredstvima i dokumentima sistema kvaliteta. Kao modul u okviru CIM koncepta organizacije preduzeća, odnosno informatičke integracije preduzeća, služi za lako i efikasno upravljanje ovim dokumentima. Njegovom primenom postižu se i velike materijalne uštede, uz olakšan i rad pri uvidu i korišćenju dokumenata sistema kvaliteta.



Slika 3. Pregled digitalizovanih uputstava



Slika 4. Pregled digitalizovanih obrazaca

3. ZAKLJUČAK

Mogućnosti primene informatičkih tehnologija u oblasti upravljanja dokumentima sistema kvaliteta su veoma velike, a primena isplativa. Stepen razvoja i dostignuća nauke, tehnike i tehnologija u ovoj oblasti su na tom nivou da im omogućavaju praktično neograničenu primenu. Napredak tehnoloških rešenja omogućava stalno proširivanje polja njihove primene uz snižavanje troškova. Iskustva IMK "14.oktobar" AD Kruševac u primeni sistema za upravljanje dokumentima sistema kvaliteta to i potvrđuju i opravdavaju.

Programski paket je prezentiran na Stručnom savetu za standardizaciju i tom prilikom su korisnici obučeni za njegovo korišćenje. Na slici 5. prikazan je detalj sa Stručnog saveta. Po opšroj oceni korisnika i stručnjaka programski paket „Multimedijalna baza

podataka organizacionih sredstava“ je veoma kvalitetno urađen, kao i da je po prvi put omogućeno efikasno i pouzdano čuvanje, distribucija i korišćenje dokumenata sistema kvaliteta u digitalnom zapisu, uz podizanje nivoa kvaliteta korišćenja ovih dokumenata uz velike uštede vremena i materijala, jer su stotine stranica teksta u papirnom obliku zamenjene CD-om.



Slika 5. Detalj sa Stručnog saveta. Autor programa Dragoslav Marković

4. LITERATURA

1. Ž. Spasić, Upravljanje proizvodnjom je CIM podsistem informaciono integrisanog preduzeća, IMK 14 – Istraživanje i razvoj, broj 4, Institut IMK «14.oktobar» Kruševac, Kruševac, 1996.
2. D. Babović, S. Đurić, G. Aksentijević, Potrebe inženjerskog kadra za dopunskim obrazovanjem iz oblasti informatičkih tehnologija, IMK 14 – Istraživanje i razvoj, broj 4, Institut IMK «14.oktobar» Kruševac, Kruševac, 1996.
3. Reinženjering informacionog sistema IMK “14.oktobar” AD Kruševac, Projekat, Centar za razvoj poslovnog sistema i informatiku IMK “14.oktobar” AD Kruševac, Kruševac, 2002.
4. Analiza postojećeg stanja i mogući pravci razvoja i automatizacije jedinstvenog informacionog sistema DD IMK “14.oktobar” Kruševac, Centar za razvoj poslovnog sistema i informatiku IMK “14.oktobar” AD Kruševac, Kruševac, 1994.
5. Analiza postojećeg stanja i moguća rešenja za njegovu izgradnju i automatizaciju, Centar za razvoj poslovnog sistema i informatiku IMK “14.oktobar” AD Kruševac, Kruševac, 2000.
6. Tehničke informacije i prospektni materijali firmi Informatika – Industrial Control Systems Beograd, Bravo Niš, Fitiš d.o.o. Subotica, IRIN Niš, MFC Beograd, ASPEKT d.o.o. Beograd, Kapaprojekt Niš, Veridix Beograd, Ei SOFTIS Niš, Ei SYSTEMS Niš.
7. Tehnička dokumentacija IMK “14.oktobar” AD Kruševac



CORUN AD
M. Obrenovića 2,
31000 Užice – Srbija



Tel +381 31 563 344
FAX +381 031 563 461
Web site /e-mail www.corun.co.yu
corun@ptt.yu

Preduzeće **CORUN AD UŽICE** je u vlasništvu 51% SANDVIK Coromant – Švedska i 49% Univerzal – Beograd. Počelo je sa radom 1982. CORUN AD proizvodi izmenljive pločice od tvrdog metala, držače alata i glodačke glave namenjene za obradu metala struganjem i glodanjem, po tehnologiji SANDVIK Coromant-a, Švedska – vodeće firme u svetu iz oblasti reznih alata. Od 2002. u CORUN AD se startovalo sa razvojem novog proizvoda – noževa za sečenje asfalta i kamena (popularno nazvanih “grebači”), koji su svoju primenu našli širom naše zemlje u repariranju puteva. CORUN AD je u potpunosti posvećen, kako kvalitetu svojih proizvoda i usluga, tako i svojim kupcima, kojima, pored proizvoda, nudi i kvalitetan servis i iznalaženja boljih tehnoloških rešenja iz oblasti primene reznih alata. CORUN AD distribuira svoje proizvode širom zemlje i u inostranstvu. Najveći kupci CORUN-ovih proizvoda u zemlji su: Sistem EPS, Prva Petoletka-Trstenik, 14. Oktobar-Kruševac, PZP Beograd, Zastava-Kragujevac, MIN-Niš, FAP-Priboj, Sever-Subotica, Livnica-Kikinda itd, a u inostranstvu: LADA-Rusija, Sterli Tamak-Rusija, Beltehnologija-Belorusija, itd.



Od samog početka svog rada, u CORUN AD se ozbiljno pristupalo sistematskom radu u osvajanju i održavanju kvaliteta svojih proizvoda na najvišem svetskom nivou, što je godinama potvrđivano proverama od strane vlasnika SANDVIK Coromant. Marta 2000. CORUN AD među prvim preduzećima tadašnje Jugoslavije, dobija sertifikat po zahtevima standarda JUS ISO 9001 od renomirane inostrane kuće RWTÜV-ESSEN-Nemačka, što preduzeću vidno poboljšava rejting-imidž i svrstava ga među najpoželjnije isporučioce reznih alata u ovom delu sveta. Stalna usredsređenost na kvalitet i korisnike svojih proizvoda, održava CORUN AD na tržištu, na kome vlada veoma jaka konkurencija. Tako smo početkom 2002. uspešno završili proveru SISTEMA KVALITETA, od svog najvećeg domaćeg kupca Sistema EPS-a. Time smo postali nosioci EPS-ovog ZNAKA KVALITETA, koji nas je stavio u poziciju svog najpoželjnijeg snabdevača alata. Krajem 2002. se otišlo korak dalje – CORUN AD je startovao sa uvođenjem standarda JUS ISO 14 001- SISTEM UPRAVLJANJA ZAŠTITOM ŽIVOTNE SREDINE, što je rezultiralo dobijanjem, među prvim preduzećima u zemlji, ovog značajnog sertifikata, u maju 2003. Juna 2006. maksimalnim zalaganjem svih zaposlenih, CORUN AD uspešno odbranjuje oba sertifikata (JUS ISO 9001 i JUS ISO 14 001), kod nemačke certifikacione kuće TÜV THÜRINGEN.

Time CORUN AD potvrđuje svoju trajnu opredeljenost ka kvalitetu svojih proizvoda i usluga u cilju što boljeg zadovoljenja potreba svojih korisnika. Ovim CORUN AD potvrđuje i svoju visoku poziciju na tržištu, koju brani i zadržava od svog osnivanja.

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

621.7/.9(082)
621.7/.9:669(082)
681.5(082)
005.6(082)
004.896(082)

САВЕТОВАЊЕ производног машинства Србије и Црне Горе са
међународним учешћем (31. ; 2006 ; Крагујевац)

Zbornik radova = Proceedings / 31. savetovanje proizvodnog
mašinstva Srbije i Crne Gore sa međunarodnim učešćem =
31th Conference of Production Engineering of Serbia and Montenegro
with Foreign Participants, Kragujevac, 19-21. septembar 2006. ;
[organizator] Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet u Kragujevcu,
Katedra za proizvodno mašinstvo ; [urednici, editors Bogdan Nedić,
Milentije Stefanović, Miodrag Lazić]. - Mašinski fakultet : Kragujevac,
2006 (Kragujevac : Skver). - XXIV, 781 str. : ilustr. ; 24 cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tekst ćir. i lat. - deo teksta uporedo na
srp. i engl. jeziku. Tiraž 200. - Str. XII-XIII : Predgovor /
Milentije Stefanović, Bogdan Nedić. - Napomene uz tekst. -
Bibliografija uz svaki rad. - Summaries.

ISBN 86-80581-92-5

1. Машински факултет (Крагујевац)

а) Производно машинство - Зборници б) Метали - Обрада - Зборници

ц) Системи аутоматског управљања - Зборници

д) Управљање квалитетом - Зборници

COBISS.SR-ID 133582092