

XIV SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

ČAČAK, 1980. GOD.

# ZBORNİK RADOVA

KNJIGA I

Čačak, 24. do 26. septembra 1980. god.

ČAČAK, 1980.GOD.

Z B O R N I K R A D O V A

KNJIGA I

ČAČAK, 24. do 26.septembra 1980.god.



POKROVITELJ XIV SAVETOVANJA PROIZVODNOG MAŠINSTVA

FABRIKA REZNOG ALATA - ČAČAK

Organizovanje XIV savetovanja materijalno su pomogli:

- Fabrika reznog alata - Čačak
- Republička Zajednica nauka SR. Srbije
- Skupština opštine Čačak
- Pedagoško tehnički fakultet Čačak

Ovaj zbornik radova štampan je u povodu XIV savetovanja proizvodnog mašinstva održanog 24.-26. septembra 1980.godine u Čačku.

Savetovanje predstavlja deo aktivnosti u okviru Zajednice jugoslovenskih naučno istraživačkih institucija proizvodnog mašinstva.

Članovi zajednice su:

1. Mašinski fakultet Banja Luka
2. Mašinski fakultet Beograd
3. Institut za alatne mašine i alate Beograd
4. Mašinski fakultet Kragujevac
5. Fakultet za strojaništvo Ljubljana
6. Visoka tehnička škola Maribor
7. Mašinski fakultet Mostar
8. Mašinski fakultet Niš
9. Fakultet tehničkih nauka Novi Sad
10. Mašinski fakultet Priština
11. Tehnički fakultet Rijeka
12. Mašinski fakultet Sarajevo
13. Mašinski fakultet Skoplje
14. Tehnički fakultet Titograd
15. Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb
16. Institut za alatne strojeve "Prvomajska" Zagreb
17. Pedagoško tehnički fakultet Čačak

Organizatori savetovanja:

Pedagoško tehnički fakultet, Čačak  
Fabrika reznog alata, Čačak

Organizacioni odbor XIV savetovanja:

1. Dr Sreten Urošević dipl.ing. redovni profesor PTF-a Čačak -  
predsednik
2. Dr Vukola Stevanović, dipl.ing. vanredni profesor PTF-a Čačak

3. Dr Zoran Nikić, dipl.ing. PTF - Čačak
4. Aleksandar Višnjić, dipl.ing. generalni direktor FRA - Čačak
5. Miliivoje Vulović, dipl.ing. zam.gen.direktora FRA - Čačak
6. Rajo Milošević, dipl.ing. FRA - Čačak
7. Mr Bogoljub Kršljak, dipl.ing. PTF - Čačak
8. Mr Ratomir Ječmenica, dipl.ing. PTF - Čačak - sekretar
9. Čedomir Čolović, dipl.ing. SLOBODA - Čačak
10. Miloš Urošević, dipl.ing. CER - ČAČAK

Dosadašnja savetovanja održana su:

I	Beograd	1965. godine
II	Zagreb	1966. godine
III	Ljubljana	1967. godine
IV	Sarajevo	1968. godine
V	Kragujevac	1969. godine
VI	Opatija	1970. godine
VII	Novi Sad	1971. godine
VIII	Ljubljana	1973. godine
IX	Niš	1974. godine
X	Beograd	1975. godine
XI	Ohrid	1977. godine
XII	Maribor	1978. godine
XIII	Banja Luka	1979. godine

Odlukom Zajednica jugoslovenskih naučno istraživačkih institucija proizvodnog mašinstva (ZJNIPM) organizovanje XIV savetovanja povereno je Pedagoško tehničkom fakultetu u Čačku.

Koristimo priliku da se zahvalimo svim autorima saopštenja, finansijerima i svima ostalim koji su doprineli uspešnom održavanju XIV savetovanja.

Organizacioni odbor

Uvodni referati	Strana
S. Urošević, V. Milatović Uticaj tehničko tehnološkog razvoja na tehnologiju i projektovanje tehnoloških procesa u industriji za preradu metala .....	1 - 1
Z. Nikić, A. Višnjic Neki aktuelni problemi u obradi metala rezanja...	II-31
S. Živanović Razvojni pravci alata za obradu metala deformisanjem .....	III-61
M. Dragović Održavanje proizvodnih postrojenja .....	IV- 87
Saopštenja	
B. Devedžić, M. Stefanović Rezerva plastičnosti kao pokazatelj tehnoloških kvaliteta maziva za duboko izvlačenje.....	1
H. Djukić, P. Popović Uticajni parametri u procesu izvlačenja sa redukcijom debljine zida .....	11
R. Eren Usporedna analiza tehnološkog procesa metaloprerađivačke industrije .....	21
V. Garbajs, F. Roethel, S. Mikac Optimiranje procesa elektroerozijske obdelave....	33
R. Ječmenica Upoređivanje triboloških karakteristika zavojnih burgija izradjenih valjanjem, brušenjem i glodanjem primenom metode radioaktivnih izotopa..	43
K. Kuzman., L.Kosec., N. Vojnovič Prispevek h kriterijem za ocenjevanje primernosti jekel za hladno vtiskovanje .....	57

M. Kalajdžić., V. Šolaja Obradni sistem, osnovna tehnološka celina - mogućnosti jedinstvene identifikacije u eksploatacijskim uslovima .....	69
O. Peković., Mogućnosti tipizacije tehnoloških procesa u uslovima grupne obrade detalja .....	79
J. Peklenik., J. Grum Računalniško klasificiranje odbelovancev v proizvodnem strojništvu .....	89
A. Polajnar Vpliv organizacijskih, tehnoloških in drugih faktorjev na NČ- proizvodnjo .....	109
M. Radulović Kinetika strukturnih transformacija u pograničnom sloju brzoreznih čelika u procesu brušenja .....	121
F. Roethel., M. Dobovšek Izbira sistemov za elektroerozijsko obdelavo orodij za preoblikovanje .....	139
Z. Seljak., J. Jelenc Uporaba klasifikatorjev pri avtomatizaciji strege in montaže .....	149
Z. Seljak., M. Pahor Uporaba kalkulatorjev za izračun optimalnih obdelovalnih pogojev .....	161
Z. Seljak., J. Kopač., J.Barbič, M.Pahor, A.Sluga Optimizacija obdelovalnih pogojev in meje zaupanja .....	181
A. Sofronić Istraživanje optimalnog rasporeda radnih mesta višepredmetnih tehnoloških linija u uslovima pojedinačne i maloserijske proizvodnje delova.....	185
V. Stevanović Parametri kontrole kvaliteta proizvoda u procesu sastavljanja .....	197



Z. Terzić	
Eksploatacione mere za poboljšanje tehno-ekonomskih pokazatelja u kovačkim pogonima pri maloserijskoj proizvodnji .....	211
P. Šmarčan., J. Balič	
Izkušnje pri programiranju NC strojev z mini-računalniki in njihova povezava z večjimi računalniki .....	219
R. Uzunović., Lj. Lukić., R. Slavković	
Razvoj i primena tehnologije dubokog bušenja.....	227
N. Bajić	
O obradljivosti titana brušenjem .....	241
M. Vulović	
Tribološki efekti termoelektromotorne sile pri obradi bušenjem .....	251
R. Milošević	
Uticaj geometrije alata i režima rezanja na geometriju otvora pri razvrtanju .....	263
V. Šolaja	
O nekim korelacijama reznog procesa i kvaliteta generisane površine .....	279
V. Mečanin	
Jedan model optimizacije procesa obrade na NC masinama .....	295
M. Kapićević, R. Dimitrijević	
Prilog tehnologije bušenja hartije .....	305
S. Urošević	
Podsticanje verovatnoće grupisanja obradaka u tehnološkim procesima kroz razvoj metoda operativnog planiranja.....	319
D. Zelenović, I. Čosić	
Prilog razmatranju mogućnosti primene postupaka grupisanja u procesima montaže .....	329
D. Zelenović, I. Čosić, D. Jovanović	
Razvoj i primena računarskog programa za izbor varijante proizvodnog sistema u uslovima primene postupka grupisanja .....	341

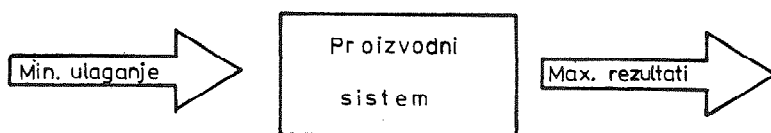
XIV. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK 1980.

S.Urošević, V.Milačić<sup>1)</sup>

UTICAJ TEHNIČKO TEHNOLOŠKOG RAZVOJA NA TEHNOLOGIJU I PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA U INDUSTRIJI ZA PRERADU METALA<sup>2)</sup>

Nema sumnje da Proizvodno mašinstvo kao veoma složen kompleks naučnih disciplina, u svojoj složenosti posebno dolazi do izražaja u onim svojim naučnim segmentima u kojima obradjuje savremenu problematiku tehnologije i projektovanje tehnoloških procesa u industriji za preradu metala.

Respektujući savremene zahteve u vezi sa kvalitetom tehnoloških procesa od kojih se zahteva da u uslovima optimalno podešenim radniku proizvodjaču, obezbedjujući pri tom visoku pouzdanost samih procesa i visok kvalitet izradjenih proizvoda u njima, tehnološka rešenja u savremenoj industriji i time u industriji za preradu metala posebno imaju zadatak da reprodukuju u proizvodnim procesima maksimalne rezultate uz minimalna ulaganja - sl. 1.



Sl. 1

Mora se uvek imati u vidu da je rešenje ovako formulisanog zadat-

1)

Dr.Sreten Urošević,dipl.ing., redovni profesor Pedagoško-tehničkog fakulteta u Čačku, Dr.Vladimir Milačić,dipl.ing., redovni profesor Mašinskog fakulteta u Beogradu.

2)

Prilog obradjen kao uvodni referat za XIV. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Čačak 24.-26.09.1980.godine.

ka veoma složeno. Složenost proizilazi iz prirode proizvodnih procesa u industriji za preradu metala. Nju kao što je poznato karakteriše komadna proizvodnja i u vezi s njom prekidni tehnološki procesi koji se moraju organizovati za izradu neverovatno velikog broja različitih proizvoda, odnosno njihovih komponenti, pri čemu veoma važnu ulogu igra još i serijnost proizvodnje koja se može kretati od pojedinačne izrade nekih specifičnih proizvoda pa do masovne proizvodnje onih koji imaju velike tržišne prostore (artikli široke potrošnje). Ovakva kompleksnost tehnoloških procesa u industriji za preradu metala, **isplicira** složenost i obimnost savremenih istraživanja i napora radi obezbeđenja neprekidnog tehnološkog napredovanja. Ovo napredovanje je imperativ. Strateški ciljevi našeg tekućeg privrednog razvoja koji za osnovu imaju rešavanje nagomilanih problema u vezi sa proizvodnjom sirovina, hrane i energije, mogu biti celishodno rešeni u prvom redu sopstvenim razvojnim naporima, odnosno tehnološkim napredovanjem domaće mašinogradnje.

Proizvodno mašinstvo Jugoslavije ima neosporni zadatak da se uključi u ove napore između ostalog i bržim ovladavanjem potrebnim znanjima na kojima će se sve više temeljiti opšti tehnološki razvoj u vremenu koje dolazi. Pomenimo skromno da i redovna savetovanja Proizvodnog mašinstva Jugoslavije služe ovim ciljevima. Na ovom **XIV.** po redu Savetovanju, kao i na svim ranijim, pažnja svih njegovih učesnika je posvećena rešavanju problema koji stoje na putu efikasnog razvoja tehnološko-proizvodnih sistema u našoj industriji za preradu metala.

Na izbor tehnološke koncepcije, odnosno praktičnih tehnoloških rešenja s kojima će biti realizovana neka proizvodnja u datom

proizvodnom sistemu industrije za preradu metala, utiču mnogi faktori. U prvom redu, karakter tehnoloških rešenja mora biti uskladjen s mogućnostima u datom vremenu i prostoru. On je dakle objektivno rezultat okruženja u kojima će se odvijati funkcionisanje nekog proizvodnog sistema. Ipak, izgradjeni proizvodni sistemi moraju biti sposobni da kontinualno dokažu svoje tehnološke kvalitete na tržištu. To znači da moraju, tehnološki posmatrano, implicirati ona projektna tehnološka rešenja, odnosno moraju koristiti onu proizvodnu tehniku koja im omogućuje konkurentnost na tržištu danas i moguću adaptibilnost prema tokovima tehničke tehnološke revolucije sutra. Proizvodno mašinstvo je pozvano da izstrahuje tehnike i metode s kojima se napred navedeni zadaci mogu uspešno rešavati. Ono to i čini, ali je opravdano postaviti pitanje da li intenzitet njegovih aktivnosti treba znatno povisiti u narednom razvojnom periodu.

U oštrm tempu savremenog tehnološkog razvoja, svakodneвно nastaju nove proizvodne tehnike i metode koje se neverovatnom brzinom uvode u proizvodnu praksu industrije za preradu metala. Zbog toga se u okvirima ovog priloga za XIV. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije čini pokušaj da se najpre ukaže na kompleksnost zadataka koji se moraju rešiti tokom izbora optimalne varijante tehnološkog projekta u datom vremenu i prostoru, a zatim ukazuje na neke, po izboru autora, najvažnije razvojne tendencije koje veoma intenzivno osećamo danas i koje ćemo još intenzivnije osećati sutra.

#### 1. Kritički stav u vezi izbora "optimalne tehnologije" u industriji za preradu metala

Potrebno je istaći da u našoj industrijskoj praksi Proizvodno mašinstvo ni u približno potrebnoj meri nije proučilo veoma

složene probleme koje treba rešiti tokom izrade projekata tehnoloških sistema industrije za preradu metala. Nemamo ni razvijenih kriterijuma na osnovu kojih bi se mogla vršiti ocena kvaliteta projekata. Međutim, neosporno je da u razvoju tehnoloških sistema, presudna faza nastaje u toku izrade njihovih projekata. Kvalitativna rešenja ugrađena u projekte, odnosno realizovana tokom izgradnje sistema, determinišu njegove glavne tehničko-ekonomske eksploatacione karakteristike. Zbog toga Proizvodno mašinstvo ima kao jedan od prioritarnih zadataka da istražuje i razvija one praktične modele ili postupke projektovanja koji će u praksi dati najbolja rešenja. Osim toga, potrebno je razviti metodologiju za ocenu kvaliteta tehnoloških projekata.

Problem razvoja kriterijuma za ocenu kvaliteta tehnoloških projekata upravo govori sam za sebe, jer multivarijantnost mogućih rešenja ukazuje koliko nam je u našem daljem razvoju potreban istraživački entuzijazam koji naročito mora doći do izražaja u svim vidovima razvojnih istraživanja.

Ocena kvaliteta tehnoloških projekata je veoma složen zadatak. Pri izgradnji kriterijuma koji bi služili kao podloga za ocenu kvaliteta nekog projekta, moraju se obavezno uzeti u obzir uslovi okruženja koji bitno utiču na formulisanje projektnih zadataka, a zatim na izbor praktičnih projektnih rešenja tokom rada na projektu. Na izbor projektnih rešenja utiču dalje mnogi drugi faktori među koje svakako spadaju i oni koji su u vezi sa:

- mogućnostima za obezbeđenje određenih nivoa (visina) investicionih sredstava,
- mogućnostima u vezi sa obezbeđenjem, odnosno nabavkama odgovarajuće investicione i druge opreme i materijala,
- kadrovskim mogućnostima proizvodnog sistema koji se projektuje,

- tehnološko-ekonomskom razvijenošću sredine u kojoj će proizvodni sistem biti izgrađen,
- mogućnostima u vezi sa obezbeđenjem energije, svih vrsta sirovina neophodnih za rad proizvodnog sistema itd.

Može se tvrditi, s gledišta teorije, da u datom vremenu (programirani period izgradnje i eksploatacije proizvodnog sistema) i datom prostoru (lokacija proizvodnog sistema), postoji sigurno neko projektno rešenje koje se može smatrati optimalnim. U vezi sa ovom tvrdnjom od principijelnog značaja je pitanje: "Kako oceniti stepen optimalnosti projekta? Da li za ovu ocenu postoje ili se mogu razviti prikladne matematičko-analitičke metode?". Nažalost, mora se konstatovati da razvijene teorije u Proizvodnom mašinstvu ne sadrže pouzdan odgovor na ovo pitanje. Razloge treba tražiti u multivarijantnosti projekata tehnoloških sistema u industriji za preradu metala. Ona se može ilustrovati kroz sledeća razmatranja:

Ciljevi tehnološkog projektovanja su u osnovi definisani blok shemom na slici 1. Ova definicija, govoreći jezikom matematike, ukazuje na zaključak da se može definisati i oblik funkcije cilja koja u analitičkom obliku preslikava zadatke koje treba rešiti tokom projektovanja nekog tehnološkog sistema. Funkcija cilja se može komponovati tako što će se poći od stava da u realnim uslovima tehnološki sistem dobija zadatak da u toku nekog vremenskog intervala, naprimer u toku godine dana, izradi "n" finalnih proizvoda u skladu s planovima proizvodnje. Radi izrade ovih proizvoda, u tehnološkom sistemu treba proizvesti određene količine delova (elementarnih komponenti proizvoda) i sklopova, odnosno izvršiti montažne operacije. U vezi sa izvršavanjem ovako definisanih proizvodnih zadataka, može se formulisati ukupno "p" proiz-

vodnih naloga koje treba izvršiti na "n" lokacija obradnih (radnih) mesta. Radna mesta mogu biti mašinska, ručna, montažna i sl. Pri izvršavanju proizvodnih zadataka po na brojem radnom nalogu, ne učestvuju po pravilu svi obradni sistemi - sva radna mesta. Dakle, na svakom radnom mestu broj proizvodnih zadataka "j" može biti:

$$1 \leq j \leq p \quad (1)$$

Polazeći od prethodnog objašnjenja, a u skladu sa definicijom cilja tehnološkog projektovanja pomoću blok sheme na slici 1. može se definisati i matematički oblik funkcije cilja pri projektovanju odgovarajućeg tehnološkog sistema. U ovom slučaju funkcija cilja bi imala sledeći oblik:

$$T = \sum_{k=1}^p n_{1k} \cdot t_{1k} + \sum_{k=1}^p n_{2k} \cdot t_{2k} + \dots + \sum_{k=1}^p n_{ik} \cdot t_{ik} + \dots + \sum_{k=1}^p n_{mk} \cdot t_{mk} \rightarrow \min$$

U pojedinim zbirovima proizvoda  $n_{ik} \cdot t_{ik}$  u funkciji cilja (2) označeno je sa:

$n_{ik}$  - broj zadataka (operacija) koje se na i - tom radnom mestu treba da izvrše tokom izvršavanja k-tog radnog naloga, i

$t_{ik}$  - troškovi u vezi sa izvršavanjem na i-tom radnom mestu jedne operacije iz k-tog radnog naloga.

Sa prednjim objašnjenjem, vrednost T u funkciji cilja (2) označava ukupne troškove obrade "n" proizvoda u definisanom tehnološkom sistemu. Uslov je pri tome da relevantni sistem ispunjava i druge savremene kvalitativne zahteve (uslovi rada, kvalitet proizvoda).

Za praksu projektovanja tehnoloških sistema, fundamentalni značaj dobijaju zaključci koji proizilaze iz matematičkog značenja funkcije cilja (2): Broj kombinacija za numeričke vrednosti proizvoda  $n_{ik} \cdot t_{ik}$  je veoma veliki - praktično beskonačan, što znači da i funkcija cilja ima praktično beskonačan broj rešenja,

ili broj mogućih varijanti projekta je beskonačan. Ovakav zaključak proizilazi iz kritičke analize pojedinih numeričkih veličina u funkciji cilja (2). Naime, za svaku operaciju (fazu izrade proizvoda) pri izvršavanju ma kojeg radnog naloga, mogu se koristiti različita tehnološka rešenja, tj. različite tehnološke mašine, jer njih nudi savremena tehnologija, odnosno proizvođači tehnoloških mašina. I dalje, zbog različitih tehnoloških rešenja koja mogu biti korišćena u tehnološkom sistemu za obradu definisanog skupa od "n" proizvoda (veze 1 i 2), ukupan broj operacija (faza) se menja. Svaka pak varijanta tehnološkog rešenja, menja odgovarajuće fazne - operacijske troškove  $t_{ik}$  što i ima za posledicu praktično neograničeni broj varijantnih rešenja za funkciju cilja projektovanja (2).

Opravdano je, u vezi sa prethodnim razmatranjem, postaviti sledeće pitanje:

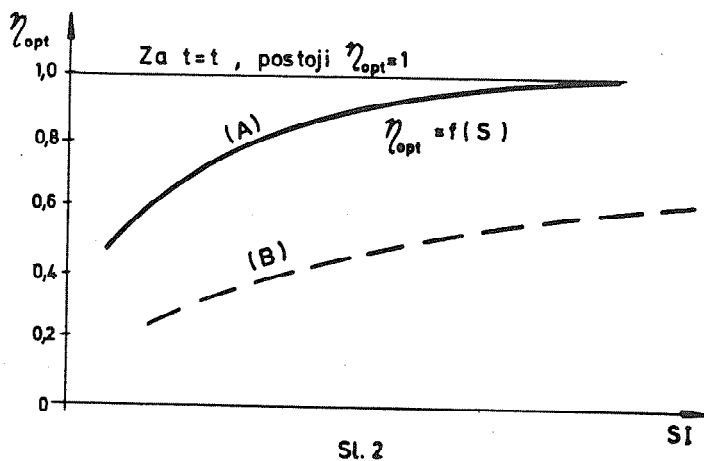
- Da li je moguće matematički opisati nivo tehno-ekonomske optimiziranosti projekta tehnološkog sistema kojeg treba izgraditi radi izrade definisanog asortimana proizvoda ?

Očigledno je da je u realnim uslovima to nemoguće. Razlozi su:

- Svakom usvojenom projektnom rešenju u datom vremenu i prostoru konkuriše drugo manje ili više optimalnije projektno rešenje koje projektantu tehnološkog sistema može biti poznato ili ne,
- Projektant ili tim projektanata je uvek omedjen (ograničen) svojim projektnim (stručnim) sposobnostima, odnosno svojim znanjem ili "stepenom informisanosti-SI", i
- Prostor i vreme u kojem se realizuje projekt tehnološkog sistema, uslovljava odgovarajuća (makar kakve optimalnosti) operativna projektna rešenja.



Na projektovanje i izgradnju tehnološkog sistema utiče neosporno mnoštvo različitih faktora, te je svrsishodno s gledišta teorije razvojno-istraživačkih procesa, ilustrovati pomoću krive dijagrama na slici 2. zakonitost postupka približavanja optimalnom projektnom rešenju nekog tehnološkog sistema.



Sl. 2

Ordinatom dijagrama na slici 2. označen je stepen optimalnosti projekta sa  $\eta_{opt}$ . U skladu sa oznakama na dijagramu:

- U datom vremenu  $t = t_0$  teorijski postoji samo jedno projektno rešenje tehnološkog sistema za koje stepen optimalnosti ima maksimalnu vrednost tj.  $\eta_{opt} = 1$ .

Na apscisi dijagrama na slici 2. nanet je stepen informisanosti SI projektanata. Ovaj stepen preslikava njihov stručni nivo. On je u direktnoj vezi sa stepenom njihovog stručnog obrazovanja i mogućnostima praćenja najnovijih informacija relevantnih za projektovanje tehnoloških sistema.

Prema slici 2. kriva dijagrama dobija priraštaj u pozitivnom smeru sa porastom stepena SI, pa se tako može očekivati da će funkcija cilja(2) davati sve povoljnija rešenja sa porastom stepena informisanosti (SI) projektanata datog tehnološkog sistema.

Funkcija cilja (2) ima minimalnu vrednost za  $\eta_{opt} = 1$ . Međutim, za probleme koji se razmatraju u ovom radu bitne su sledeće tvrdnje:

- (1) Za ma koje projektno rešenje izabranog tehnološkog sistema koje se može preslikati jednom od koordinata krive dijagrama na slici 2, nije moguće kvantifikovati vrednosti odstupanja od rešenja označenog sa  $\eta_{opt} = 1$ .
- (2) Mada su vrednosti ordinata na krivi dijagrama hipotetične kao i vrednost za  $\eta_{opt} = 1$ , sigurno je da sa porastom vrednosti za SI raste kvalitet projektovanja, odnosno kvalitet projektnih rešenja, pa se dalje sa sigurnošću može tvrditi da se tako kriva dijagrama asimptotski približava pravi optimuma definisanoj sa  $\eta_{opt} = 1$ .

Prethodne tvrdnje su bez sumnje veoma značajne za razvoj praktičnih modela projektovanja tehnoloških sistema. Kako na optimizaciju tehnoloških sistema utiče niz različitih faktora, potrebno je izdvojiti one faktore čiji su uticaji dominantni, pa tokom rada na projektu u prvom redu težiti iznalaženju optimalnih rešenja za ove "izdvojene" faktore. Tako se vrši svojevrsna klasifikacija i sortiranje uticajnih faktora prema njihovim redovima veličina kojima utiču na optimizaciju tehnološkog sistema.

Ovako izdvojene uticajne faktore treba složiti - sortirati po njihovom značaju i to počev od najznačajnijih pa dalje i njih treba označiti kao "grupu primarnih faktora", jer je očigledno da se optimizacijom ovako izdvojenih primarnih faktora, bitno utiče na optimizaciju tehnološkog sistema u celini.

Ako se projektanti pridržavaju u svojoj metodologiji projektovanja ovih osnovnih pravila, oni će ispuniti glavne uslove koji će garantovati da se njihov proces projektovanja tehnološkog

sistema sa gledišta optimizacije, može preslikati krivom (A) dijagrama na slici (2). U suprotnom, proces projektovanja biće preslikan linijom kvaliteta tipa krive (B) koje na dijagramu prema slici (2) moraju apsolutno ležati ispod krive kvaliteta tipa (A). Prema tome, respektujući prethodna razmatranja, mogu se postaviti sledeća dva osnovna pravila koja karakterišu aktivnosti projektovanja tehnoloških sistema:

- (1) Aktivnosti u vezi sa projektovanjem tehnoloških sistema karakterišu informacioni procesi, te iznalaženje optimalnih projektnih rešenja zahteva visok intenzitet prikupljanja, obrade i korišćenja relevantnih informacija, i
- (2) Da bi se procesi projektovanja tehnoloških sistema odvijali u okvirima zakonitosti kojima se obezbeđuje približavanje kvaliteta projektnih rešenja tački optimuma (kriva A dijagrama na slici (2)), neophodno je istražiti i definisati primarne uticajne faktore.

Kvalitet projekata tehnoloških sistema, shvaćen u kontekstu prethodnih izlaganja, predstavlja težišni cilj naučno-istraživačkog rada u proizvodnom mašinstvu. Polazeći od prethodnih zaključaka, mogu se definisati i neki važni smerovi istraživanja u području optimizacije tehnoloških sistema. Dva smera su svakako najvažnija. To su:

- (1) Razvoj obradnih sistema (alatne ili opšte uzev tehnološke mašine) i optimizacija njihovih tehno-ekonomskih karakteristika prema proizvodnim zadacima u našim uslovima.
- (2) Razvoj samih tehnoloških sistema (pogona) koji će biti manje ili više specijalizovani za određene tehnologije, sposobni za visok intenzitet eksploatacije, optimalni period amortizacije i sposobnost adaptacije prema tokovima tehničko-tehnološkog razvoja.

## 2. Nove tehnike i tehnologije u industriji na preradu metala

Prema BIAM nove tehnike i tehnologije (ili kraće tehnologije) za industriju prerade metala obuhvataju NUMA-sisteme, robote, kompjuterske i software sisteme. Sve četiri navedene celine imaju zajedničko to da se grade sa sve većim učešćem veštačke inteligencije u njima. Ugradnja i korišćenje veštačke inteligencije u pojedine celine kao i njihovo povezivanje treba da obezbede kibernetiku automatizaciju proizvodnih sistema ili njegovih delova.

Saglasno JUPITER-konceptu proizvodnog sistema kao hijerarhijske strukture sa više nivoa, u poslednjih pet godina je dosta precizno definisan čitav niz sadržaja u tom prostoru. Sigurno da praktičan doprinos ovom konceptu predstavlja i otvoreni Centar za nove tehnologije i NU-tehnologiju na Mašinskom fakultetu u Beogradu. Pokrenut strateški projekat "Istraživanje i razvoj novih proizvodnih tehnika, proizvodnih tehnologija i metoda upravljanja (proizvodna kibernetika) za industriju prerade metala /3/ ima za cilj da se u narednom srednjoročnom programu razvoja(1981.-1985.) izvrši kompleksan prodor u ovu oblast i omogući reindustrializacija našeg metalnog kompleksa. To predpostavlja i adekvatno povezivanje istraživačko-razvojnog rada u industriji sa naučnim radom na fakultetima i institutima.

Stratifikacijom proizvodnog sistema na tri nivoa: upravljanje, projektovanje i pogon, moguće je vršiti analizu svakog od njih sa obzirom na nove tehnologije.

U ovom delu naš je poseban interes za delatnost projektovanja. Za ovo opredeljenje razlozi mogu da budu suštinski kao i meto-

določki. Naše je uverjenje da su dominantni suštinski razlozi koji onda uspostavljaju i niz metodoloških pitanja.

Pre svega projektovanje obuhvata dva vitalna dela ukupnog inženjerskog sistema, a to su:

- projektovanje proizvoda, i
- projektovanje za proizvodnju.

Projektovanje proizvoda postaje sve snažniji proces iz razloga što se postavljaju sve oštriji uslovi u pogledu njegovog funkcionisanja i ponašanja u eksploataciji kao i zbog toga što se užurbano vrši proširenje proizvodnog asortimana kroz nove industrijske oblasti ili nove tehnologije. Nije potrebno isticati industrije kao što su solarna, nuklearna, naftna, avio, sateliti, kompjuteri, ploveće platforme itd.. Medjutim, ono što je naročito značajno to je da i one klasične industrije kao što su industrija mašina alatki, alata, automobila, poljoprivrednih mašina, procesna onrema itd., beleži suštinsku promenu. Koji su to procesi projektovanja koji treba da se razviju da bi se ostvario novi koncept vozila koje će imati specifičnu minimalnu potrošnju goriva i visoku ekonomiju količine i cene materijala uz sigurnost i trajnost, ili, koji je koncept proizvodnih sistema (mašina alatki, transportnih sredstava itd.) da bi se ostvarile maksimalne ekonomije vremena, materijala i energije uz ostvarenje zadatih funkcionalnih uslova za jedan proizvod.

Projektovanje za proizvodnju obuhvata ukupne aktivnosti koje se odnose na projektovanje tehnoloških procesa za jedan deo ili proizvod. Na sličan način i ovde može da se rezonuje, s tim što je pojava numerički upravljanih mašina alatki dovela do novog koncepta projektovanja tehnoloških procesa primenom programiranih jezika.

Projektovanje proizvoda i tehnologije se prvo razmatra kao jedinstven proces, tako da i inženjeri koji rade na tim poslovima treba da poseduju zajedničke osobine.

Vraćajući se na definiciju proizvodne snage rada (PSR),

- veština radnika,
- nauka i tehnologija,
- PSR ~ - sredstva rada,
- okruženje,
- društvena organizacija procesa proizvodnje,

može se izvršiti dalje preciziranje za projektantske aktivnosti. Projektant za izvršenje svojih zadataka poseduje znanje, veštinu i stav. To znači da se projektant nalazi u prostoru znanja, intelektualnih mogućnosti i temperamenta. Sistem obrazovanja projekatanta treba da omogući stvaranje ravnoteže između ovih tri prostora.

Nauka i tehnologija za oblast projektovanja se naglo razvila. Ako se dodaju sredstva rada za projektovanje, onda se može reći da ove dve komponente proizvodne snage rada čine osnovu u definisanju mesta i uloge projektanta proizvoda i tehnologije.

Utvrdjivanje nauke i potrebnih stručnih oblasti za jednog projektanta proizvoda ili tehnologija predstavlja dosta složen posao. Uzmimo kompleks nauka. Različite oblasti inženjerstva predstavljaju korišćenje raznih naučnih disciplina. Nije namera da za mašinstvo navodimo potrebne oblasti, već da izdvojimo samo one koje predstavljaju poseban interes.

Po našem mišljenju u osnovi novog trenda razvoja nalazi se kibernetička nauka koja u osnovi ima sisteme sa upravljanjem i komuniciranjem između ljudi, životinja i mašina. Automatizacija je

se druge strane primenjena kibernetika. Ne ulazeći u naučne metode koje koristi kibernetika, ovde se ističu samo neki od sadržaja. Na prvom mestu su razvijene sistem teorije i veštačka inteligencija.

Veštačka inteligencija predstavlja danas najznačaniji deo kibernetike i obuhvata u osnovi metode za rešavanje problema i nauku o kompjuterima. Na ovaj način dolazimo u sferu nauke o kompjuterima koja obuhvata jezike, programiranje i bazu podataka. Ovo sve daje osnovu da se pristupi projektovanju složenih sistema koji pokrivaju čitave oblasti čovekove aktivnosti.

Uzmimo za primer samo dva elementa iz procesa projektovanja, i to: geometrijsko modeliranje i banke podataka.

Geometrijsko modeliranje, predstavlja osnovu za projektovanje proizvoda, projektovanje tehnološkog postupka i manipulaciju delovima u procesu izrade i montaže. U prva dva slučaja se radi o procesima projektovanja, a u trećem o manipulaciji sa robotima.

Za geometrijsko-tehnološko modeliranje razvijen je čitav niz jezika koji su dovedeni do praktične rutinske upotrebe. S druge strane, ostao je čitav niz nerešenih problema. Razloge za ovakvo stanje treba tražiti u činjenici da smo suočeni sa nizom ograničenja sredine i kojoj se ovo odigrava. Izabrana su po našoj oceni najvažnija ograničenja veličina i dinamika proizvodnih sistema. Problemu veličine razvijenih proizvodnih sistema se ne poklanja dovoljna pažnja. Naime, današnji nivo razvoja industrije ukazuje da se radi o super velikim sistemima koji se rasprostiru u velikom prostoru. Super veliki sistemi obuhvataju veliki broj ljudi sa njihovim aktivnostima, mašine i drugu opremu, energetske tokove, tokove materijala, tokove i rad proizvoda, komunikacije i okruženje.

S druge strane stalne promene u vremenu (dinamika sistema) još više uslovljava problem. Ovako shvaćen okvir u kome se vrši projektovanje proizvoda i tehnologija sigurno da pokazuje veliki prostor ~~tera~~ in cognita. Zbog toga se pribegava parcijalnim rešenjima uz sve veći napor da se izvršene i određene generacije. U ovom prostoru se vrše danas istraživanja kroz nekoliko doktorskih radova.

Drugi primer se odnosi na banke podataka. Ovo pitanje je direktno uslovljeno gore navedenim postavkama koje se ovde još više usložavaju. Ukupan problem ima dve strane iste medalje.

Jedan kompleks pitanja se odnosi na sisteme za organizaciju podataka i njihovo procesiranje. Za to postoji do sada razvijen čitav niz sistema koji kod nas nisu dovoljno primenjeni ili pak ranije razvijene primene za pojedine oblasti. Ovde se pre svega misli na oblast projektovanja proizvoda i tehnologije. Iako se već duže vremena o ovome problemu razgovara, mi do sada nemamo postavljen i proveren opšti koncept tehnološke banke podataka. S druge strane, podaci koji se prikupljaju kao i njihova veza predstavlja ogroman posao. Način na koji se to radi pretili da se brzo suočimo sa fenomenom "informacionog zagadjenja". Zbog toga je značajno razrešenje sistema za tehnološke banke podataka. I ova oblast je predmet doktorskih i magistarskih radova.

Za projektovanje su razvijena sredstva rada na bazi kompjutera. Prostor projektanta proizvoda i tehnologije je ispunjen drugim sredstvima rada. Tu su pre svega magnetne table(tableti), ekranske jedinice za interaktivan rad kao i crtaće table(ploteri). Ovakva projektantska stanica je uspostavljena u Centru



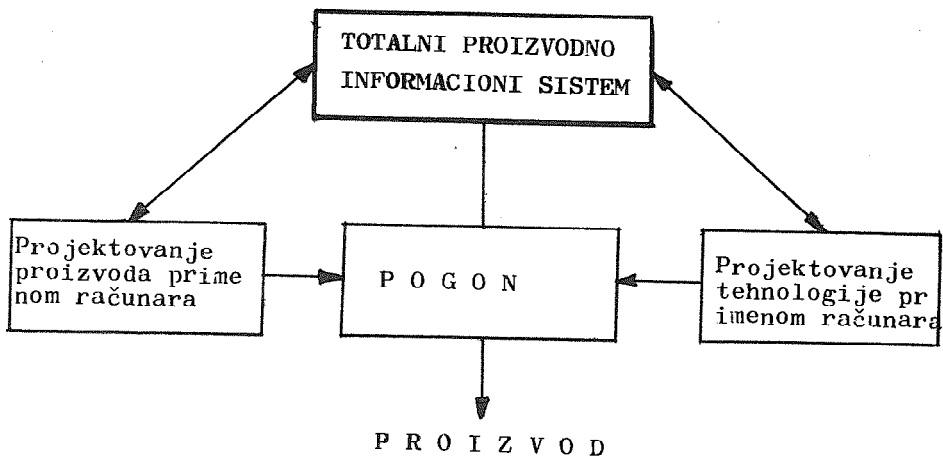
za nove tehnologije na Mašinskom fakultetu u Beogradu.

Pod okruženjem se podrazumeva okruženje bazne i šire okoline. Bliža okolina obuhvata prostor unutar jednog sistema, dok pod širom okolinom podrazumevamo složenije granske i reprodukcione celine.

Uvodjenjem numeričkog upravljanja kao i programa proizvodnje višeg tehnološkog nivoa, su pretpostavke da okruženje deluje na novi pristup u projektovanju. S druge strane, povezivanje sa istraživačkim centrima kao i inostranim partnerima je druga grupa pretpostavki za pozitivan uticaj okruženja.

Društvena organizacija procesa proizvodnje zaslužuje posebno pažnju sa stanovišta utrdjivanja medjusobnih veza izmedju upravljanja-projektovanja izrade odredjenih proizvoda. Menjanjen sadržaja i metoda rada projekatnata znatno će olakšati potpunije sagledavanje ukupne organizacije procesa proizvodnje i njene društvene aspekta.

Zalažući se za ovakav pristup predložen je i ukupan koncept istraživanja i razvoja u ovoj oblasti koji je dat na slici 3.

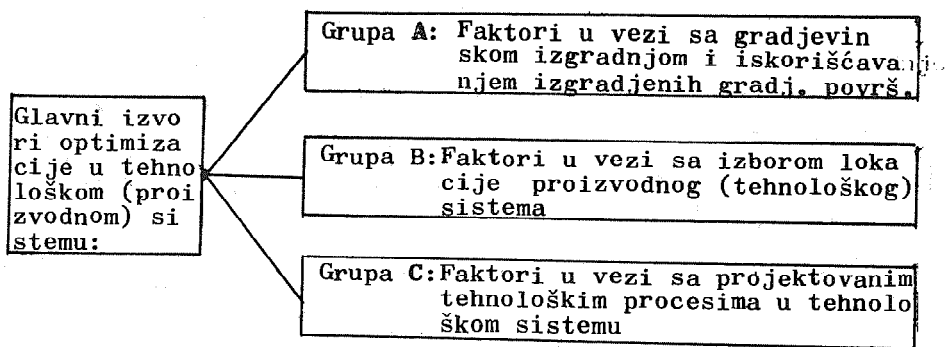


Sl. 3

Pod nazivom JUPITER-sistem pojedini delovi ove strukture su u poodmakloj fazi istraživanja ili razvoja ili primene dok pre-dstoji u narednom desetogodišnjem periodu njegov dalji razvoj.

### 3. Osvrt na neke opšte metode optimizacije tehnoloških sistema

Polazeći od stava da se optimizacija tehnoloških sistema temelji na uskladjivanju tehničko tehnoloških i ekonomskih zahteva, mogu se za dati kvalitet tehnološkog sistema, u prvi plan istaći tri osnovna područja ili grupa faktora kao izvora optimizacije tehnoloških (proizvodnih) sistema - sl. 4



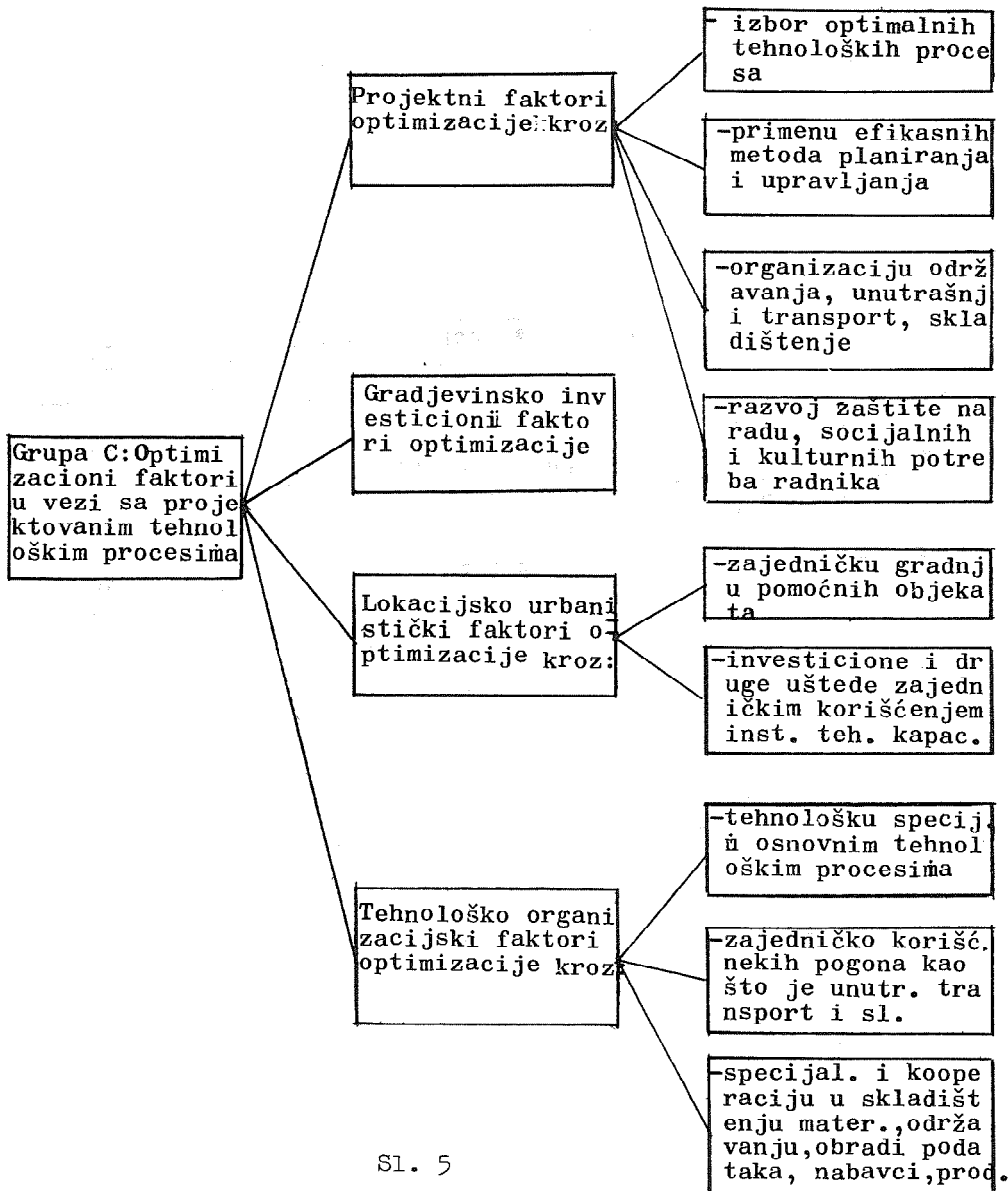
Sl. 4

Obzirom na karakter ovog rada, u daljem rasmatranju se vrši ograničenje samo na prirodu optimizacionih faktora grupe C. Daće se njihova detaljnija struktura da bi se u tim okvirima istakla samo neka opšta razvojna rešenja.

Struktura faktora grupe C se ilustruje uz pomoć blok sheme na slici 5. Neosporno je da su svi optimizacioni faktori prikazani na slici 5 veoma značajni za rezultate optimizacije tehnoloških sistema. Sa gledišta projektovanja tehnoloških sistema, izdvajaju

se međjutim dva faktora. To su:

- (1) Faktor izbora optimalnih tehnoloških procesa, i
- (2) Faktor tehnološke specijalizacije u osnovnim tehnološkim procesima.



Prvi faktor je opšti i o njemu je bilo govora u prethodnom tekstu. Što se tiče drugog faktora, on danas predstavlja veliki izazov.

Tehnološka specijalizacija ima za cilj povišenje serijnosti proizvodnje. To je osnovna pretpostavka i uslov za značajnije povišenje produktivnosti rada. Korišćenjem koncepta grupne tehnologije dobija se praktični tehnološko organizacioni metod ili postupak za primenu zakona velikoserijske u maloserijskoj i pojedinačnoj proizvodnji. Uopšte uzev, metode grupne tehnologije su danas najpouzdanija naučna osnova za tehnoekonomsku optimizaciju tehnoloških sistema ito kako onih za preradu materijala tako i onih za preradu informacija.

Značaj koncepta ili metoda grupne tehnologije je višestran. Njegovom primenom rešavaju se zadaci kao što su:

- (1) Minimizacija fiksnih (investicionih) troškova po jedinici realizovane proizvodnje,
- (2) Minimizacija tekućih "proporcionalnih" troškova po jedinici ostvarene proizvodnje,
- (3) Podiže se kvalitet tehnoloških procesa, a time i izradjenih proizvoda, i
- (4) Podiže se efikasnost tehnoloških sistema za obradu konstrukcijskih, tehnoloških i operativno planskih informacija u proizvodnom sistemu.

Na konceptu grupne tehnologije se temelji izgradnja savremenih viskospecijalizovanih tehnoloških sistema za preradu materijala i informacija. Tako se realizuju osnovne pretpostavke za:

- (1) Postizanje visokog intenziteta korišćenja instalisanih tehnoloških kapaciteta,

- (2) Povišenje tempa amortizacije tehnološke opreme, i  
 (3) Obzirom na prethodne efekte, tehnološki sistemi izgradjeni na konceptu grupne tehnologije, pokazuju visoku sposobnost adaptacije prema tokovima tehničko tehnološkog razvoja.

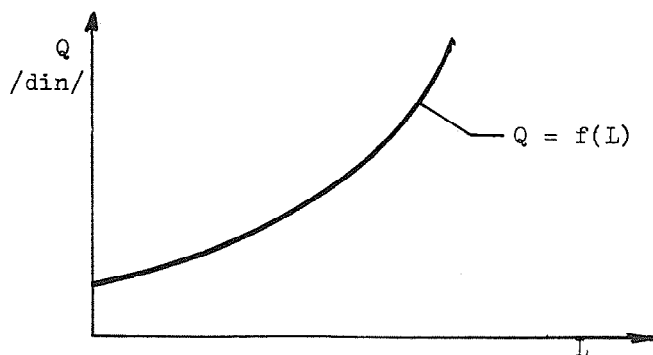
Značaj ovih rezultata u tehnološkim sistemima izgradjenih na konceptu grupne tehnologije, ogleda se u sledećoj osnovnoj analitičkoj interpretaciji uticaja investicionih ulaganja na ekonomsku efikasnost tehnološkog sistema.

Tehnološki sistemi u industriji za preradu metala postaju sve više investiciono intenzivni zbog čega njihova izgradnja zahteva ulaganje sve većih investicionih sredstava po jednoj lokaciji obradnih sistema. Istraživanja pokazuju /3/, da sa povećanjem obradnih mogućnosti i tehničkog nivoa obradnih sistema, ukupna investiciona ulaganja rastu po zakonitosti koja se može izraziti funkcijom oblika (3)

$$Q = a_1 \cdot L^{m_1} + a_2 \cdot L^{m_2} + \dots + a_j \cdot L^{m_j} \quad (3)$$

gde je  $Q$  - iznos ukupnih investicionih ulaganja tokom nabavke i instalisanja u pogonu odgovarajućeg obradnog sistema,  $L$  - je veličina koja karakteriše njegove obradne mogućnosti i tehnički nivo, a  $m_1$  i  $a_1$  su koeficijenti.

U koordinatnom sistemu ( $Q$ ,  $L$ ) funkciju (3) preslikava kriva dijagrama na slici 6.

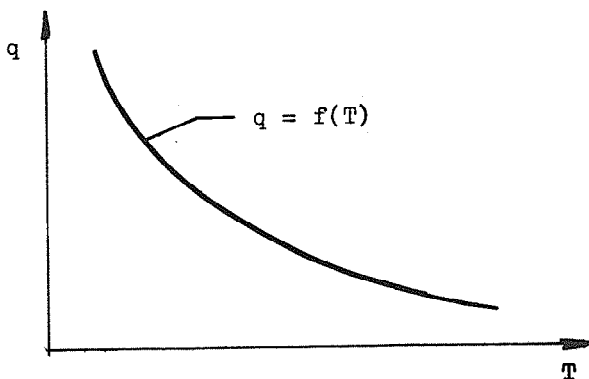


sl. 6

S druge strane, troškovi eksploatacije ovakvih obradnih sistema se mogu izraziti preko veze oblika (4).

$$q = \frac{Q}{T^n} \quad (4)$$

gde je  $q$  (din/NS)-fiksni troškovi obradnog sistema po jedinici vremena u kojem se vrši njegova eksploatacija,  $T$ -vreme u satima, a  $n \leq 1$ . Vrednosti za  $q$  opadaju kada raste broj sati  $T$  za koje se obradni sistem nalazi u radu - kriva dijagrama na slici 7.



Sl. 7

Prethodna rasmatranja ukazuju na zakonitu težnju ka maksimiranju vrednosti vremena  $T$  efektivnog korišćenja obradnih sistema. To je moguće samo u specijalizovanim tehnološkim sistemima, odnosno tehnološkim sistemima organizovanim na principima grupne tehnologije, pri čemu je veoma važno da se ima u vidu još i ukupni eksploatacijski stepen iskorišćenja obradnog sistema /6/.

Koncept grupne tehnologije se realizuje u praksi kroz projektovanje i izgradnju specijalizovanih višepredmetnih tehnoloških linija /8/ ili kako se one u praksi još nazivaju "grupnih tehnoloških linija", "proizvodnih ćelija" i sl.

Razvojem kompjuterske tehnologije koja se manifestuje kroz razvoj numerički upravljanih alatnih mašina, obradnih centara, mašina sa

direktnim kompjuterskim upravljanjem, nastala su nove potrebe ali i nove mogućnosti za primenu koncepta grupne tehnologije u praksi. Posebno povoljne uslove za primenu grupne tehnologije pruža primena elektronskih računara u planiranju i upravljanju grupnom proizvodnjom, obzirom da su ove aktivnosti složenije, jer se zahteva preciznije terminiranje i obrada svih operativno plaćskih podataka u "realnom vremenu".

Neophodno je na ovom mestu skrenuti pažnju našoj stručnoj javnosti na neopravdano zaostajanje u primeni koncepta grupne tehnologije u praksi naše industrije za preradu metala. Razlozi svakako leže dobrim delom u organizacionom prestrojavanju naše industrije u skladu sa zahtevima Zakona o udruženom radu. Međutim, treba očekivati da su ove aktivnosti završene i da sa formiranjem osnovnih organizacija udruženog rada, koje treba da imaju za osnovu tehnološku zaokruženost tehnoloških procesa, stvorena povoljne pretpostavke za stvaralački pristup u rešavanju zadataka u vezi sa racionalizacijom proizvodnje. U ovim aktivnostima će brzo naći svoje mesto i koncept grupne tehnologije za koji je u domaćim naučnoistraživačkim institutima, fakultetima i nekim industrijama akumulirano potrebno iskustvo /4/, /6/.

#### 4. Neka predviđanja i očekivanja razvoja do 2000. godine

Tehnike i tehnologije koje u naše vreme intenzivno deluju na razvoj tehnoloških sistema industrije za preradu metala, po razvojnoj logici uticaće na njihov razvoj sve intenzivnije i u narednih 20 godina. Treba očekivati da će se pojaviti i potpuno nove tehnologije. To je razvojni period u kojem se očekuje da će i naša zemlja višestruko povećati svoje industrijske i opšte privredne potencijale. Većina aktivnih radnika industrije za preradu

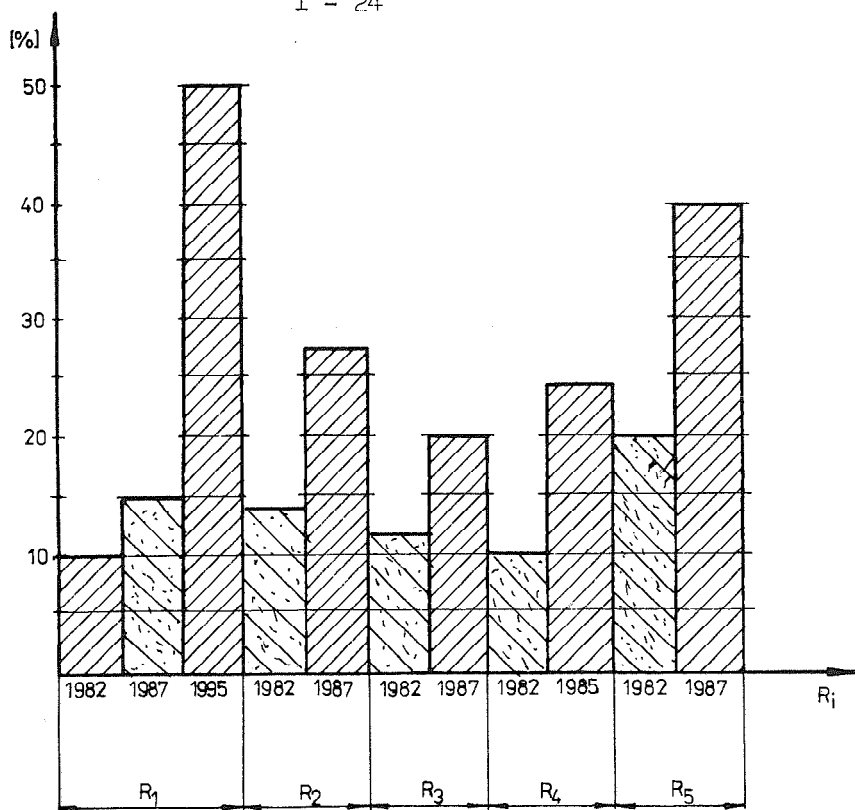
du metala kao i onih radnih organizacija koje svoju delatnost povezuju sa ovom industrijom (instituti, fakulteti,..), biće još u aktivnom radnom odnosu do kraja naznačenog razvojnog perioda. Intenzivan tehnološki razvoj reprodukuje, dakle, mnoštvo različitih problema u vezi sa potrebama kontinualne adaptacije tehnoloških sistema u skladu sa savremenim razvojnim tendencijama s jedne, doškolovanje i prekvalifikaciju njihovih radnika s druge strane.

S kojim karakterističnim tendencijama u razvoju tehnologije, odnosno obradnih i tehnoloških sistema do 2000. godine treba računati? Kakvi nas zadaci u vezi sa ovim razvojem očekuju?

Teško je dati ma i približno zadovoljavajuće odgovore na ovako postavljena pitanja, jer tehničko tehnološki razvoj je po svojoj prirodi takav da se mogu očekivati i mnoga iznenađenja. Zbog toga se pokušava na ovom mestu sa ukazivanjem na segmente zaključaka nekih futurističkih istraživanja sprovedenih u industrijski najrazvijenijim zemljama /1/. Mada se radi o rezultatima istraživanja zasnovanih na konsultovanju izabranih stručnjaka iz raznih razvojnih centara i obradi dobijenih podataka korišćenjem Delphi metode, uz određena kritička ocenjivanja, potrebno je u planiranju daljeg razvoja u punoj meri respektovati naznačena predviđanja.

Na slici 8 i 9 učinjen je pokušaj da se grafičkom interpretacijom kvantifikuju neki segmenti predviđanja. Tako je na slici 8 na horizontalnu osu naneta oznaka  $R_1$  odgovarajućeg razvojnog trenda sa oznakom godine u kojoj se očekuje njegov odgovarajući intenzitet. Ordinate predstavljaju intenzitete izražene u procentima pa pojedini stubovi dijagrama sažeto ilustruju očekivani razvoj za odgovarajući razvojni trend  $R_1$ .





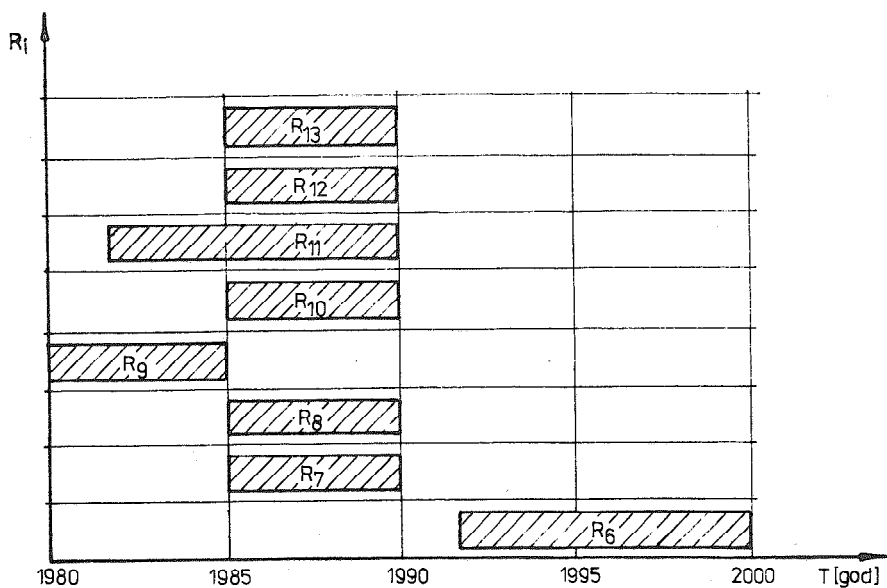
Sl. 8

Na dijagramu slike 9 je pak na apscisnu osu naneto vreme u godinama tako da ucrtani horizontalni grafovi pokrivaju vremenski period u kojem se očekuje realizacija odgovarajućeg razvojnog trenda  $R_1$ .

Razvojni trendovi  $R_1 - R_{13}$ , ilustrovani grafovima na slikama 8 i 9, odnose se na predviđanja sledećih segmenata u tehničko tehnološkom napredovanju:

$R_1$  - udeo proizvodnje alatnih mašina sa numeričkim i kompjuterskim upravljanjem koje će biti opremljene uređajima za potpuno automatsko manipulisanje materijalom i alatima.

$R_2$  - udeo proizvodnje novih alatnih mašina sa numeričkim upravljanjem za obradu materijala bez rezanja.



Sl. 9

- R<sub>3</sub> - procenat od ukupnih investicija za obradne sisteme koje će trebati uložiti za uređaje namenjene automatskom manipulisanju sa obrazcima - materijalom.
- R<sub>4</sub> - u ukupnoj proizvodnji alatnih mašina, udeo alatnih mašina sa adaptivnom kontrolom tačnosti obrade - mašine će imati ugrađene senzore za automatsko podešavanje prema tolerancijama obratka.
- R<sub>5</sub> - udeo kvarova na alatnim mašinama, odnosno obradnim sistemima koji će biti otkriveni i dijagnosticirani pomoću "on line" software sistema.
- R<sub>6</sub> - biće realizovani potpuni "on line" automatski sistemi za upravljanje i automatizaciju rada kompletnih tehnoloških sistema (pogona).
- R<sub>7</sub> - biće proizvodne alatne mašine koje će biti "sposobne" da na osnovu podataka o geometriji dela izvrše njegovu potpunu automatsku obradu, pri čemu proces obrade same odredjuju.

- R<sub>8</sub> - 75% svih alatnih mašina biće proizvedeno na osnovu konstrukcijske informacije (konstrukcijska dokumentacija i sl.) koja će biti obradjena kroz interaktivni dijalog primenom interaktivne grafike na računaru.
- R<sub>9</sub> - 75% svih preduzeća u industriji za preradu metala će primenjivati grupnu tehnologiju.
- R<sub>10</sub> - repromaterijali iz kojih se izradjuju delovi biće tako homogeni da će u odnosu na zadate kvalitete odstupati za najviše 5% čime će se otkloniti veoma česti poremećajni faktori u tehnološkim procesima.
- R<sub>11</sub> - primenom novih materijala za rezne alate, brzine rezanja alatima sa definisanom geometrijom sečiva biće povećana na 1200 - 1800 m/min.
- R<sub>12</sub> - brzine rezanja pri obradi brušenjem će biti povišene tako da će dostići i do 300 m/sec.
- R<sub>13</sub> - postupcima obrade brušenjem biće zamenjeno do 25% sadašnje obrade koja se odvija struganjem, glodanjem, rendisanjem i sl. Uslov: da energija ne bude neprihvatljivo skupa obzirom na veću potrošnju energije pri obradi brušenjem.

U pogledu prognoziranja budućnosti treba dalje istaći:

Već sada razvijene komponente za automatizaciju koje se serijski proizvode kao i veoma intenzivan tempo razvoja koji je u toku, omogućuju ili će omogućiti praktično automatizaciju svih rutinskih radova. U industriji za preradu metala to će dovesti do prave revolucije u pogledu zapošljavanja i u promeni strukture zaposlenih.

Očekuje se da će 1990.godine min. 25% tehnoloških sistema biti opremljeno inteligentnim robotima koji će biti u stanju da zame-

ne radnike na većini proizvodnih radnih mesta. Međutim, revolucionarne promene se očekuju i na planu unapredjenja tehnoloških sistema za obradu informacija. Tako se očekuju da će već 1985. godine biti operativni software paketi programa na osnovu kojih će biti moguće, polazeći od poznatih proizvodnih zadataka - poznate geometrije obratka i sl., izvršiti automatski proračun svih troškova proizvodnje, odnosno izvršiti kompletnu tehnološku pripremu.

Na kraju, očekivani tehnološki razvoj će imati neposredan veliki uticaj na zaposlene u industriji za preradu metala kao i na dalje kretanje procesa zapošljavanja u ovoj industriji. Očekuje se da <sup>će</sup> dalji razvoj pozitivno uticati na mogućnost zapošljavanja rukovodećih kadrova, inženjera i tehničara. Negativno će se međutim odraziti na mogućnost zapošljavanja kvalifikovanih, polukvalifikovanih i priučenih (specijalizovanih) radnika. Zbog toga su takodje važna predviđanja o merama za rešavanje problema u vezi sa pojavom tehnološkog viška medju zaposlenima. Te mere bi imale sledeći redosled:

- Premeštanje radnika na druge poslove,
- doškolovavanje u širokim razmerama,
- odlazak u peniziju, i
- na kraju otpuštanje s posla.

##### 5. Z a k l j u č a k

Tehnika i tehnologija proizvodnog mašinstva su danas i biće i u buduće temelj i okosnica industrijskog i ukupnog tehničko tehnološkog razvoja. Bez napretka tehnologije u gradjenju mašina, ne može se očekivati ni napredak u rešavanju takvih zadataka kao što je proizvodnja energije, sirovina, hrane i razume se svih

drugih industrijskih proizvoda. Zbog toga je zadatak kompleksa nauka koje pripadaju proizvodnom mašinstvu izuzetno složen i mnogostran.

Neophodno je obezbediti onaj trend u našem napredovanju koji će stimularati razvoj inteligetnih i veoma svrsishodnih rešenja u konstrukciji obradnih sistema, alata i pribora, a zatim u projektovanju tehnoloških procesa, projektovanju i izgradnji, odnosno eksploataciji tehnoloških i proizvodnih sistema.

Potrebno je svim merama podsticati stvaralaštvo. Kreativne snage treba motivisati i organizovati. Razvijati entuzijazam i optimizam u svakodnevnim aktivnostima usmerenim rešavanju naših razvojnih ciljeva.

Naše ambicije u tehnološkom i privrednom razvoju ćemo moći uspešno realizovati samo ako budemo koristili tekovine savremene nauke. To znači da moramo organizovati procese permanentnog obrazovanja. Ovim procesima moraju biti obuhvaćeni svi: Od radnika na univerzitetima i naučnoistraživačkim institutima pa do radnika na rukovodećim i proizvodnim radnim mestima u industriji. Radne organizacije u privredi, očekuju u ovom pogledu veliki zadaci.

Što se tiče naših neposrednih zadataka, a naročito onih na planu razvojnih i primenjenih istraživanja, čini se da su oni dobrim delom indicirani na prethodnim stranicama ovog priloga. Velika Zajednica proizvodnog mašinstva Jugoslavije raspolaže impresivnim potencijalima s kojima je sposobna da rešava veoma složene zadatke. Uslov je zato da se ujedine naponi koji će omogućiti da se naši raspoloživi resursi na najbolji način koriste. Mora se neprekidno ukazivati na imperitive savremenog industrijskog

razvoja koji obuhvataju:

- Izgradnju specijalizovanih, odnosno tehnološki i ekonomski veoma efikasnih tehnološko proizvodnih sistema.
- Udruživanje napora u rešavanju razvojnih zadataka. Već je danas svakome jasno da osamostaljivanje i stabilizacija našeg industrijskog razvoja, zahteva osvajanje proizvodnje niza proizvoda koje sada uvozimo. To će biti moguće ako udružimo znanje sa materijalnom bazom, razvijemo potrebne kapacitete u istraživanju, konstrukciji proizvoda i projektovanju tehnoloških procesa za njihovu izradu. Biće potrebno razviti mnoge nove zajedničke i specijalizovane razvojne funkcije u našoj industriji, odnosno zajedničke razvojne i proizvodne centre za pojedine industrije (slične ideje se realizuju na Zapadu, npr. "Elektronikapplicationpool" i sl.). Dakle, koncept tehnološke specijalizacije i grupne tehnologije biće potrebno primeniti na širokom planu razvojnih aktivnosti.
- Moramo ići onim putevima razvoja koji će garantovati veoma odgovorno investiranje ito kako u nove tako i u modernizaciju već izgrađenih tehnoloških sistema. Na planu optimizacije investicionih ulaganja, nalaze se značajne mogućnosti za naš ubrzani privredno ekonomski razvoj.

Najzad, veoma je važan zadatak da se u našoj Zajednici borimo za prihvatanje naših stručnih stavova, jer smo ubedjeni da time doprinosimo našem ukupnom privrednom i društvenom razvoju. Mi smo, rekli bismo, dužni da raznim sredinama i forumima u našem društvu ukažemo na imperitive koje pred naše društvo postavlja tehničko tehnološki razvoj. Time ćemo mi kao Zajednica proizvodnog mašinstva i pojedinci celishodno doprineti i postizanju proklamova

nih ciljeva našeg društva u okviru politike privredne stabilizacije i planova našeg daljeg ukupnog razvoja.

## 6. L i t e r a t u r a

- /1/ Colding B., Colwell L.V., Smith D.N., Zukunftstudie über Fertigungssysteme und-verfahren, Werkstatt und Betrieb 112(1979)5
- /2/ Guttropf W., Industrial Handling 1980., Technische Rundschau, Nr.21(1980)
- /3/ Milačić V., Gligorijević Z., Istraživanje i razvoj novih proizvodnih tehnika, proizvodnih tehnologija i metoda upravljanja (proizvodna kibernetika) za industriju prerade metala, Strateški projekt CePTI 00-01, Knjiga XX, Mašinski fakultet Beograd, (1980)
- /4/ Peklenik J., Grum J., Prispjevek k automatizaciji klasificiranja geometričnih informacij v proizvodnji, Zbornik saopštenja sa VIII Simpozijuma Upravljanje proizvodnjom u industriji za preradu metala, Beograd (1978)
- /5/ Šolaja V., Milačić V., Nove tehnologije i produktivnost u industriji prerade metala, Zbornik radova na simpozijumu BIAM -Zagreb (1980)
- /6/ Urošević S., Tipska i grupna tehnologija u metalnoj industriji, Priručnici IAMA br.1(1967)
- /7/ Urošević S., Neki problemi optimizacije tehnoloških procesa ilustrovani kroz parcijalni prikaz stanja u dvanaest domaćih preduzeća mašingradnje, Zbornik saopštenja VI savetovanja o proizvodnom strojarstvu, Opatija(1970), II knjiga.
- /8/ Urošević S., Prilog istraživanju optimalnih parametara višepredmetnih tehnoloških linija za maloserijsku i pojedinačnu izradu delova s osvrtnom na metodu simuliranja opterećenja hipotetičnih tehnoloških linija, Disertacija, Mašinski fakultet Beograd (1972)
- /9/ Urošević S., Tehnološki projekti u investicionim programima, Savremena PRAKSA (10 specijalnih priloga u 1980.godini), Beograd (1980).

S.Urošević, V.Milačić

Einfluss der technisch-technologischen Entwicklung auf die Technologie und der Projektierung der technologischen Prozesse in der Metallverarbeitenden Industrie

Im Beitrag, der als Leitartikel der 14. Beratung der jugoslawischen Produktionstechnik vorbereitet hat, wird das Problem des Einflusses der technisch-technologischen Entwicklung auf der Projektierung der technologischen Prozesse in der Metallverarbeitenden Industrie betrachtet und dementsprechend die zukünftigen Aufgaben diskutiert.

## XIV SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK 1980.

Z.Nikić, A.Višnjić \*)

NEKI AKTUELNI PROBLEMI U OBRADI METALA REZANJEM \*\*)

1. Uvod

Ovo XIV savetovanje proizvodnog mašinstva se održava u vreme kada se ulažu izuzetni naponi za postizanje ekonomske stabilizacije. Nije prvi put da definišemo politiku ekonomske stabilizacije, kao naš prvorazredni zadatak. Pa ipak, sa takvom politikom se suočavamo i danas. Na to utiče više razloga, koje mi, uobičajeno, kvalifikujemo kao objektivne i subjektivne, spoljne i unutarne.

Deo metaloprerađivačke industrije, čiji je osnovni vid rada obrada metala rezanjem, ostvaruje preko 5% ukupnog društvenog bruto proizvoda. S obzirom na tako značajan udeo, sa jedne strane i s obzirom na način ostvarivanja tog proizvoda, moguće je ovu granu industrije uzeti, pri analizi uslova privredjivanja, kao reprezentnu. Drugim rečima, moguće je i, pre svega, potrebno, da ovo naše savetovanje, sa svog aspekta, prema dosadašnjoj tradiciji, nas više motiviše za rad na aktuelnim problemima, da nas više pokrene i okrene na ove naše domaće, tu prisutne, ne male, teškoće.

Sve prisutne merodavne ocene i stavovi o vrlo složenim i ozbiljnim privrednim i ekonomskim problemima, sve kritičke analize dosadašnjih tokova ekonomske stabilizacije, u punoj meri, otuda, odnose se i na nas.

---

\*) Dr Zoran Nikić dipl.ing., stručni savetnik PTF - Čačak  
Aleksandar Višnjić dipl.ing., direktor PRA - Čačak

\*\*) Rad predstavlja deo glavnog uvodnog referata i obradjuje oblast vezanu za obradu metala rezanjem.



Bez namere da se ti stavovi i ocene i novu uslovi pri-vredjivanja parafraziraju, neophodno je dati kraći osvrt na do-sadašnju proizvodno-ekonomsku problematiku i ukazati na neke mo-gućnosti delovanja koje bi mogle biti iskorišćene kao unutrašnje rezerve.

Na jubilarnom X savetovanju proizvodnog mašinstva, održanom u Beogradu 1975.godine, u uvodnom referatu prof.Šolaje je data, pored ostalog, analiza rada u prethodnom periodu, i što je važnije trend i mogućnosti razvoja nekih oblasti u nared-nom petogodišnjem periodu. Sada, po isteku ovog perioda, je mo-guće doneti neke zaključke, koji bi bili polaz za dalji rad.

Pregled istraživačkog rada u periodu 1976. - 79. je dat u uvodnom referatu XIII savetovanja [10] "sa osvrtom na još neke radove iz prethodnih godina". S obzirom na kratak vremenski period od prošlogodišnjeg Savetovanja do danas, nebi bilo oprav-dano davati neki opširniji pregled razvoja obrade i objavljenih radova.

Polazeći od osnovnih postavki referata [1,3] , uzima-jući u obzir komentare u vezi referata [10], na osnovu referata [6] i radova [7,8,9,11,12] biće obradjena samo neka područja istraživačkog rada u obradi metala rezanjem, koja, u dosadašnjim referatima nisu detaljnije razmatrana: fenomen elektromehaničkog habanja. Dalje se u radu razmatraju mogućnosti istraživačkog raz-voja i proizvodnje alata i alatnih materijala na bazi domaćih resursa.

Posebno mesto u ovom referatu zauzima problematika reznih alata. Veoma dinamičan razvoj industrije prerade metala, u posleratnom periodu, u svetu i u Jugoslaviji, bio bi nemoguć bez izuzetno intenzivnog razvoja reznih alata. Poznato je da je obrada metala rezanjem, najzastupljeniji proces, pa otuda rezni alati igraju najznačajniju ulogu u razvoju metalne industrije.

Prema zvaničnim statističkim podacima, jugoslovenska metalna industrija, razvijala se u zadnjih 10 godina po stopi od 8%. Medjutim, potrošnja reznog alata se razvijala po stopi od 14%. Trebalo bi očekivati da se potrošnja alata smanjuje, obzirom na uvodjenje modernijih mašina, sve bolji kvalitet ala-ta, bolje praćenje rada i održavanje alata. Razlog za veću po-trošnju alata treba tražiti u stalnoj tendenciji za povećanjem

produktivnosti rada. Pri tome se, radi boljeg iskorišćenja sredstava rada, pribegava maksimalnim režimima obrade, što smanjuje radni vek alata. Pored ovoga, treba imati u vidu, da se rezni alat koristi u velikim količinama i za osvajanje nove proizvodnje, izradu pomoćnih alata i pribora i održavanje sredstava za rad, koji se ne iskazuju bilansnim pokazateljima posmatranog statističkog perioda. Svakako, da na veću potrošnju reznog alata utiču i niske cene ovih proizvoda, u odnosu na ostale alate i repromaterijale, o čemu će biti reči kasnije.

## 2. Razvoj jugoslovenske industrije reznog alata

Predratna proizvodnja reznog alata za preradu metala, bila je voma skromnih mogućnosti, Kao proizvođači ovog alata, postojali su: "Jugoalat" - Novi Sad (spiralne burgije, ručni navojni alat, okretači), "Jugorapid" - Zagreb (turpije i testere), TIOT - Novi Sad (turpije) [42].

Precizni alati radjeni su u alatnicama tadašnje vojne i vazduhoplovne industrije.

Od 1952. do 1953.godine, dolazi do formiranja FRA - Čačak i IAT - Trebinje. Zagrebački "Metal" (danas "Sintal") počinje sa sinterovanjem tvrdog metala. Kapaciteti ovih fabrika nisu bili na nivou potreba tadašnje industrije, pa se kvalitetni rezni alat, uglavnom, uvezio, a delimično se i dalje proizvodio u vojnoj industriji. Oprema, kojom je tada raspolagala proizvodnja reznog alata Jugoslavije, bila je veoma zastarela. Tako je, na primer, FRA - Čačak, koja je formirana 1953.godine, počela proizvodnju na sredstvima reparacije, koja su proizvedena od 1930. do 1939.godine. Sve do 1958. godine, ove dve fabrike sticale su osnovna iskustva na proizvodnji reznog alata, a 1956. godine dolazi i do prvog izvoza ručnih ureznika u NR Kinu. Pošto je bila stvorena kadrovska baza i pošto je proizvodnja reznog alata u svetu koristila mnogo modernija sredstva za proizvodnju, a potrebe jugoslovenske industrije sve složenije, nametala se potreba za modernizovanjem i proširenjem kapaciteta.

Period od 1958. do 1965. godine, karakterističan je za intenzivan razvoj alatne industrije. U ovom periodu, došlo je do modernizacije sredstava, rada, tako da FRA - Čačak, IAT -

Trebinje i "Jugoalat" - Novi Sad, prerastaju u moderne fabrike reznog alata. Asortiman reznih alata je proširen na one vrste, koje se koriste u narastajućoj industriji, u to vreme, koja je, takodje, modernizovana i došla do sredstava za rad, sa novim zahtevima, koji se postavljaju pred rezni alat. U to vreme se, posebno brzim tempom, razvijala industrija motora, traktora, a i ostale prateće industrije, koje su postavljale nove zahteve industriji alata. Godine 1963. otpočinje i prvi izvoz u zapadne zemlje Evrope. Ovo je bilo neophodno, s toga, što su moderna sredstva zahtevala uvećane proizvodne serije, koje se nisu mogle, u celini, plasirati na domaćem tržištu, a pored toga, postojala je trajna potreba za deviznim sredstvima za opremu i repromaterijal. U tom periodu se alatna industrija razvijala po stopi od 22%, a industrija prerade metala beležila je prosečnu stopu rasta od 11,2%. [42]

Sledeći razvojni period, od 1965. do 1969. godine, karakterističan je po stagnaciji u razvoju industrije reznih alata. U isto vreme, došlo je do poremećaja u plasmanu svih metalnih roba, na domaćem i inostranom tržištu. Alatna industrija je bila predimenzionisana za domaće potrebe, a izvozna tržišta nisu bila dovoljno uhodana da prime viškove kapaciteta. Medjutim, u tom periodu, učinjeni su najveći naporu na osvajanju novih tržišta i novih asortimana alata, po standardima tih tržišta, što je imalo pozitivnog odraza u narednom periodu. U tom periodu PP - Tito - vo Užice počinje da sinteruje tvrdi metal. Razvojni period od 1969. do 1973. godine, bio je značajan za dalju modernizaciju industrije reznog alata, a to je i period najznačajnije afirmacije jugoslovenske industrije reznog alata na svetskom tržištu.

Jugoslovenski rezni alati su dospeli u skoro sve industrijski razvijene zemlje sveta. To je veoma značajno, sa stanovišta plasmana, jer se nikada ne dogadjaju istovremeni poremećaji tržišta, u svim delovima sveta. Od tog perioda, do danas, jugoslovenske fabrike: FRA - Čačak, IAT - Trebinje i "Jugoalat" - Novi Sad, ubrajaju se u najznačajnije fabrike reznog alata u Evropi i svetu.

Od 1973. do 1976. godine dolazi ponovo do stagnacije u razvoju indistrije reznog alata, ali i dalje je domaće tržište dobro snabdeveno reznim alatom, a za plasman na inostranom trži-

štu više nema ozbiljnih teškoća. Teškoće su nastajale, isključivo, zbog nelojalne konkurencije izvesnih istočnoevropskih zemalja, koje su, ponekad, prodavale alat, ne pokrivajući, pri tome, ni troškove repromaterijala.

U periodu od 1976. do 1980. godine, industrija prerade metala Jugoslavije beleži izuzetno intenzivan razvoj. Prosečna stopa rasta kreće se oko 12%. Medjutim, industrija reznog alata se i dalje razvija mnogo brže (po stopi od 25% godišnje). Današnje stanje proizvodnje reznog alata u Jugoslaviji je na izuzetno visokom nivou. Danas se, praktično, ne uvoze više spiralne burgije, navojni alati, razvrtači i upuštači, vretenasta i valjkasta glodala. Uvoze se još uvek alati od tvrdog metala, alati za ozubljenje i alati za provlačenje. Pošto je modernizacija kapaciteta kod ovih alata u toku, to se može očekivati da će se i taj uvoz smanjiti na minimum.

Od 1975. godine, do danas, došlo je do izvesne dopune programa pojedinih proizvodjača, pa se, iz tog razloga, daje tabela proizvodjača.

### 3. Neki aktuelni ekonomski problemi obrade metala rezanjem

Poznato je, da je u ovom trenutku, od presudnog značaja, pored ostalog, razvoj društvenih i produkcionih odnosa. Neophodna nam je efikasna materijalna proizvodnja, povećana produktivnost rada, na principima dohodovnog povezivanja, putem udruživanja rada i sredstava.

Prva grupa aktuelnih problema, o kojima je reč, je u vezi sa stanjem ekonomskih odnosa naše zemlje sa inostranstvom - deficit trgovinskog i platnog bilansa je postao ograničavajući faktor razvoja i intenzivno deluje na sve tokove reprodukcije. Uzroci nepovoljnih tendencija - ekonomskih odnosa sa inostranstvom, nisu skorijeg datuma. One se ispoljavaju od 1965. godine pa do danas [2]. Za poslednjih osam godina društveni proizvod zemlje porastao je za 51%, uvoz povećan za 48% a izvoz za svega 15%. Deo uzroka ekonomske nestabilnosti je spoljno-ekonomske prirode: nepovoljne međunarodne ekonomske prilike, koje otežavaju veći prodor na svetsko tržište zemalja u razvoju i izuzetno visoki rast cena nafte, opreme, tehnologije i repromaterijala.

Orijentacija na naftu, kao osnovni energetski izvor, uz istovremeno zapostavljanje domaćih resursa, ima višestruko nepovoljno dejstvo. Zbog znatnih količina nafte, koju uvozimo, dodajući tome i novo povećanje cena, od strane udruženja proiz-

T1. NAZIV ALATA	PREDUZEĆE										
	FRA	IAT	JAL	JUGOR	PPT	PP-TU	Ž. Ravne	Sintal	Pobeda	Z-CZ	
SPIRALNE BURGIIJE	X	X									
BURGIIJE SA TVRDIM METALOM	X	X	X					X		X	
ZABUŠIVAČI	X	X									
RAZVRTAČI I UPUŠTAČI	X	X	X								
PROVLAKAČI			X							X	
UREZNICI I NAREZNICE	X	X								X	
VRETENASTA GLODALA	X	X	X						X	X	
GLODALA SA RUPOM	X		X						X	X	
NAVOJNA GLODALA	X		X								
NAVOJNI NOŽEVI	X	X									
ODVALNA GLODALA	X		X							X	
GLODAČKE GLAVE			X		X						
KRUŽNE TESTERE		X	X								
SEGMENTNE TESTERE		X					X				
LISNATE TESTERE				X							
STRUGARSKI NOŽEVI BČ		X	X				X				
STRUGARSKI NOŽEVI TM	X	X	X		X			X			
RAZVRTAČI I UPUŠTAČI TM											
TVRDI METAL						X		X			

T1. Proizvodjači reznih alata u SFRJ - 1980.

vodjača nafte, povećava se naš trgovinski deficit (u 1980. godini treba da platimo preko dve milijarde dolara više nego u 1978., za skoro istu količinu). Usled visokih cena nafte, opreme tehnologije i repromaterijala iz uvoza, postoji vešestruko dejstvo ovih kategorija na veličinu cena naših proizvoda.

Izraz za formiranje proizvodne cene ( $C_p$ ) jednog proizvoda možemo napisati [13, 14] u obliku:

$$C_p = C_M + U_p . . . . . (1)$$

gde je  $C_M$  - cena materijala,  $U_p$  - cena proizvodnje proizvoda.

Ako je  $U_p = U_{pi}$ , gde je  $U_{pi}$  cena proizvoda jedne proizvodne operacije, može se pokazati da je:

$$U_{pi} = U_{oi} + \sum_{k=1}^m U_{dik} . . . . . (3)$$

Pri daljem rasčlanjavanju je:

$$U_{oi} = R_i + A_i + M_i . . . . . (4)$$

gde su  $R_i$  - troškovi radne snage,  $A_i$  - troškovi alata i  $M_i$  - troškovi mašine jedne proizvodne operacije.

Drugi deo izraza (3) se odnosi na sve ostale dodatne troškove, svedene na predmetnu proizvodnu operaciju. To su troškovi ostale opreme, ličnih dohodaka upravne, pogonske režije i ostalih pratećih službi, troškovi energije itd.

Na osnovu izraza, koji su prezentirani, može se, za potrebe ove analize pokazati da je proizvodna cena jednaka:

$$C_p = C_M + \sum_{i=1}^n (R_i + A_i + M_i + \sum_{k=1}^m U_{dik}) . . . (5)$$

Veoma važan uslov proizvodne politike metaloprerađivačke industrije, koja u velikoj meri je vezana za uvoz repromaterijala, opreme i tehnologije i relativno veliku potrošnju energije, je novo-formirana politika cena. Politikom cena se ne može priznati sav uvozni sadržaj koji nosi promenu kursa dinara. Deo ovog udara će morati da podnesu sve organizacije udruženog rada. Politika se, uz odluku o propisivanju najviših cena proizvoda i

usluga, oslanja na potrebu povećanih napora u svim organizacijama udruženog rada, da se, efikasnijim poslovanjem, racionalizacijom troškova proizvodnje, višom produktivnošću rada, boljim korišćenjem kapaciteta i radnog vremena, sporazumevanjem u okviru grupacija u politici razvoja, politici snabdevanja reprod materijalima - oslabi pritisak na cene. Treća odredba politike cena se odnosi na to, da ona grupacija, na čiji položaj promena kursa dinara ima jači udar, odgovarajućim intervencijama, ovaj udar sama amortizuje, za ovu godinu, a tek kasnije da se izvrše eventualne intervencije u promeni cena - tamo gde postoje dispariteti tih odnosa.

Učešće ukupnih investicija u društvenom proizvodu, u našoj zemlji, medju najvećim je u svetu. U većem broju slučajeva se ne raspolože kvalitetnim sredstvima za finansiranje investicija, a njihov obim je nesrazmerno veliki, što je i osnovno obeležje naše investicione potrošnje. Tako su investicije veliko žarište ekonomske nestabilnosti. Veliki obim investicija, uz veoma nizak stepen samofinansiranja i veoma veliko angažovanje inostranih i domaćih kreditnih sredstava, nedostajuća sredstva za završetak investicija, koje su u toku, garancija banaka koje su u stvari fiktivni računi, velike neizmirene obaveze po osnovu anuiteta, korišćenje sredstava emisije za investicione svrhe, odsustvo uskladjivanja programa razvoja i zajedničkog ulaganja, radi optimizacije korišćenja kapaciteta, su pojave, koje se mogu okvalifikovati kao najveći problemi, koje treba rešavati, u nastojanjima ostvarivanja više ekonomske stabilnosti.

Konačno se mora shvatiti i prihvatiti, da se dinamika razvoja ne može ostvarivati po svaku cenu, a dalje nikako po osnovu povećanja zaduženosti u inostranstvu, stalno visokog deficita platnog bilansa, stalnog porasta prekoračenja i stalne nelikvidnosti na ovom sektoru [2] .

Poznato je, da je pre dve godine, naučno-istraživački rad, posebno u SR Srbiji, bio predmet ozbiljnije analize. Opšta ocena stanja u ovoj oblasti nije zadovoljavajuća. Posebno zastajanje u primenjenim i razvojnim istraživanjima i primeni inovacija u proizvodnji, u odnosu na razvijenije zemlje (ovde smo čak pri dnu tabele u Evropi), koncentracija naučno-istraživačkog kadra u pojedine urbane centre, slaba povezanost nauke i privrede,

pre svega, u tim centrima, su samo neke pojave, koje su u tesnoj vezi sa predmetnom temom.

Od 1978.godine u SR Srbiji<sup>\*)</sup>, deo sredstava koji se formira, u okviru republičke zajednice za nauku, se raspoređuje na osnovne zajednice za nauku Regiona.

Sredstva su namenjena za finansiranje razvojnih i primenjenih istraživanja. Namera je da se formira više istraživačko-razvojnih punktova u radnim organizacijama i da se pokrene veliki potencijal kadrova na rešavanje aktuelnih problema i posebno, na ubrzavanje procesa primene postojećih saznanja. [15]. Kratak je vremenski period da bi se mogla dati ocena o opravdanosti ovog poteza. Može se reći da su radne organizacije, posebno manje, kao korisnici istraživanja, sa nosiocima istraživanja, veoma ozbiljno ovo shvatile, kao svoju šansu. Posebno je važno, što je, samoinicijativno, došlo do samoupravnog udruživanja na polju korišćenja kadrova, istraživačke opreme, iskustava i sl. Iskustva sa našeg Regiona, ukazuju, a nema razloga da u drugim bude to drugojačije, na veliku otvorenost i spremnost velikih istraživačkih centara za ovakav zajednički rad. Vredno je napomenuti i to da se oko fakulteta i instituta SANU, IAMA - "BORIS KIDRIČ" i drugih, počinju okupljati manji istraživački centri, radi realizacije istraživačko-razvojnih projekata, koji se, dobrim delom realizuju u laboratorijama korisnika istraživanja.

Pored ovoga, na nivou Republike, u pripremi je rad na strateškim projektima opšte nominacije (za našu oblast): NOVA TEHNIKA I TEHNOLOGIJA RAZVOJA PROIZVODA I PROIZVODNJE U INDUSTRIJI PRERADE METALA. Sadržaj i ciljevi ovog projekta su usmereni na istraživanje procesa i razvoj mašinskih sistema, radnih procesa i nove tehnologije i orudja rada [16].

Istraživanja, u ovom projektu, obuhvataju tri osnovne kompleksne oblasti:

- razvoj i optimizacija proizvodnih sistema; osnovna, primenjena i razvojna istraživanja na području razvoja tehnologije, mašina alatki i alata,

---

<sup>\*)</sup> Autor ne raspolaže podacima iz drugih socijalističkih republika, te se očekuje diskusija po ovom pitanju.



- razvoj i osvajanje savremenih obrada metala deformacijom i
- razvoj sistema upravljanja proizvodnjom.

Za realizaciju ovog projekta predviđen je veći broj organizacija udruženog rada metaloprerađivačke industrije - korisnika istraživanja i naučno-istraživačke organizacije: MF, PTF Čačak, IAMA, razvojne organizacije industrije i IKS.

Sigurno je, da je neophodno razmotriti mesto i ulogu ovoga rada, na nivou Federacije, sa potrebnim udruživanjima i zajedničkim radom.

Izložene ocene i analize su kraći pregled zvaničnih materijala i odnose se, ako ne u većoj meri, ono u istoj meri i na deo metaloprerađivačke industrije, koja, u svom osnovnom programu, sadrži obradu metala rezanjem. Autori ovoga rada započnu diskusiju, po ovim pitanjima, nekim komentarima - analizu nekih veličina iz izraza (5).

Prva veličina, u predmetnom izrazu, je cena materijala proizvoda -  $C_M$ . Već duže vremena, jedna od najvećih teškoća, sa kojom su opterećene radne organizacije, je obezbedjenje repromaterijala - po kvalitetu i dimenzijama. Veoma česte nestašice na domaćem tržištu, koje su ugrožavale planove proizvodnje, upućivale su na traženje izlaza u uvozu. Usitnjenost programa i višestruko dupliranje kapaciteta, sa politikom da se svako snalazi kako može, doveli su do toga da proizvođači repromaterijala, i sami u teškom stanju, ne mogu da zadovolje tekuće potrebe. U zadnje vreme prisutni su naponi da se udruživanjem sredstava proizvođača i korisnika repromaterijala proširi asortiman domaćeg tržišta. Pored toga, jeftiniji repromaterijali iz uvoza, podsticajno su delovali da radne organizacije ulažu u proširenje prerađivačkih kapaciteta, koji se zasnivaju na uvoznom sadržaju. Čini se, da jedini pravi put je, da se putem udruživanja rada i sredstava, dogovora na tehno-ekonomskim osnovama podele programa, ulazi u razvoj domaće proizvodnje repromaterijala.

Dohodak, stečen po osnovu izvoza, koji će sada više motivisati proizvođače da se trajnije orijentišu na izvoz, je poznati model i izgleda jedini izlaz.

Posebno je značajno snabdevanje repromaterijalima za alate koji učestvuju sa svega 3% ukupne vrednosti proizvodnje metalne industrije SFR Jugoslavije, ali koji [1] ima izuzetni uticaj na nivo njene ukupne produktivnosti, troškove, ekonomičnost, kvalitet i slično. Za poslednjih pet godina, proizvodnja reznog alata je, više nego udvostručena, sa povećanjem izvoza alata od brzoreznog čelika.

Pošto je referat [1] dao značajan doprinos ovoj analizi, namera je da se tri teze iz tog referata aktueliziraju: (i) problem materijala za reprodukciju, kao osnovni ulaz kod proizvođača reznih alata, (ii) obim potrošnje reznih alata u funkciji bruto produkta metalne industrije i (iii) prognozna brzina rezanja, koje treba očekivati u skoroj budućnosti, sa razvojem alatnih materijala.

Na osnovu planova razvoja i proizvodnje domaćih željezara, bilo je predviđeno da do 1980. godine snabdevanje proizvođača alata bude oko 75% iz domaće proizvodnje, sa oko 25% iz uvoza. Do 1975. godine, proizvođači alata su skoro 100% svojih potreba za brzoreznim čelikom obezbeđivali iz uvoza. Današnje potrebe, oko 6.500 tona, i pored optimističkog predviđanja, se obezbeđuju, sa skoro 95%, takodje, iz uvoza.

Može se ponovo postaviti pitanje - da li ova količina brzoreznog čelika "nije dovoljno krupna stavka i atraktivna pozicija za nalaženje adekvatnih rešenja u okviru, za ovaj slučaj, vrlo jasno sagledivih jugoslovenskih reprodukcioni celina" [1].

Potrebno je naglasiti i to da je u prošloj godini brzorezni čelik poskupeo, na svetskom tržištu, za 100% i da postoji, što ima mnogostruke posledice na obradu rezanjem, u celini, permanentna nestašica kobalta na svetskom tržištu, zbog dispozicije najvećih svetskih resursa, na nemirnim političkim područjima. Prinudnim, postepenim napuštanjem proizvodnje alata od brzoreznog čelika, na bazi kobalta i prelaskom na čelike sa manjim učešćem kobalta, dolazi do potrebe višestrukih lančanih intervencija na relaciji: alat-režim obrade-visoko produktivna alatna mašina.

Proizvodnja alata sa tvrdim metalom (tvrdi metal, orijentaciono ima po težini 85% WC, 10% Co i 5% kubičnih karbida -

pretežno TiC) se, kao što se vidi, zasniva na potpunom uvozu osnovnih komponenti. Doda li se tome, da naši proizvođači tvrdog metala izvoze skromnih par procenata svoje proizvodnje, da je problem kobalta, prisutan i u ovoj proizvodnji, jasno je da je problem proizvodnje tvrdog metala krajnje složen, posebno što nije u skladu sa savremenim ekonomskim intervencijama i instrumentima, u vezi sa politikom cena i izvoza.

Poslednjih godina se ulažu naponi, od strane proizvođača alata na razvoju programa (FRA-Čačak i "P.Partizan" - Titovo Užice) tzv. praškaste metalurgije - sinterovanje brzoreznih čelika. Jedan, od najvećih problema, koji se javlja u vezi ovog programa, je obezbedjenje sastavnih komponenti za sinterovanje - posebno čistog praškastog željeza. Osvajanjem ove tehnologije postigle bi se znatne uštede u materijalu i dobio bi se alat višeg kvaliteta. Medjutim, potrebno je naglasiti, na ovom primeru, da je neophodno udruživanje svih proizvođača alata, čime bi se znatno povećale veličine serija, a time snizili proizvodni troškovi. Drugim rečima, ovaj program zaslužuje da bude tretiran kao jedan od naših prioritarnih zadataka.

Domaća iskustva, na osvajanju proizvodnje oslojenih pločica tvrdog metala [7,12,18] sa TiC, govore o potrebi razvoja i ovih programa. Dobri rezultati su postignuti sa pločicama P20 + TiN, pri rezanju konstrukcionih čelika, u poboljšanom stanju i sa pločicama P10 + TiN i K10 + TiN, pri rezanju sivog liva.

Danas se u svetu proizvodi više vrsta alata od tvrdog metala, koji imaju osnovu od konvencionalnog tvrdog metala, sa tankim i vrlo tvrdim slojem TiC, TiN ili pak  $Al_2O_3$ . Postoje i kombinacije ovih slojeva, Proizvodnja novih vrsta alatnih materijala je usmerena na razvoj novih materijala, koji omogućavaju veće brzine rezanja, uz neminovno visoku postojanost, od komponentata koje se obezbeđuju iz sopstvenih ili lako dostupnih izvora.

Vredni paznje su: alatna - mineralo i metalo-keramika ( $Al_2O_3$  sa dodatkom WC,  $Mo_2C$  ili TiC), materijali na bazi monokristalnog i polikristalnog sintetičkog dijamanta i kubnog nitrida bora (borazon, kubonit, elbor) i specijalne alatne legure-UCON na bazi titana i volframa).

O nekim materijalima, iz ove grupe, biće reči u daljem izlaganju.

Sledeća aktuelna veličina iz izraza (5) su troškovi alata -  $A_i$ , koji za sada posmatraju kao kategoriju u procesu eksploatacije reznog alata.

$$A_i + A_{1i} + A_{2i} + A_{3i} (Ca, i) . . . . . (6)$$

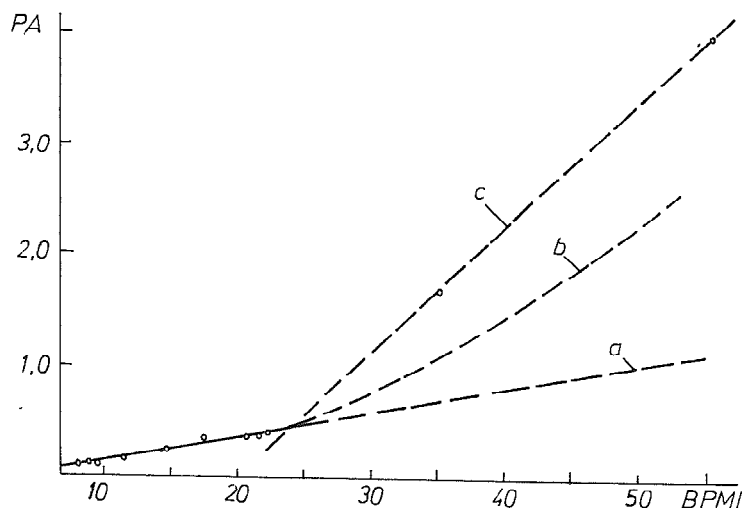
$A_{1i}$  i  $A_{2i}$  - troškovi alata, usled zamene alata u toku procesa obrade i troškovi regeneracija alata,

$A_{3i}$  - trošak usled amortizacije alata, izražen kao funkcija cene alata i broja preoštravanja.

Ekonomična eksploatacija alata nije više samo proizvodno-ekonomska kategorija. S obzirom na veličinu uvoza materijala alata, s obzirom na potrebu povećanja njegove potrošnje, usled povećanja bruto proizvoda metaloprerađivačke industrije, potrebno je, daleko više i brže, nalaziti one relacije između vrste alata, režima obrade i materijala obradka, koje mu omogućavaju duži ukupni vek.

Poznato je [1] da je diferencija između porasta ukupnog bruto proizvoda metaloprerađivačke industrije (BMPI) i porasta potrošnje reznog alata (PA) sve veća. Na sl. 3.1. je prikazan trend potrošnje reznog alata (kriva - c) i porast bruto produkta metalne industrije (kriva - a). Sasvim opravdano je bilo insistiranje [1] da se linearni trend BPPI zameni krivolinijskim krivama.

Razlog ubrzanog povećanja potrošnje reznog alata, u odnosu na povećanje bruto proizvoda je složen. Analizom potrošnje reznog alata došlo se do podataka (iskustvo FRA), da veći broj manjih proizvodjača troši više reznog alata od velikih proizvodjača, čiji je i bruto proizvod veći. Opšte je poznato, da se, u većim proizvodnim sistemima može bolje organizovati primena ekonomičnih režima obrade, bolje organizovati služba regeneracije i održavanja alata. Osim toga i veći proizvodjači nailaze na problem regeneracije, posebno višesečnih specijalnih alata.

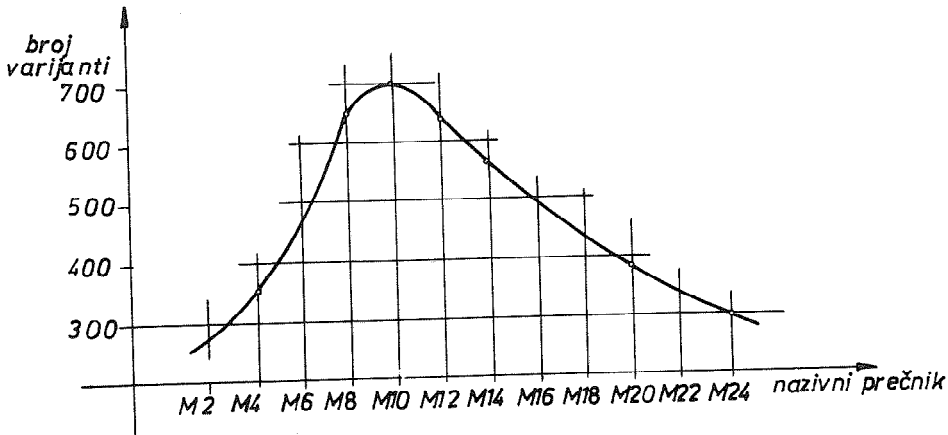


Slika 3.1. Jugoslovenska potrošnja alata PA, u zavisnosti od bruto produkta metalne industrije BPMI, u mrd.din.

Zavisno od načina rada, opreme, materijala radnog komada, geometrije koja se želi postići i drugih faktora, asortiman reznih alata je izuzetno širok. Ovo se može ilustrovati na primeru milimetarskih ureznika. Zbog postojanja većeg broja standarda (DIN 371, DIN 376, DIN 357, DIN 352, DIN 2181, ISO i ostali), uglova spirale ( $15^\circ$ ,  $35^\circ$  i  $45^\circ$  leva i desna), ugla i oblika ulaznog konusa (tip A, B, C, kose rezne ivice itd.), grudnog ugla i tolerantnog polja, u praksi se pojavljuje, za najčešće primenjene ureznike, sledeći broj varijanti: M4-430, M5-519, M6-561, M8-671, M10-704, M12-636, M16-484, M20-390, M24-300, -(sl. 3.2).

Nije isključeno da se ovaj broj poveća na više hiljada varijanti različitih ureznika. Praksa je, ipak, broj varijanti svela na razumniju meru. Tako je FRA, do sada, proizvela sledeći broj varijanti, najčešće korišćenih milimetarskih ureznika: M4-430, M5-519, M6-561, M8-671, M10-704, M12-636, M16-484, M20-390, M24 - 300 varijanti.

U proizvodnom programu FRA pojavljuje se preko 50.000 različitih artikala, a jugoslovenska alatna industrija proizvodi više od 100.000 različitih reznih alata.



Sl. 3.2. Broj varijanti ureznika, u zavisnosti od nazivnog prečnika, do sada radjenih u FRA.

Nije čest slučaj, u praksi, da se alat koristi do krajnjih mogućnosti - sa poznatim posledicama. Jedan broj potrošača reznog alata je, tek, posle zadnjih poskupljenja, pristupio organizovanoj regeneraciji alata. Deo povećanje potrošnje treba tražiti i u pooštavanju režima obrade radi postizanja većeg obima proizvodnje. Složenost savremenih proizvodnih odnosa, nameće zahtev o neophodnosti intervencija, na relaciji svih elemenata obradnog sistema.

Jedno od rešenja, koje nam stoji na raspolaganju, je u daljem definisanju parametara potrebnih za regeneraciju alata, u širem prihvatanju tih parametara, od strane korisnika alata i u bržem razvoju postupaka i opreme za regeneraciju, koja može biti primenjena u radnim organizacijama, posebno manjim. Rešenje treba tražiti i u mogućnostima rada alata od brzoreznog čelika sa povećanim brzinama rezanja, pri čemu se uz isti ili manji utrošak alata postiže veća produktivnost [19].

#### 4. Elektromehaničko habanje alata

Jedan od najvažnijih zadataka, u oblasti razvoja savremenih postupaka obrade metala rezanjem, koji se izvode uz sve veće brzine, velika specifična opterećenja radnih površina alata i

visoka temperature rezanja, je smanjenje intenziteta habanja alata. Taj problem se može uspešno rešavati samo ako se proučavanje prirode habanja zasniva na savremenim predstavama o mehaničkim, fizičkim i hemijskim procesima, koji se odigravaju pri frikcionom kontaktu.

Problem habanja reznog alata se ne može razmatrati izolovano, od opšteg problema trenja i habanja. Ono se može uključiti u opštu klasifikaciju spoljnog trenja, sa nizom specifičnosti. Pored toga, što su u razradi teorije spoljnog trenja, postignuti značajni uspesi, mnoga pitanja ostaju nejasna i ne proučena. Uzrok je, izuzetna složenost procesa. Iz kompleksa pojava, koje se javljaju pri trenju i rezanju, veoma malo su proučene električne. Na osnovu ispitivanja, koja su izvedena zadnjih godina, ustanovljeno je, da je, koristeći električne pojave, moguće dobiti važne informacije o procesima, koji se dešavaju na kontaktnim površinama, pri trenju i rezanju.

Duže vremena, tačnije od 1953. godine, ukazuje se na uticaj termoelektričnog toka na habanje alata. Od tada je nastao veći broj radova, koji, na osnovu eksperimenta, govore o veoma pozitivnom efektu kompenzacije termotoka na intenzitet habanja reznog alata. I u našoj istraživačkoj praksi postoji par radova koji obradjuju ovu pojavu. S druge strane, efekat kompenzacije nije dobio odgovarajuće mesto u praksi.

Prvi su - Axer 1953. godine i Opitz 1957. godine, ukazali na uticaj termotoka na habanje reznog alata pri struganju. Uključujući spoljni izvor struje u kolo, nož - predmet obrade, kao kompenzacioni elemenat, i varirajuću jačinu struje, došli su do povećanja postojanosti, pri određenoj jačini struje, za 100%. Autori su objasnili efekat kompenzacije smanjenjem intenziteta obrazovanja oksidnih prevlaka na radnoj, kontaktnoj ledjnoj površini noža [20, 21]. Hehenkamp [22] smatra, da pored tokova u spoljnem kolu (mašina - predmet obrade - alat), postoje i unutrašnji tokovi kratkih spojeva, koji mogu dostići relativno velike vrednosti.

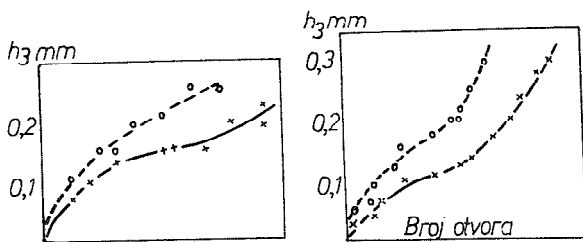
Reznikov [23] govori o tome da se pojava kratera na radnoj površini može tumačiti kao posledica uspostavljenog termoelementa na radnici strugotina - radna površina alata. Meha-

nizam pojave termoelektrične struje (TEMS) izaziva oksidaciono habanje reznog alata, po Rižkinu [24] .

Neki autori smatraju, da kontakt reznog alata, sa predmetom obrade [25] nije kontinualan. U momentu raskidanja veze između dva pika hrapavosti, pika materijala alata i predmeta obrade, dolazi do stvaranja mikroluka (usled visokog potencijala), te nastaje most rastopljenog metala. Posledica je eroziono razaranje mikrovrrha alata.

Ove postake su doživele brojne kritike u sovjetskoj literaturi.

Postnikov [26] smatra da TEMS utiče na lepljenje površina - nastanak atezija, da su pojave elektroerozije posledice visokih elektromotornih sila u spoljnjem sloju, u momentu kada dolazi do brzih odskoka alata od predmeta obrade (usled vibracija). Korobov [27] , na osnovu većeg broja eksperimenata, dolazi do podataka da se kompenzacija TEM-a može izvesti na dva načina. Jedan način je uvodjenjem u kolo alat-mašina-predmet obrade stranog izvora struje (suprotnog smera). Drugi način je prekidanje kola TEM-a, jednostavno, izolacijom predmeta obrade (mašina-predmet obrade). Efekti smanjenja habanja su skoro isti. Korobov tumači umanjeno elektromehaničko habanje postojanjem Peltier-ovog efekta.



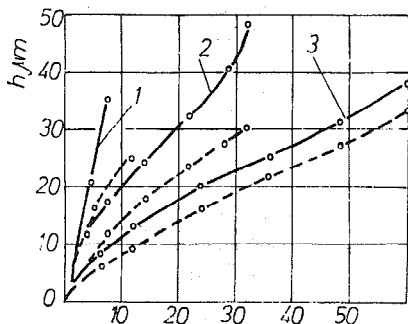
Sl.4.1. Habanje u funkciji postojanosti pri bušenju vatrootpornih materijala po Rižkinu

x x x obično rezanje  
o o o rezanje sa kompenzacijom.

Bobrovskij je razvio teoriju elektrodifuzionog habanja [28] . Na osnovu većeg broja eksperimenata u obradi bušenjem i glodanje, Bobrovskij dokazuje da je intenzitet elektrodifuzije upravo proporcionalan jačini struje, koja prolazi kroz kolo i da za ostvarenje pomenutog procesa je potrebna relativno visoka temperatura (za legure gvoždje - ugljenik je ta temperatura viša od 773 K). Na sl. 4.3. je prikazan rezultat eksperimenata u obradi

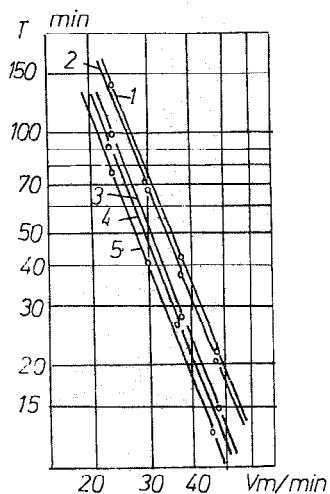


glodanjem - zavisnost postojanosti glodala od brzoreznog čelika i funkciji brzine rezanja i veličine spoljne elektromotorne sile, pri rezanju vatrootpornog čelika.



Sl.4.2. Uticaj kompenzacije TEMS-a na radijalno habanje noža pri različitim režimima, po Korobovu

— obično rezanje  
- - - rezanje sa kompenzacijom



Sl.4.3. Postojanost glodala u funkciji brzine rezanja.

Debljina strugotine 1 mm, korak po zubu  $s_z = 1 \text{ mm/zub}$

kriva 1-prekinuto kolo

kriva 2- $E_{\text{spolj}} = -0,7E_{T\text{max}}$

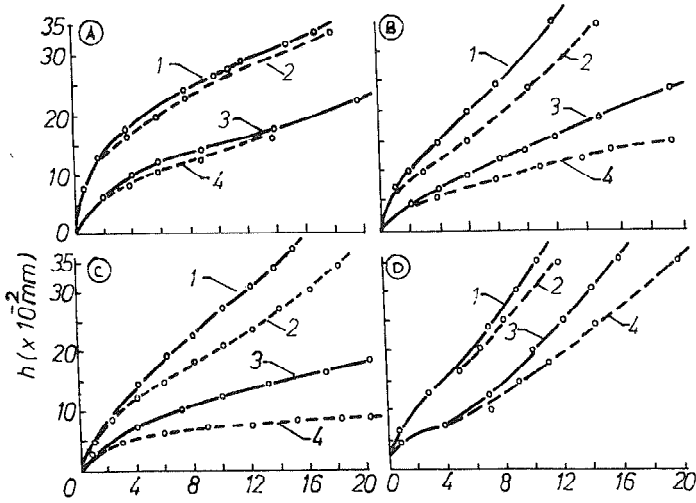
kriva 3-kolo zatvoreno

kriva 4- $E_{\text{spolj}} = 1,5E_{T\text{max}}$

kriva 5- $E_{\text{spolj}} = -5E_{T\text{max}}$

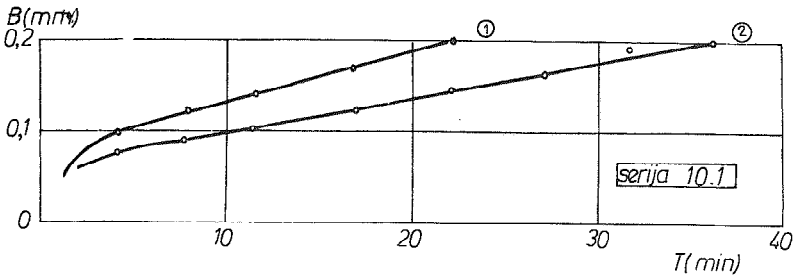
Razvijajući model elektromehaničkog habanja, Shan [29] daje sve mogućnosti koje mogu nastati između elektromotorne sile (zona rezanja, mašina), jačine struje (koja prolazi kroz sve kontaktne površine, pri svim polaritetima), omskih otpora (mašine, na mestima kontakta, noža, predmeta obrade), brzine rezanja, posmaka i dubine rezanja. Veoma interesantan je zaključak da, pri malim brzinama, odnosno brojevima obrta vretena mašine (uz uslov malog omskog otpora mašine), je moguće postići veći efekat smanjenja elektromehaničkog habanja izolacijom alata. Na sl.4.4. je prikazan rezultat eksperimenata pri obradi struganjem, alatom od brzoreznog čelika (dijagram A) i alatima od tvrdog metala (dijagrami B, C, D) konstrukcionog čelika sa otvorenim kolom - izolo-

vanim alatom i zatvorenim kolom.



Sl.4.4. Promena habanja u zavisnosti postojanosti alata za slučaj normalnog struganja (-----) i za slučaj struganja sa izolovanim alatom (- - -).

U našoj istraživačkoj praksi relativno malo radova je iz ove oblasti [35, 36]. U radu [35] se daju rezultati eksperimenata sa normalnim uslovima rada i sa izolovanim reznim alatom (Č.1431, alat P20,  $t=0,2$  mm.  $s=0,14$  mm/o,  $v=120$  m/min). Na osnovu komparacije rezultata eksperimenata u normalnoj atmosferi, sa rezultatima pri rezanju u atmosferi argona i kiseonika, zaključuje se da postoji medjuzavisnost izmedju termoelektričnih pojava u zoni rezanja i intenziteta habanja alata od tvrdog metala. Pojava se tumači time da smer i intenzitet električne struje su uzročnici termohemijske pojave, pri čemu je oksidacija dominantna - sl.4.5.



Sl.4.5. Rezultat uporednog opita: 1 - normalni uslovi rada, 2 - rad sa električki izoliranim reznim alatom.

Potrebno je referisati i to da se u radu [37] iznosi i obrazlaže, na osnovu eksperimenata u normalnoj atmosferi, pri svim varijantama kompenzacije, ne postojanje promena intenziteta habanja.

Detaljna provera i primena kompenzacionog postupka elektromehaničkog habanja, mogla bi da se iskoristi u smanjenju intenziteta habanja alata i to, pre svega, kod alata koji rade sa velikim brzinama, kao i kod alata za finu obradu otvora - smanjenje inicijalnog habanja.

### 5. Mineralokeramički alatni materijali

Materijali, koji se koriste za rezne alate, su brzorezni čelici, tvrdi metali, alatna keramika (gusta keramika - mineralokeramika i metalokeramika) i grupa najtvrdjih alatnih materijala. Primat u upotrebi nose brzorezni čelici - sa oko 66%, zatim dolaze tvrdi metali - sa oko 32%. Alatna keramika je zastupljena sa, zasad skromnih, 2%, [7].

Danas se u svetu ulažu izuzetni napori za razvoj reznih osobina alatne keramike. Ova vrsta alatnog materijala, s obzirom na sastav, predstavlja izuzetno veliki izazov i mogućnosti alternacije skupih i sve teže dostupnih legirajućih komponenata brzoreznih čelika i tvrdih metala.

Poznato je, da su prvi pokušaji rezanja sa alatnom keramikom, imali veoma skromne rezultate. Alatna keramika je, uz veliku tvrdoću, bila izuzetno krta, te nije bila podesna za upotrebu. Kasnije dolazi do razvoja alatnih keramika, posebno u pravcu legiranja osnovne mase guste keramike, sa karbidima volframa, titana i molibdena. Raniji postupak završne obrade reznih ivica keramičkih pločica honovanjem i peskarenjem se danas zamenjuje izradom fazete brušenjem [10]. Sve to je doprinelo, i to znatno, poboljšanju reznih osobina ovog alatnog materijala. Povećanjem žilavosti, uz mogućnost primene velikih brzina rezanja, alatna keramika postaje sve više materijal na koji treba računati.

Postoje dve vrste alatne keramike, na bazi osnovne guste keramike: mineralokeramika (čista gusta keramika) i metalokeramika (mešana rezna keramika - legirana gusta keramika, poznata pod komercijalnim nazivom kao CERMET). Sastav mineralokera-

mike je na bazi guste keramike -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (oko 99%) sa dodatkom oksida magnezijuma i hroma ( $\text{MgO}$ ,  $\text{CrO}$ ).

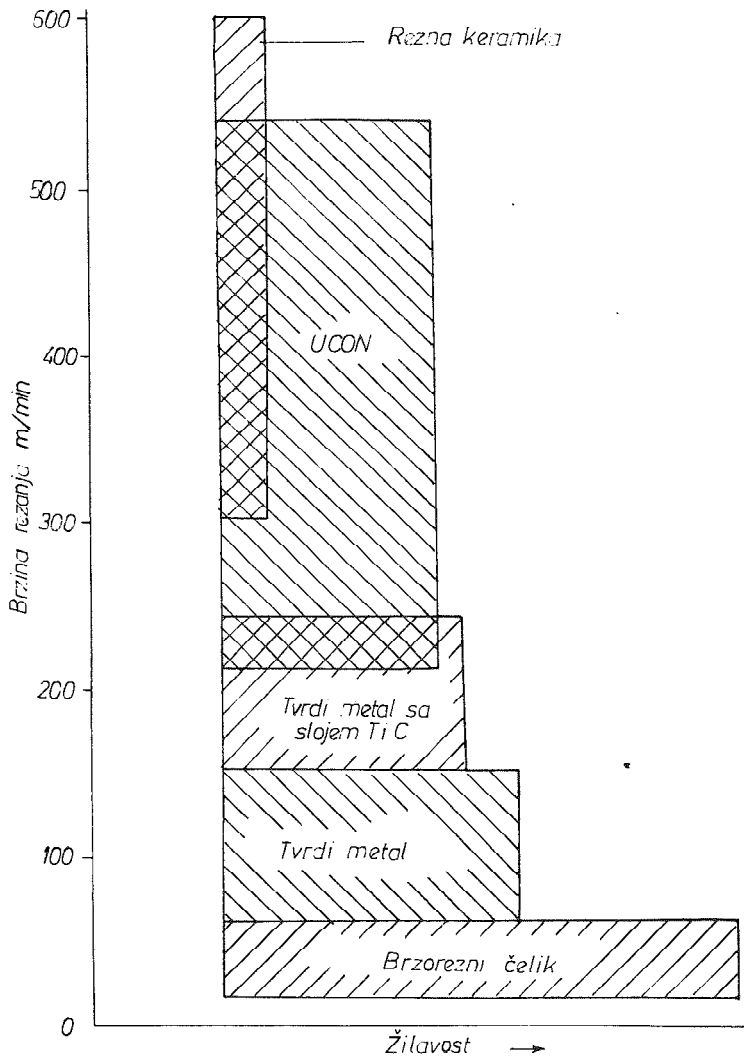
Metalokeramika se sastoji iz guste keramike -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (oko 60%) sa dodatkom karbida volframa, molibdena i titana ( $\text{WC}$ ,  $\text{Mo}_2\text{C}$ ,  $\text{TiC}$ ).

Zbog male žilavosti, pločice od alatne keramike su osetljive na udarna opterećenja i termička naprezanja. Jedan od najvećih nedostataka alatne keramike je relativno mala žilavost koja je nekoliko puta manja od žilavosti tvrdih metala. Alatna keramika je dosta više osetljiva na povećanje posmaka i dubine rezanja u odnosu na tvrdi metal. Njenim razvojem danas se mogu primeniti, u odredjenim uslovima, relativno velike dubine rezanja i posmaci (do 0,5 mm/o), [39].

Odnosi žilavosti i oblasti primenjivanih brzina rezanja za alatnu keramiku i ostale alatne materijale su dati na sl. 5.1., prema [10]. Ostale fizičke osobine alatne keramike su izvanredne. Odlikuje se velikom tvrdoćom. Prema podacima [38], odnos tvrdoće alatne keramike i tvrdog metala, u zavisnosti od temperature, dat je na sl. 5.2. Mineralokeramika se odlikuje i velikom tribološkom inkompatibilnošću prema metalima, te otuda poseduje i veliku otpornost na habanje.

Na ovim fizičkim osobinama, zasniva se mogućnost primene velikih brzina rezanja pri radu sa alatnom keramikom, uz naglašenu potrebu za stabilnošću proizvodnog sistema. Razvoj proizvodnje alatne keramike je usmeren na povećanje žilavosti i proširenje opsega primenjivih elemenata režima obrade. Danas se alatna keramika koristi pri obradi konstrukcionih čelika, visokolegiranih čelika, sivog i tvrdog liva, pri obradi legura obojenih metala i pri obradi nemetala. Najviše se koristi u obradi struganjem i u manjoj meri finim i grubim glodanjem (sivi liv).

Naša iskustva, u primeni alatne keramike, nisu velika. Rezultati istraživanja [39], pri obradi valjaoničkih valjaka od nodularnog liva ( $\varnothing 260 \times 750$  mm, tvrdoće 350 - 400 HB) su pokazali da je upotreba alatne keramike, utoliko više preporučljiva, ukoliko je veća tvrdoća obradaka. Osim toga, kvalitet obradjene površine je znatno bolji od kvaliteta površine koja je dobijana pri obradivanju tvrdim metalom. U radu [8] se daju rezultati



Sl. 5.1. Područje brzine rezanja i žilavosti alatnih materijala

	20°C	500°C	1100°C
Alatna keramika	4000	2500	1450
Tvrdi metal	4000	1450	250

Sl. 5.2. Tvrdooća alatne keramike i tvrdog metala u  $N/mm^2$  za različite visine temperatura.

eksperimentata dobijenih pri uporedjenju reznih mogućnosti tvrdog metala, UKON-a i alatne keramike, pri obradi struganjem Č.4320.2.

Naša jugoslovenska iskustva i mogućnosti, u fundamentalnim istraživanjima i razvoju proizvodnje guste keramike, nisu zanemarljiva. Istina, ta istraživanja nisu bila orijentisana na razvoj alatne guste keramike (sa izuzetkom nekih napora Instituta "Jožef Štefan" u Ljubljani).

Vredan pažnje je i podatak, da Sovjetski Savez povećava proizvodnju mineralokeramičkih alatnih materijala za deset puta, u periodu 1980. - 85. godine [40].

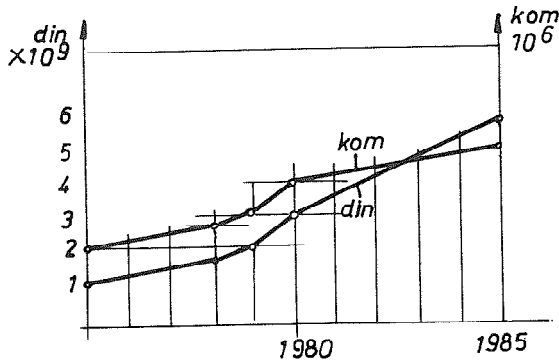
Čini se, da je pravi trenutak, da fabrike alata svoj razvoj, u većoj meri, vežu za ovu problematiku i da sa drugim naučno-istraživačkim institucijama i metaloprerađivačkim organizacijama pristupe osvajanju proizvodnje novih alatnih materijala, na bazi domaćih sirovina i mogućnosti. Za ovaj rad posedujemo kadrovske potencijale, za osnovna i primenjena istraživanja, potrebnu laboratorijsku opremu i instrumentaciju, solidnu sirovinSKU bazu i velike mogućnosti za verifikaciju rezultata fundamentalnih istraživanja u proizvodnji. Za uspešan rad neminovno je potrebno da se udruženo pristupi realizaciji programa.

#### 6. Trendovi razvoja i plasmana jugoslovenske proizvodnje reznog alata, sa osvrtom na politiku cena

Današnja proizvodnja reznog alata u Jugoslaviji, iznosi oko 100 miliona komada, u vrednosti od oko 3,5 milijarde dinara. Od toga se, oko 35%, izvozi u sve industrijski razvijene zemlje sveta. Glavni izvozni artikli su: spiralne burgije, ureznici, nareznice, glodala i razvrtači.

Obzirom, da je izrada srednjoročnog plana razvoja alatne industrije u toku, to se već sada može sagledati tendencija njenog razvoja. Iz sl. 6.1. se vidi, da se planira i dalje veoma ubrzan razvoj ali, ipak, po nešto nižoj stopi rasta, nego u prethodnom srednjoročnom periodu. Primećuje se ubrzaniiji rast vrednosti, u odnosu na količinu, što je i logično, obzirom na vrto-glav rast cena čelika i ostalih repromaterijala i obzirom, na nizak nivo cena nekih alata koji se izvoze.

Glavno tržište reznih alata je automobilska industrija



Sl. 6.1. Proizvodnja reznih alata u SFRJ - u komadima i vrednosti - za period 1975. - 1985. god.

sa svojim kooperantima. Analizom tržišta, za potrebe FRA, došlo se do zaključka, da ona troši oko 35% ukupne proizvodnje reznih alata u svetu. Na drugom mestu je vojna i vazduhoplovna industrija, sa 20%, zatim, elektroindustrija sa 10%, poljoprivredne mašine 7% itd.

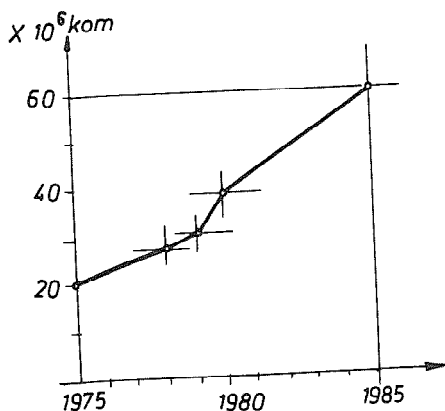
Glavna izvozna tržišta reznog alata Jugoslavije su: SAD, SRN, Italija, Francuska, SSSR i zemlje Istočne Evrope. Preko ovih zemalja, jugoslovenski alat se praktično prodaje na svim tržištima sveta.

Na sl. 6.2. se vidi da izvoz raste, po visokoj stopi i da će se ta tendencija održati, obzirom da razvoj reznih alata ide i ići će, po bržoj stopi rasta, nego prerada metala.

Oko 90% izvoza je orijentisano na konvertibilno tržište. Klirinški način plaćanja zadržao se još samo u razmeni sa SSSR-om, DDR-om i ČSR-om, ali verovatno, da će u bliskoj budućnosti, Jugoslavija preći na konvertibilna plaćanja i sa svim zemljama, obzirom da je sve više roba, u oba pravca, koje se plaćaju konvertibilno.

Zavisno od sistema i društvenih odnosa, u pojedinim zemljama postoji više načina za formiranje prodajne cene, krajnjim potrošačima alata. U zemljama Istočne Evrope, uvozna cena važi i za krajnjeg korisnika.

U našoj zemlji, za kataloške alate (koji obuhvataju



Sl.6.2. Izvoz reznog alata

80% proizvodnje) postoje cenovnici, koji se usaglašavaju putem samoupravnih sporazuma između proizvođača, potrošača i trgovina, a koje potvrđuje Savezni zavod za cene, uvažavajući intencije društvenog plana, za odgovarajuću godinu. Te cene su, ustvari, neto cene za krajnje korisnike alata. Trgovine, koje kupuju alat, dobijaju, prema samoupravnim sporazumima, učešće za svoj rad, koje se kreće od 3 do 9% od cene alata.

Na tržištu Zapadne Evrope i Amerike, formiraju se, svake godine, takozvane bazne cene. Bazne cene se podrazumevaju cene za jedan komad alata, koji se kupuje u trgovini i one su veoma visoke. Tako, na primer, spiralna burgija  $\emptyset$  6, koja kod nas košta 15 dinara, prodaje se u SRN po ceni od 2,95 DM. Kupci, koji kupuju veći broj komada, dobijaju odgovarajući rabat (pust na baznu cenu). Rabati se kreću za krajnje korisnike i do 50%, zavisno od vrednosti porudžbine.

Zahvaljujući stalnom rastu cena alata, na svetskom tržištu, kao i promenama kurseva valuta, kod većine izvoznih alata, nešto prodajna cena je viša od domaće cene. Obzirom da prodaja jugoslovenskih i ostalih uvoznih alata, ide preko uvoznih preduzeća, koja distribuiraju alat preko manjih trgovina, to se ona udvostruči, pa čak i utrostruči. Na toj razlici u ceni živi ogroman broj trgovaca alatom na Zapadu, pored kojih je, praktično nemoguće, doći do krajnjeg potrošača. Uzimajući



ove činjenice u obzir, može se zaključiti, da jugoslovenska prerada metala, zahvaljujući veoma razvijenoj industriji reznog alata, uživa povoljnosti koje se ogledaju u bogatom asortimanu, odličnom kvalitetu i veoma povoljnoj ceni.

Jugoslovenska industrija reznog alata, kroz svoju stalnu izvoznju tendenciju uspela je da obezbedi, za svoje alate, visok renome. Mogućnosti izvoza u ovom trenutku, mnogo su veće od kapacitetnih mogućnosti proizvodnje. Pored toga, u ovom trenutku su u pripremi investicije za proizvodnju alata koji se uvoze. To su, u prvom redu, alati od tvrdog metala, alati za ozubljenje i alati za provlačenje. Imajući sve ovo u vidu, sigurno je, da će trend razvoja i u buduće biti ubrzan, što je od višestranog interesa.

I pored toga, što je proizvodnja reznih alata, praktično, bazirana na uvozu repromaterijala i specifične opreme, ona je danas sposobna da polovinom svog izvoza pokrije svoje uvozne potrebe i tako ostvari suficit deviznih sredstava za društvo. Ovo je značajan faktor zbog koga će razvoj alatne industrije biti podržan od društveno-političke zajednice.

Pošto uvozna suma za proizvodnju reznog alata nije tako mala (u 1980.god. oko 600 miliona dinara) to se mora intenzivno raditi na iznalaženju domaćih resursa. Tu se mora raditi u dva pravca: na osvajanju proizvodnje specifične opreme i na proizvodnji novih alatnih materijala, o čemu je bilo reči.

Reference

- /1/ Šolaja V., Obrada rezanjem, Uvodni referat, Zbornik X savetovanja proizvodnog mašinstva, Beograd, 1975.
- /2/ Djuranović V., Referat o ostvarivanju ekonomske stabilnosti, Sednica CKSKJ, Beograd, juna 1980.
- /3/ Šolaja V., Proizvodno mašinstvo 1965-1975., mesto IR-delatnosti u privrednom napredovanju, Zbornik X savetovanja proizvodnog mašinstva, Beograd, 1975.
- /4/ Sekulić S., Obrada rezanjem, Uvodni referat, Zbornik V savetovanja proizvodnog mašinstva, Novi Sad, 1971.
- /5/ Peklenik J., Tehnologija strojne obdelave in njeni organizacioni prijemi, Uvodni referat, Zbornik VIII posvetovanja proizvodnog strojništva, Ljubljana, 1973.
- /6/ Rodič J., Razvoj orodnih jekel, Uvodni referat, Zbornik XII posvetovanja proizvodnog strojništva, Maribor, 1978.
- /7/ Jovičić M., Osnovne tendencije razvoja alatnih materijala i neki domaći naponi u toj oblasti, Zbornik XII posvetovanja proizvodnega strojništva, Maribor, 1978.
- /8/ Kuljanić E., i dr. Usporedba novih materijala alata, Zbornik XII posvetovanja proizvodnega strojništva, Maribor, 1978.
- /9/ Mišković A., Prilog studiji primene novih materijala alata, Zbornik XII posvetovanja proizvodnega strojništva, Maribor, 1978.
- /10/ Kuljanić E., Obrada skidanjem strugotine, Uvodni referat, Zbornik XIII savetovanja proizvodnog mašinstva, Banja Luka, 1979.
- /11/ Vasiljević B., Produktivnost i ekonomičnost u funkciji vrste i kvaliteta savremenih tvrdih metala, Tribologija u industriji, Kragujevac, 1 (1980).
- /12/ Vukelja D., Arsovski S., Neki rezultati ispitivanja prevučanih tvrdih metala preduzeća "Sintal", Zbornik radova MMA'76, Novi Sad, 1976.
- /13/ Ivković B., Struktura troškova proizvodnje u obradi metala, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1974.
- /14/ Ivković B., Obrada metala rezanjem, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1976.
- /15/ Statut Osnovne zajednice nauke Regiona Kraljevo, Čačak, 1979.
- /16/ Pregled strateških projekata SR Srbije, Republička zajednica nauke, Beograd, 1980.

- /17/ Dužević D., Savremene dileme razvoja tvrdog metala, Zbornik radova JUREMA'75, Zagreb, 1975.
- /18/ Dužević D., i dr., Primjeri obrade metala skidanjem strugotine u domaćim metaloprerađivačkim pogonima, Stručno-naučni skup MMA'76, Novi Sad, 1976.
- /19/ Nikić Z., Urezivanje navoja sa velikim brzinama rezanja, Zbornik XIII savetovanja proizvodnog mašinstva, Banja Luka, 1979.
- /20/ Opitz G., Dokladi londonskoj konferenciji 1957., Ob iznose režušćeg instrumenta, i-vo inostr. lit., Moskva, 1959.
- /21/ Axer N., Temperatur Feld und elektro-hemischer Verschleiss am Drehmeissel Aufwand, Leistung und Wirtschaftlichkeit neuzeitlicher Werkzeugmaschinen, G. Achener Werkzeugmaschinen - K. 1953., Essen, 1953.
- /22/ Hehenkamp T., Untersuchungen über den kompenzationbaren Verschleiss am Drehmeisseln aus Hartmetaller, Bd 29 N<sup>o</sup> 4 (1958).
- /23/ Reznikov N., Teploobmen pri rezanii i ohlaždenii instrumentov, Mašgiz, Moskva, 1973.
- /24/ Rižkin A., Vlijanie električeskogo toka na iznos pri rezanii, Nauka, Moskva, 1969.
- /25/ Dubrov J., Elektroerozionnij iznos režušćih instrumentov i vlijanie električeskij javlenij na čistotu obrabotanoj poverhnosti, Nauka, Moskva, 1969.
- /26/ Postnikov S., K voprosu ob isledovanii električeskij javlenij pri trenii i rezanii metalov, Nauka, Moskva, 1969.
- /27/ Korobov J., Elektromehaničeskij iznos pri trenii i rezanii metallov, Tehnika, Kiev, 1976.
- /28/ Bobrovskij A., Elektrodifuzionij iznos instrumenta, M-stroenie, Moskva, 1970.
- /29/ Schan N., Wear of cutting tools: Thermo - Electric Effekts, Wear, 32 (1975).
- /30/ Kittel E., Fizika čvrstog stanja, Naučna knjiga, Beograd, 1970.
- /31/ Novikov B., Teorija dislokacij, M-stroenie, Moskva, 1975.
- /32/ Loladze N., Iznos režušćeg instrumenta, Mašgiz, Moskva, 1958.
- /33/ Venkatesh C., Diffusion Wear of high-speed steel tools, Adv.Mash. Tool Design and Rea., 1966. Pregled u RI 42(1967).
- /34/ Venkatesh C., On a diffusion wear model for high-speed steel

Trans. ASME J. Lubric. Technol., 2 (1978), Pregled u RI 13 (1978).

- /35/ Pavlovski V., Šolaja V., Ispitivanje uticaja termoelektričnih pojava na oksidaciono habanje reznih alata i njegovo sprečavanje, Zbornik XII posvetovanja proizvodnjega strojništva, Maribor, 1978.
- /36/ Nikić Z., Elektromehaničko habanje reznog alata, pri završnoj obradi, Zbornik radova PTF Čačak, Čačak, 1978.
- /37/ Markosjan G., K voprosu o vlijanii elektroizolacii rezcov na ih strojnost, Odessa, Izd-vo VSN TO - 1973.
- /38/ Katalog proizvođača SPK-Schneidkeramik, Feldmühle, 1980.
- /39/ Seljak Z., Kopač J., Obdelovalnost sferolitine za izdelavo valjev v metalurški industriji, Zbornik XIII savetovanja proizvodnog mašinstva, Banja Luka, 1979.
- /40/ Protokol soveščanija predstavitelj kompententnih organov, Sovet ekonomičeskoj vzajmopomošći, Moskva, 1979.
- /41/ Margić S., Primjena keramičkih reznih pločica u našoj industriji, Zbornik XIV Savetovanja proizvodnog mašinstva, Čačak, 1980.
- /42/ Alat - uporedna analiza razvoja jugoslovenske industrije za preradu metala, "Alat", Beograd, 1969.
- /43/ Bilanani pokazatelji za 1978., 1979. i 1980. godinu, PZ "Alat", Beograd.
- /44/ INDEX br. 8/1980., Savezni zavod za statistiku.
- /45/ Ausseuhandel nach Waren und Ländern, BRD, 1979.



## XIV SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAČ, 1980.

S. Živanović \*)

## RAZVOJNI PRAVCI ALATA ZA OBRADU METALA DEFORMISANJEM

1. Uvod

Uloga alata za obradu metala deformisanjem u svom cjelovitom obradnom sistemu jače je izražena i mnogo je značajnija nego što je to slučaj sa alatom za obradu skidanjem strugotine. Stoga je i problem konstrukcije i proizvodnje alata za deformisanje veoma složen. On iziskuje angažovanje velikog broja visoko stručnog kadra i znatnih materijalnih sredstava. A obzirom na stalni porast obima proizvodnje kroz obradu deformisanjem, i to u svjetskim razmjerama, proizvođačima ove vrste alata postavljaju se sve veći zahtjevi: kako u odnosu na kvalitet, produktivnost i ekonomičnost, tako i u odnosu na rokove izrade. Ovi zahtjevi se prenose na konstrukcione i tehnološke biroa, odakle prodiru neposredno ili sa znatnim vremenskim zakašnjenjem u odgovarajuće istraživačke zavode ili institute.

Proces konstruisanja alata za obradu deformisanjem spada u grupu djelatnosti gdje potpuno zadovoljavanje jednog zahtjeva eliminiše mogućnost realizacije nekog drugog, isto tako značajnog zahtjeva. Pojavljuje se neophodnost traganja za takvim rješenjem koje bi uzelo u obzir zadovoljavanje, u što je moguće većoj mjeri, svih značajnih zahtjeva. Tako se stiže u jedan veoma složeni misaoni prostor, koji mora biti ispunjen već postojećim saznanjima i u kome mora doći do multiplikacije saznanja, na osnovu kojih će biti oblikovani elementi konstrukcije, savršeni od do tada poznatih. Ugradjivanjem odgovarajućih kriterija u koncepcione postavke iznalaziće se rješenje kroz optimizaciju: ublažavanje

---

\*) Dr Stevan Živanović, redovni profesor Mašinskog fakulteta u Banjaluci, ul. Danka Mitrova 63

pojedinih zahtjeva u cilju dobijanja rješenja prihvatljivog, mada ne i željenog, sa stanovišta kriterija koji su u tom procesu označeni kao najznačajniji. Sve ovo dolazi do snažnog izražaja u području čovjekove djelatnosti koja se bavi izradom alata za obradu metala deformisanjem. Problem optimizacije u alatogradnji ove vrste dolazi do svojih vrhunskih izražajnosti. Stoga je razumljivo što operator ovih djelatnosti mora biti veoma bogat elementima varijacije. Sposoban da stvori nove algoritme za nove uslove postojanja proizvoda svoje djelatnosti.

Prisutnost stalnog usavršavanja tehnoloških elemenata obrade deformisanjem, kao i povremeno iznalaženje potpuno novih rješenja, odražava se na ubrzani konstrukciono tehnološki razvoj alata za deformisanje.

Praćenje ovog razvoja u svjetskim razmjerama postalo je sve otežanije obzirom na strateško ekonomski značaj novih rješenja alata za obradu deformisanjem. Stoga je i razumljivo zaostajanje ove vrste alatogradnje u zemljama koje nisu nosioci tih rješenja. Tako da je i ovdje veoma prisutna razlika u strateško ekonomskom značaju između alata za skidanje strugotine i alata za obradu deformisanjem. Posljedica te razlike dolazi do izražaja u mnogo većoj diferencijaciji nivoa između pojedinih zemalja u pogledu savremenosti primjenjivanog alata za obradu deformisanjem, nego što je to slučaj sa alatom za skidanje strugotine.

Navedeno ukazuje na prvorazredni značaj problema izrade alata za deformisanje za svaku zemlju koja teži ka jačanju svoje pozicije na svjetskom tržištu. Ovo dokazuje i činjenica da su razmjere međunarodne trgovine alatom za deformisanje veoma male, a i u tim slučajevima da je trgovina ograničena na starija konstrukciono tehnološka rješenja. U oblasti reznog alata stvari stoje drugačije. Tu su prisutne znatne količine alata u međunarodnoj trgovini.

Značaj problema izrade alata za deformisanjem za jačanje ekonomske pozicije dotične zemlje proizilazi iz uticaja koji ovaj alat vrši na sveopštu ekonomsku poziciju dotične zemlje. Tako da je sasvim razumljivo nastojanje, danas opšteprisutno,

da bez ubrzanog razvoja u deformacionoj alatogradnji nema brzog ekonomskog razvoja dotične zemlje u koliko u njenoj ekonomici metaloprerađivačka industrija zauzima značajno mjesto.

Obzirom da dans u visokorazvijenim zemljama postoji i snažno razvijena proizvodnja alata za obradu deformisanjem, i to uz realizaciju najnovijih konstrukciono tehnoloških rješenja, to uspješnost u traganju za tim nivoom u cilju njegovog upoznavanja, predstavlja istovremeno i sagledavanje razvojnih pravaca u ovoj oblasti u manje razvijenim zemljama, obzirom da one same još uvijek nisu sposobne, bar ne u značajnijem obimu, da nametnu rješenja koja bi konkurisala već postojećim rješenjima. Ovo važi naravno i za našu zemlju.

Medjutim sagledavanje razvojnih pravaca alata za obradu metala deformisanjem u visokorazvijenim zemljama moguće je postići sa ozbiljnim stepenom vjerovatnoće kroz posmatranje dosadašnjeg razvoja u ovoj oblasti i tehničkih mogućnosti koje pružaju druge oblasti metaloprerađivačke industrije. Ovdje značajna uloga pripada novim vrstama materijala koje će se koristiti u izradi ove vrste alata.

Strateško ekonomski značaj deformacione alatogradnje ukazuje na neophodnost da razvoju ove djelatnosti moramo posvetiti veću pažnju nego što je to činjeno do sada. Da je ta neophodnost u nas već uočena može da posluži činjenica da je naš najveći proizvođač reznog alata "Fabrika reznog alata u Čačku", već dio svog proizvodnog kapaciteta usmjerio na izradu alata za obradu deformisanjem, kao i da najveći jugoslovenski proizvođač deformacionih mašina "Jelšingrad" u Banjaluci projektuje izgradnju velikih pogona alata za obradu deformisanjem. Ovo nisu usamnjeni primjeri. Još prije više godina "Crvena zastava" u Kragujevcu je stvorila svoj sopstveni kadar koji rješava probleme iz oblasti alata za deformisanje, osamostaljujući se na taj način od licencodavca. Takođe u nizu jugoslovenskih metaloprerađivačkih preduzeća postoje jake konstrukciono tehnološke ekipe. Ilustracije radi navedimo neke od njih: "Fabrika teretnih automobila" u Mariboru, "Tesla" u Zagrebu, "Čajavec" u Banjaluci, "Bratstvo" u Novom Travniku i druge. A o shvatanju navedene neophodnosti od strane



naučno-obrazovnih ustanova svjedoči široka djelatnost već nekoliko godina Sekcije za obradu deformisanjem u okviru Zajednice jugoslovenskih naučno istraživačkih institucija proizvodnog mašinstva.

## 2. Sadašnji razvojni nivo alata za deformisanje

Alati za obradu deformisanjem mogu biti podijeljeni u dvije osnovne grupe: alati za obradu lima i alati za zapreminsku obradu. U ovoj tački biće razmatrani interesantniji elementi razvojnog nivoa obje grupe alata.

### 2.1. Alati za obradu lima

Alate za obradu lima sačinjavaju slijedeće osnovne vrste:

- Alat za obradu razdvajanjem
- Alat za savijanje
- Alat za troosno neopvratno preoblikovanje

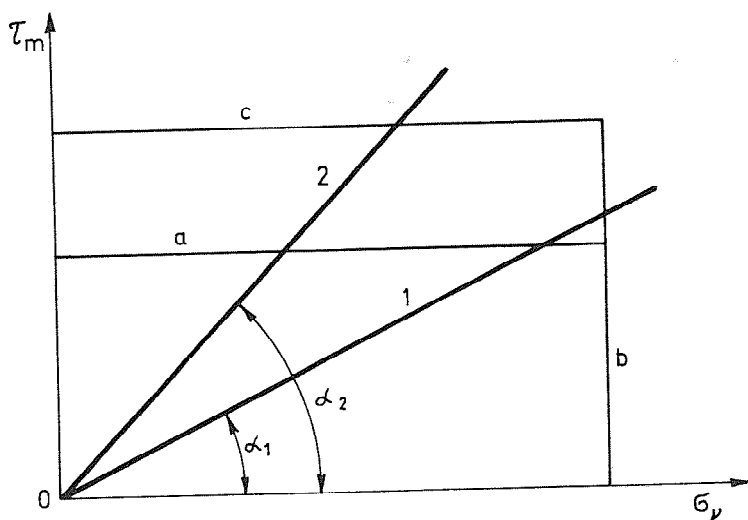
#### 2.1.1. Alat za obradu razdvajanjem

U ovoj vrsti alata najznačajniji su i najrasprostranjeniji alati za prosjecanje i probijanje, čija je efikasnost izražena kroz: kvalitet izradka, produktivnost i trajnost alata. Pod kvalitetom izradka ovdje se podrazumjeva prije svega kvalitet prosječene, odnosno probijene površine. A kvalitet te površine zavisi od više uticajnih faktora. Ipak svi ti faktori mogu biti podijeljeni na dvije osnovne grupe: faktore koji zavise od spoljašnje i faktore koji zavise od unutrašnje strukture obratka i radnih djelova alata. Pod spoljašnjom strukturom podrazumjevamo svojstva koja se daju opisati geometrijom, a pod unutrašnjim svojstvima ona koja se opisuju raznim fizikalnim naukama. Znači da geometrijsko tribološka svojstva sačinjavaju faktore spoljašnje strukture, a svojstva materijala obratka i radnih djelova alata faktore unutrašnje strukture.

Obzirom na stalno rastuće zahtjeve u pogledu tačnosti pojedinih djelova, a naročito onih od debljih limova, pokazuje se kao neophodnost, kod takvih zahtjeva, da se neravna zona na smaknutim površinama, dobijena u području krtog razaranja, učini što manjom, a po mogućnosti da se sasvim izbjegne. Znači, da ako

razdvojne površine imaju funkcionalni karakter, onda one moraju zadovoljiti slijedeće zahtjeve: da budu glatke, da mjerama odgovaraju vrlo uskim tolerancijama, da budu okomite na površinu lima.

Navedeni zahtjevi mogu biti zadovoljeni na više načina, pri čemu vodeća uloga u tom ostvarenju pripada, i to u svim slučajevima, jednoj od komponenti unutrašnje strukture obradka: naponskoj shemi procesa. Neophodno je da se proces odvija uz prisustvo što većih pritisnih napona, što se postiže promjenom radne geometrijske strukture alata. To se da najbolje objasniti na Fridmanovom dijagramu.



Sl. 1. Fridmanov naponski dijagram

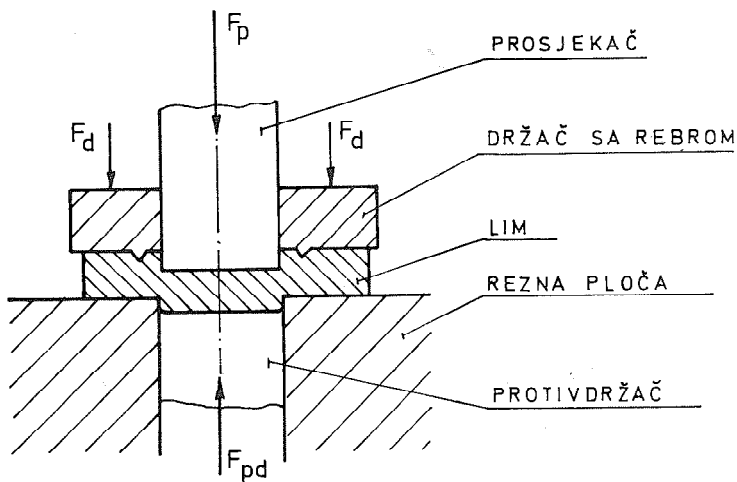
Značenje oznaka na sl.1.

- a - granica plastičnosti
- b - granica krtog razaranja
- c - granica plastičnog razaranja
- 1 - klasično prosjecanje
- 2 - čisto prosjecanje

$$\sigma_y = \sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3) \quad \text{i} \quad \tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

Poznato je da se smanjenjem zazora postiže bolji kvalitet prosječne površine, ali i to da se na taj način ne može udovoljiti oštrijim zahtjevima u odnosu na kvalitet, a to stoga što se ugao nagiba  $\alpha_1$  linije "l" (sl.l.) ne može na taj način povećati tako da linija "l" predje presjek prave "b" i "c" u pravcu ose  $\tau_{\max}$ .

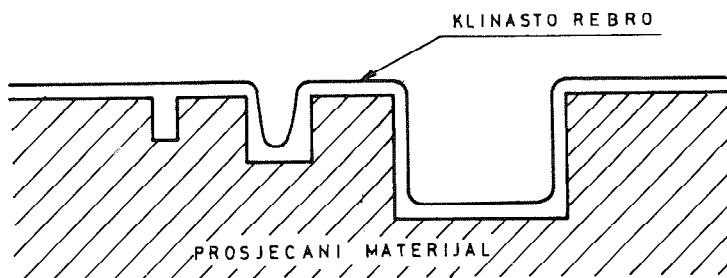
U cilju prelaska prave "l" u položaj prave "2" neophodno je da zatezni naponi budu zamijenjeni pritiskim naponima u većoj mjeri. To se može postići na nekoliko načina. Osnovna suština svih njih je da se u zoni prosjecanja, odnosno probijanja stvore dodatni pritiskni naponi. Dosada su najbolji rezultati postignuti metodom finog prosjecanja, takozvana metoda "fine tool". Ova metoda omogućuje da se dobiju tačne i glatke razdvojne površine u samo jednom hodu prese.



Sl. 2. Shema finog prosjecanja

Alati za fino prosjecanje posjeduju geometrijske specifič-

nosti. Ovdje se veličina zazora svodi na 1% debljine lima. Primjena klinastog rebra, samo na držaču pri debljini lima do 4 mm i dodatnog rebra na reznoj ploči za materijale deblje od 4 mm, omogućuje dovodjenje materijala u zoni prosjecanja u pritisno naponsko stanje. Ova metoda se primjenjuje za materijale debljine do 15 mm. Klinasta rebra zaobilaze oštre diskontinuitete profila, tj. ako su ti diskontinuiteti manji od 4 debljine lima.



Sl. 3. Položaj klinastog rebra

Udaljenost oštrice klinastog rebra od ivice držača i visina tog rebra zavisi od debljine prosjecanog materijala i kreće se od 0,5 do 6,0 mm.

Trajnost alata za fino prosjecanje je znatno manja od klasičnog alata i pored primjene specijalnog maziva, a to usljed znatno većih opterećenja, koja dostižu i trostruko veće vrijednosti nego kod klasičnog prosjecanja. Zatim su neophodne specijalne hidraulične ili mehaničko-hidraulične prese.

U cilju dobijanja tačne i glatke razdvojne površine primjenjuje se i prosjecanje sa mjerama prosjekača većima od mjera radnog otvora u reznoj ploči, tj. metoda  $d_s > d_m$ . Ovdje je jezgro, koje je komad, podvrgnuto troosnom pritiskivanju usljed čega se izbjegava krto razaranje. Mjere prosjekača su jednostrano veće od otvora u reznoj ploči za 0,1 do 0,15 debljine prosjecanog materijala. Obzirom na povratnu elastičnu deformaciju mjere otvora rezne ploče treba da su manje od mjera prosječenog komada za oko 0,02-0,04 mm. Ova metoda je podesna za prosjecanje obojenih meta-

la i njihovih legura. Za meki čelik je neprimjenljiva obzirom na pojavu tankog prilepljivog sloja.

Vredna pažnje je i takozvana "metoda nagnutih bočnih površina". Tu se prosjecanje vrši sa alatom u kome je otvor u reznoj ploči sužavajući na strani suprotnoj od prosjekača, a zatim prelazi u paralelne bočne površine. Prosjekač je okomitih bočnih površina. Zazor iznosi 0,01 - 0,02.

Za probijanje primjenjuje se alat u kome otvor u reznoj ploči posjeduje paralelne bočne površine, a probojac je sa proširivajućim nagnutim bočnim površinama. Troškovi izrade ove vrste alata su za 50% veći od troškova izrade klasičnog alata. A vijek trajanja alata 4 do 10 puta manji.

Zamjenjivanje zateznih napona pritiskom u procesu prosjecanja može se postići i "metodom prosjecanja pomoću plastičnih metala", gdje se umjesto rezne ploče primjenjuje pločica od plastičnog metala (npr. olovo ili aluminij) bez otvora, što pogoduje stvaranju dodatnih pritisknih napona u zoni prosjecanja, a i kasnije. Ova metoda se može primjeniti za debljine lima do 0,8 mm.

U posljednje vrijeme počinje se primjenjivati i "metoda eksplozivnog prosjecanja i probijanja". Ova metoda također bazira na dodatnim pritisknim naponima u zoni prosjecanja, odnosno probijanja. Najmanji otvor koji se može postići ovakvim probijanjem iznosi 6 debljina lima.

"Metoda stepenastog prosjecanja i probijanja" se zasniva isto tako na stvaranju dodatnih pritisknih napona u zoni razdvajanja. Ova metoda nailazi na širu primjenu u Japanu.

Zamjenom metalnih radnih djelova alata, tj. rezne ploče ili probojca, poliuretanom (jedna vrsta plastičnih masa) postiže se naponska shema procesa slična kao i u svim prethodno opisanim metodama.

Sposobnost poliuretana da radi pri visokim i veoma visokim pritiscima, koji mogu dostići i  $100 \text{ kN/cm}^2$ , omogućila je njegovu široku primjenu u operacijama razdvajanja. Ovdje se umjesto

tradicionalnog alata od alatnog čelika koristi jedino rezni šablon debljine nekoliko milimetara i univerzalni kontejner sa poliuretanom. Pomoću takvog šablona vrši se prosjecanje sa istovremenim probijanjem otvora, a takodje i plitko trosono preobliskovanje.

Prosjecanje i probijanje poliuretanom može se primjeniti za izradu djelova proizvoljne konfiguracije od aluminijskih legura, bakra i mesinga debljine do 2,5 mm, od ugljeničnih čelika i bronzе do 1,5 mm, a od nerđajućih čelika, titanovih i manganovih legura do 1 mm. Takodje se može vršiti prosjecanje i debljih materijala, čak do 5 mm, ali pri tome opada kvalitet razdvojne površine. Minimalna debljina prosječenih djelova nije ograničena, tako da se mogu dobiti prosječeni djelovi iz aluminijske i bakarne folije debljine 0,02 mm visokog kvaliteta i bez srha (grata). Ovo je veoma dragocjeno svojstvo procesa prosjecanja i probijanja poliuretanom, obzirom da je pri upotrebi klasičnog alata za tanke materijale neophodno da taj alat bude praktično bez zazora, što povlači za sobom kod složene konfiguracije izradka niz teškoća koje povećavaju troškove izrade takvog alata od alatnog čelika.

U zemljama visokorazvijene metaloprerađivačke industrije razdvajanje poliuretanom se primjenjuje veoma uspješno, tako je npr. ova vrsta alata u Sovjetskom Savezu već i standardizovana. Mjere prosječenih djelova su od nekoliko milimetara do 1 m i više i to iz različitih materijala. Ekonomski efekat postiže se uglavnom na račun znatnog pojeftinjenja alata. Primjena poliuretanskog alata smanjuje vrijeme izrade konstrukcije 10 do 20 puta, a izrade alata 20 - 30 puta. Utrošak materijala za alat se smanjuje 60 - 90 puta. Površina skladištenja alata se smanjuje 30 - 50 puta. Otpadaju gubici usljed ispravljanja izradaka i otklanjanja srha, obzirom da se dobijaju izradci plosnati i bez srha. Opšti troškovi alata smanjuju se 3 - 5 puta, a u izvjsnim slučajevima i do 10 puta.

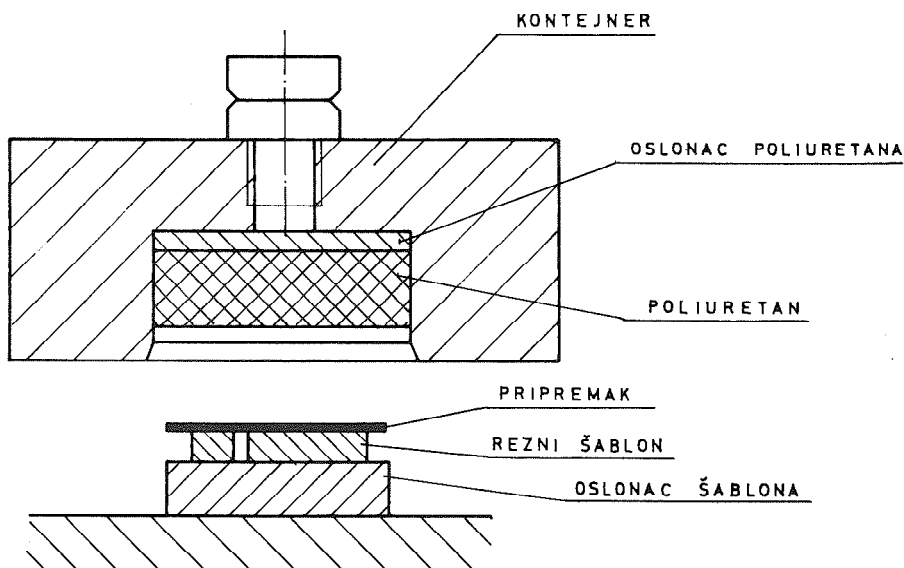
Optimalna visina reznog šablona određuje se po obrascu

$$H = 3 ( 1 + 0,01 e_{10} ) \sqrt{s}$$

gdje je

$e_{10}$  - relativno izduženje materijala priprema, %

$s$  - debljina priprema, mm



#### Sl. 4. Univerzalni alat za prosjecanje poliuretanom

Minimalni prečnik otvora probijanog poliuretanom iznosi

$$d_{\min} > 3 s$$

Primjena poliuretanskog alata preporučuje se za programe do 10.000 komada.

#### 2.1.2. Alati za savijanje

U toku poslednjih godina u grupi alata za obradu lima najmanje su se razvijali alati za savijanje. Ipak i u ovoj vrsti alata došlo je do izvjesnih usavršavanja. Tu treba navesti slijedeće razvojne komponente:

- primjena univerzalno-montažnih alata

- alati sa tvrdim metalom
- alati za mašine tipa Bihler

Univerzalno-montažni alati našli su primjenu u maloserijskoj i srednjoserijskoj proizvodnji obzirom na znatno smanjenje troškova izrade alata i utrošak materijala za njih.

Alati sa tvrdim metalom nalaze sve veću primjenu u industrijski visokorazvijenim zemljama i to u velikoserijskoj i masovnoj proizvodnji. Njihova primjena povećava trajnost alata za 20 - 40 puta.

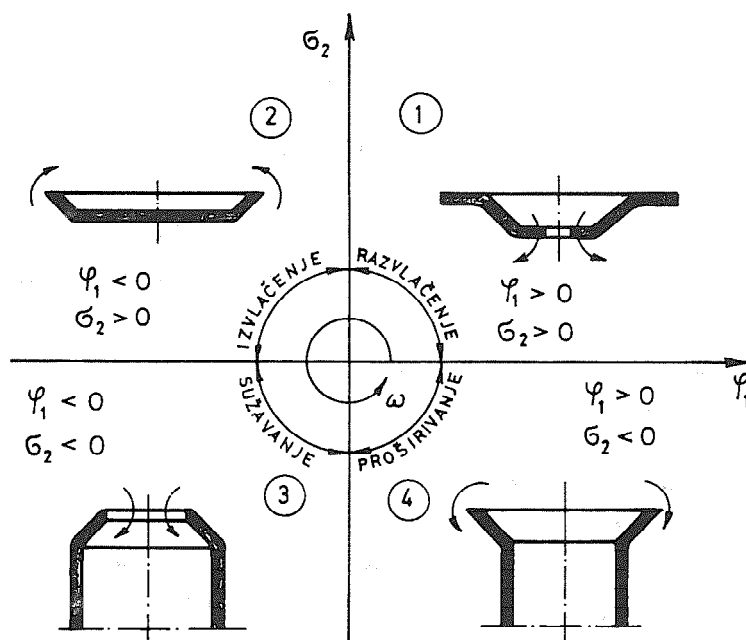
Alati za mašine tipa Bihler predstavljaju novi konstrukcijski razvojni smjer alata za savijanje. Njihova specifičnost proizilazi iz različitosti kinematike ove vrste mašina. Svojom konstrukcijom su prilagodjeni automatizovanom procesu. U većini slučajeva su spregnuti sa elementima za prosjecanje i probijanje. Njihova osnovna prednost je u mogućnosti savijanja u više ravni. Ova vrsta alata podsjeća donekle na alate za automate za obradu rezanjem.

### 2.1.3. Alati za troosno nepovratno preoblikovanje

Medju alatima za deformisanje najbrži razvoj u posljednjem periodu se primjećuje kod alata za troosno nepovratno preoblikovanje. Razvoj se sastoji u oblikovanju radnih djelova alata sa ciljem postizavanja što većeg stepena preoblikovanja kroz bezbjedno približavanje granici gubitka stabilnosti procesa. Pod pojmom stepena preoblikovanja podrazumjeva se odnos računskih mjera priprema i izradka. Tako npr. kod izvlačenja cilindričnih posuda stepen preoblikovanja predstavlja odnos prečnika priprema i srednjeg prečnika izradka.

Stepen preoblikovanja može biti veći ili manji od 1. Kod kacentričnih procesa (izvlačenje i sužavanje) stepen preoblikovanja je veći od 1, a kod odcentričnih procesa on je manji od 1. Pod kacentričnim procesima podrazumjevaju se procesi kod kojih obimna logaritamska deformacija posjeduje negativnu vrijednost, a pod odcentričnim gdje ta deformacija posjeduje pozitivnu vrijednost. Za odredjivanje smjera stepena preoblikovanja može služiti krug plastičnosti, koji je prikazan na sl. 5.





Sl. 5. Krug plastičnosti

Na sl.5.  $\varphi_1$  označava obimnu logaritamsku deformaciju, a  $\sigma_2$  meridijanski napon. Brojčane oznake predstavljaju:  
 1 - razvlačenje sa provlačenjem, 2 - izvlačenje, 3 - sužavanje,  
 4 - proširivanje.

Medju najznačajnijim dostignućima u poslednjem periodu u konstrukciji alata za troosno nepovratno preoblikovanje treba navesti:

- Fluidno preoblikovanje
- Impulsivno oblikovanje
- Elastični diferencirani držači
- Nov metod izrade pravougaonih posuda
- Istraživanje uticaja zazora na stepen preoblikovanja
- Profiliranje radnog otvora u oblikovnoj ploči
- Izodeformabile

- Primjena tvrdih metala
- Primjena poliuretana

Fluidno preoblikovanje je u toku poslednjih godina doživjelo snažan razvoj. Postoje dvije osnovne vrste ovog preoblikovanja. Prva vrsta se realizuje alatom koji ima metalni oblikač (npr. izvlakač) a umjesto oblikovne ploče koristi se fluid. Kod druge vrste alata je obratno: oblikovna ploča je metalna, a umjesto oblikača koristi se fluid. Prva metoda ima veću industrijsku primjenu i u visokorazvijenim zemljama je zastupljena sa značajnim procentom u grupi alata za troosno nepovratno preoblikovanje. Ova vrsta alata prouzrokovala je proizvodnju mašina tipa hidroform. Druga grupa ima mnogo manje praktične mogućnosti.

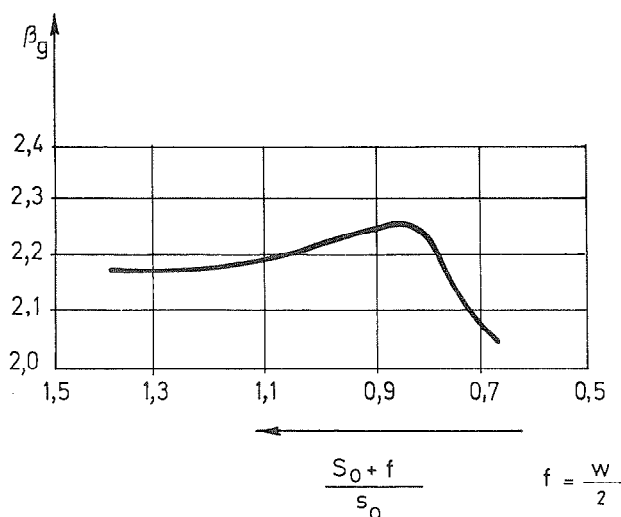
Impulsivno oblikovanje nailazi na sve veću primjenu kroz raznovrsne načine stvaranja preoblikovnih impulsa. Ovdje se ističu prije svega dvije vrste impulsivnog oblikovanja: podvodno eksplozivno izvlačenje i elektrohidraulično oblikovanje. U oba slučaja alat je veoma prost i jeftin. Oblikač ne postoji već jedino oblikovna ploča. U ovom alatu se postižu znatno veće tačnosti mjera izradka, kao i poboljšanje njegovih mehaničkih svojstava. U njima se mogu obradivati materijali sa slabim plastičnim svojstvima, kao i oni sa visokim stepenom sklonosti ka plastičnom preoblikovanju. Mnogo je veća bezbjednost u radu, a mogu se obradivati i predmeti velikih mjera i debljina. Ova vrsta alata omogućuje oblikovanje izradaka krupnih i odgovornih elemenata za kosmičke objekte, zatim u brodogradjevnoj (npr. za podmornice) i vojnoj industriji.

Elastični diferencirani držači zamjenili su klasična vučna rebra. Najprije su primjenjeni u Njemačkoj Demokratskoj Republici. Njihova prednost je u omogućavanju postizavanja većeg stepena preoblikovanja nego pri primjeni vučnih rebara, obzirom da ne izazivaju prekomjerni pritisak na obrađak, i istovremeno sprečavaju stvaranje nabora.

Nova metoda izrade pravougaonih posuda prouzrokovala je novu konstrukciju alata za ovu vrstu izradaka. Mogućnost primjene ove vrste alata je ogromna obzirom da po broju komada posude sa pravougaonim presjekom u odnosu na cilindrične posude već za-

uzimaju oko 35 % , i to u svjetskim razmjerama. U ogromnom broju slučajeva u klasičnim alatima potrebno je 3 - 5 izvlačenja, pri čemu se konture i razmjere poslednja tri izvlačenja razlikuju među sobom veoma malo. I pored tako velikog broja izvlačenja pojavljuju se pukotine i nabori u uglovima i obodima obratka i to na predposlednjim izvlačenjima. Često puta u klasičnim alatima dolazi do prelaska dopuštenog stepena deformacije, a to izaziva nedopušteno smanjenje debljine stijenke. Za novu vrstu alata primjenjuju se kružni pripremlci, a broj operacija se svodi na dva izvlačenja. U prvoj operaciji alat obezbjedjuje cilindričnu posudu čije je dno plosnato i pravougaonog presjeka koje postepeno prelazi u cilindričnu bočnu stijenku. U drugoj operaciji preoblikuje se obradak iz prve operacije, tj. cilindričnu posudu sa pravougaonim dnom u posudu željenog pravougaonog presjeka. U ovoj novoj vrsti alata stepen preoblikovanja treba usvojiti kao i kod cilindričnih posuda bez oboda, a to znači da se rezultati istraživanja granice gubitka stabilnosti procesa izvlačenja cilindričnih posuda bez oboda mogu primjeniti i za izvlačenje pravougaonih posuda.

Istraživanje uticaja zazora na stepen preoblikovanja pokazuje da negativna zračnost veličine 0,85 - 0,95 početne debljine pripremlka omogućuje najveći stepen preoblikovanja



Sl.6. Uticaj zazora na granični stepen preoblikovanja

Na sl.6. sa  $F$  je označena zračnost, tj. polovina zazora, a sa  $s_0$  početna debljina priprema.

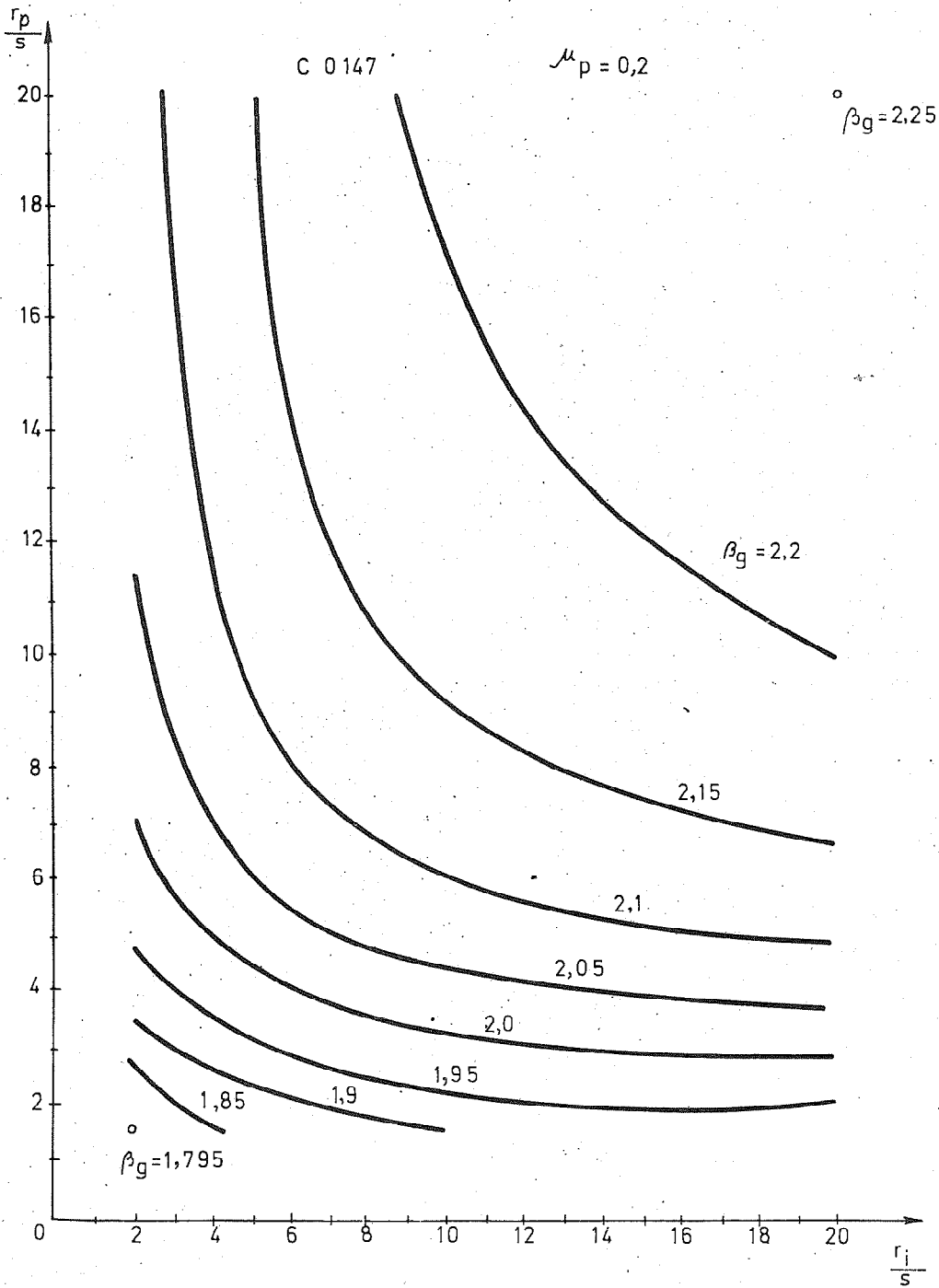
Profiliranje radnog otvora u oblikovnoj ploči vodi kod ovog alata takodje ka povećanju stepena preoblikovanja. Medju profilima preovladjuje konusni, traktriksa, a i neki drugi. Odnosno poluprečnika zaobljenja radnog otvora u oblikovnoj ploči treba navesti da tu postoji u svjetskim razmjerama nesredjenost. Istraživanja autora ovog saopštenja dovela su, kroz definisanje položaja granice gubitka stabilnosti za razne materijale, do konstrukcija izodeformabila.

Uvodjenje izodeformabila u proces odabiranja konstruktivnih postavki alata za duboko izvlačenje omogućilo je optimizaciju geometrijsko triboloških elemenata radnih oblikovnih površina ove vrste alata. Na sl. 7. prikazane su izodeformabile za čelik Č 0147. Odnos  $r_p/s$  nosi naziv relativnog zaobljenja radnog otvora ploče prema debljini priprema. Odnos  $r_i/s$  nosi naziv relativnog zaobljenja radne ivice izvlakača i predstavlja odnos poluprečnika zaobljenja izvlakača prema debljini priprema.  $\beta_g$  označava granični stepen preoblikovanja. Prikazane izodeformabile odnose se na izvlačenje bez podmazivanja, tj.  $\mu_p = 0,2$ .

Metodologija izdeformabila se odnosi i na u ovoj tački opisanu novu vrstu alata za izvlačenje pravougaonih posuda. Značaj izodeformabila se sastoji u pružanju mogućnosti konstruktorima alata za duboko izvlačenje da izvrše optimizaciju geometrijsko triboloških elemenata alata. Pojam "izodeformabila" je autor ovog rada oblikovao i uveo po prvi put u publikacijama prije godinu i po dana. Suštinu izodeformabila autor je opisao u više domaćih publikacija a takodje i u nekim stranim.

U alatima za troosno nepovratno preoblikovanje za velike serije i masovnu proizvodnju sve više se upotrebljavaju uložci od tvrdog metala, koji povećavaju za 30 - 50 puta vijek trajanja alata.

Primjena poliuretana kao oblikovnog elementa u alatima za troosno nepovratno preoblikovanje, naročito za plitka preoblikovanja, tj. male stepene preoblikovanja, susreće se u metalopre-



Sl. 7. Granične izodeformabile

radjivačkoj industriji razvijenijih zemalja. Ova vrsta alata tek treba da dodje do izražaja.

## 2.2. Alati za zapreminsku obradu

Zapreminska obrada se vrši pomoću tri osnovne vrste alata, tj. alata za:

- kovanje
- istiskivanje
- izradu ozubljenja

Konstrukcija alata za kovanje u vrućem stanju usavršava se poslednjih godina dosta sporo. Tu se prije svega vrši primjena istraživanja uticaja pojedinih faktora na kvalitet otkovka i postojanost alata. Istražuje se optimalni oblik kanala za isplivak (vijenac) i njegova diferencijacija duž obima otkovka.

Kao novi elemenat u procesu konstruisanja ove vrste alata treba navesti primjenu računara, koji obezbjedjuju iznalaženje najpodobnijeg oblika predotkovka, tj. gravure za predotkovak.

Alati za elektrohidraulično kovanje i druge vrste alata za impulsivno kovanje već su našli primjenu u najrazvijenijim zemljama. Njihovom daljem razvoju posvećuje se velika pažnja.

U toku poslednjih godina u tehnologiji izrade alata za kovanje u vrućem stanju došlo je do znatnih usavršavanja, koja se odnose prije svega na:

- kvalitetniju izradu alata
- skraćenje vremena izrade
- smanjenje troškova

Navedena dostignuća su omogućena postepenom zamjenom ručnog mašinskim radom i usavršavanjem postojeće vrste mašina, kao i iznalaženjem potpuno novih vrsta mašina.

U izradi alata za kovanje primjenjuje se elektrolitično boriranje. Takodje se primjenjuje hromiranje u cilju povećanja postojanosti alata. Počela je i primjena metode hladnog utiskivanja pri izradi gravura, što obezbjedjuje mnogo bolji kvalitet alata za kovanje.

U traženju optimalnog oblika kod projektovanja alata za istiskivanje sadržan je osnovni razvojni pravac usavršavanja ove vrste alata. Komparacija mogućnosti i trajnosti alata za istosmjerno i protivosmjerno istiskivanje zauzima takodje drugi značajni elemenat njihovog razvoja. Istraživanje raspreda naponskog polja u obratku i alatu već je u nekim zemljama dalo izvjesne rezultate, koji vode ka postepenom usavršavanju konstrukcije alata. Znatna pažnja se takodje posvećuje uticaju geometrije alata na ostupanje mjera izradka, kao i na trajnost alata. U tom pogledu izgleda da se najdalje otišlo u SAD i SSSR.

U nizu zemalja već se uvelike primjenjuje tehnologija deformacione izrade ozubljenja, a samim tim izradjuju se i odgovarajući alati. U ovoj oblasti je najdalje otišla Poljska, čije je licence otkupilo niz visokorazvijenih zemalja, kao što su Savezna Republika Njemačka, Švedska i Japan. Postoje dvije metode izrade ozubljenja, tj dvije vrste alata: alat za profilno valjanje i alat za orbitalno oblikovanje. Obadvije vrste alata su razrađene u Institutu za obradu bez skidanja strugotine, koji ulazi u sastav Varšavske politehnike.

### 3. Mjesto nivoa domaćeg alata u svjetskim kretanjima

Nivo domaćeg alata za obradu deformisanjem znatno izostaje za onim u visokorazvijenim zemljama. To se uočava kod skoro svih vrsta alata, mada to zaostajanje nije ravnomjerno. Razmotrimo ovu situaciju zasebno za svaku vrstu alata.

#### 3.1. Alati za obradu lima

Može se konstatovati da se u primjeni alata sa tvrdim metalom nalazimo na početku, te da tu djelatnost prati izvjesna bojazan kao i niz teškoća povezanih sa nedostatkom kvalitetnog domaćeg tvrdog metala. Osavremenjavanje alata za obradu lima širokom primjenom tvrdog metala dovelo bi veoma brzo do smanjenja troškova proizvodnje, te se ova djelatnost nameće kao imperativ.

Primjena poliuretana za radne oblikovne djelove alata nije primjećena u našoj zemlji. Ova činjenica iznenadjuje obzirom da je u nas veoma zastupljena maloserijskaisrednjoserijska proizvodnja. Uvodjenje ove vrste alata vodi ka povećanju kvaliteta

proizvoda i znatno smanjuje troškove proizvodnje kroz višestruko smanjenje troškova izrade alata.

Univerzalno montažni alati predstavljaju u našim alatnicama još uvijek rijetkost, mada su oni u visokorazvijenim zemljama već dokazali opravdanost svog postojanja.

U primjeni alata za čisto prosjecanje učinjen je znatni napredak, a njegov dalji brži razvoj je uslovljen savladavanjem niza teškoća, pored ostalog problem je uvoz mašina na kojima radi ta vrsta alata.

Fluidno troosno preoblikovanje se nalazi u stadiju izolovanog prelaza iz laboratorijskog istraživanja u industriju, što je takodje uslovljeno domaćom proizvodnjom ove vrste mašina.

O impulsnom preoblikovanju se tek razmišlja u istraživačkim institucijama i ako se zna da se ova tehnologija uspješno primjenjuje u inostranstvu već skoro dvije decenije.

Elastični diferencirani držači obratka još uvijek predstavljaju literarni kuriozitet.

Alat za nov metod izrade posuda pravougaonog presjeka u dvije operacije iz kružnog priprema nije zastupljen u priznatim jugoslovenskim alatnicama i pored svojih nepobinskih prednosti u pogledu kvaliteta i troškova proizvodnje. Možda je ovaj alat zakasnio obzirom da mu moraju prethoditi određena istraživanja. Ovo i ostalo navedeno govori u prilog otvaranja i u nas specijalnih instituta za bezreznu obradu metala, kao što su to već učinile mnoge druge zemlje.

U pogledu primjene izodeformabila u konstrukciji alata, obzirom da je to dostignuće domaćeg porekla, postoje svi preduslovi za efikasno osavremenjavanje alata za duboko izvlačenje. Njihova primjena bi vodila ka minijaturizaciji alata, smanjenju troškova izrade alata i troškova proizvodnje kroz smanjenje vremena izrade, kao i ka znatnom poboljšanju kvaliteta proizvoda u obradi dubokim izvlačenjem. Njihova primjena ne iziskuje nikakva naknadna ulaganja, već jedino upoznavanje se sa njihovom suštinom i praktičnim mogućnostima.



Reasumirajući sadašnji nivo domaćih deformacionih alata može se konstatovati da je taj nivo nezadovoljavajući u poredjenju sa nivoom te vrste alata u visokorazvijenim zemljama. Za brži razvoj deformativne alatogradnje neophodno je:

- Osnivanje u naučno istraživačkim institucijama zasebnih zavoda za obradu deformisanjem sa sekcijom alatogradnje
- Tešnje povezivanje konstrukcionih biroa alata sa naučnim ustanovama
- Uvodjenje u čitavoj zemlji na odsjecima za proizvodno mašinstvo zasebnog predmeta "alati za deformisanje"
- Osavremenjavanje postojeće udžbeničke literature
- Davanje prioriteta izradi tvrdih metala za obradu deformisanjem u fabrikama koje se specijaliziraju za tvrde metale
- Pisanje priručnika sa modernim nivoom alata za deformisanje za potrebe naših konstruktora
- Održavanje specijalističkih kurseva permanentnog obrazovanja pri mašinskim fakultetima ili većim preduzećima za konstruktore i tehnologe deformativnog alata
- Otvaranje fabrike poliuretana, koja bi podmirivala potrebe domaće alatogradnje, uz diferenciranje ovog proizvoda u odnosu na njegovu tvrdoću i druga mehanička svojstva, vodeći računa da se poliuretan takodje može široko primjenjivati i kao opružni element
- Nastojati da se dobije još kvalitetniji domaći alatni čelik
- Izvršiti široko testiranje mehaničkih svojstava limova koje koristi naša metaloprerađivačka industrija, s posebnim tretmanom kod ovih limova fenomena hladnog očvršćavanja u projekciji na zakon promjenljivosti granice plastičnosti i granice gubitka stabilnosti
- Ispitati primjenljivost domaćih tehnoloških maziva za

ovu vrstu deformacionih procesa i dati smjernice za oplemenjavanje njihovih komponenti u cilju poboljšanja kvaliteta proizvoda, povećanja trajnosti alata i smanjenja utorška energije.

### 3.2. Alati za zapreminsku obradu

Razmatranje ove vrste alata treba početi sa konstatacijom da proizvodni kapaciteti jugoslovenskih kovačnica izostaju u odnosu na razvijene zemlje, a to je i osnovni razlog zaostajanja i nivoa alata za kovanje ( u vrućem stanju). Tu se uočava nedovoljna primjena svjetskih istraživanja uticaja pojedinih faktora na kvalitet otkovka i postojanost alata. Računari još nisu stigli u konstrukcione biroe gdje se projektuju alati za zapreminsku obradu, a njihova primjena je dosta rasprostranjena u visoko razvijenim zemljama u iznalaženju najprikladnijeg oblika predotkovka i gravure za njega, kao i u profilisanju kanala za isplivak (vijenac) kod složenih otkovaka. Nedovoljno se vodi računa o uticaju temperaturnog polja na trajnost alata, kao i o mogućnosti primjene diferenciranih kanala za isplivak. Metoda hladnog utiskivanja pri izradi gravura je u nas tek na samom početku i nema znakova da će brzo naći širu primjenu. O alatu za elektrohidrauličnom kovanju i drugim alatima za impulsivno kovanje čulo se u nas veoma malo, obzirom da se ne zna mnogo više ni o tim tehnologijama uopšte. Autoru je nepoznato da se bilo ko u nas bavi ovom problematikom.

Alati za istiskivanje dosta dobro prate početke primjene u nas ove deformacione tehnologije, ali sa njenim daljim širenjem nameće se neophodnost koncentracije većih kadrovskih kapaciteta na području praćenja i primjene svjetskih dostignuća u konstrukciji alata za istiskivanje, kao i vršenja sopstvenih istraživanja.

Tehnologija deformacione izrade ozubljenja ne primjenjuje se u nas, mada je u visokorazvijenim zemljama široko zastupljena, kako preko alata za profilno valjanje tako i alata za orbitalno oblikovanje. U nas se vrše jedino sporadična skromna laboratorijska istraživanja.

#### 4. Perspektive daljeg razvoja alata za deformisanje

U narednom periodu razvoj alata za deformisanje, prema prognozama stručnjaka iz ove oblasti, kretaće se u slijedećim smjerovima:

1. Usavršavanje alata za superplastično deformisanje
2. Iznalaženje alata za ekonomičnije fluidno preoblikovanje
3. Stvaranje alata za deformativnu obradu pjenušavog čelika
4. Osvajanje programiranih držača lima u procesu dubokog izvlačenja
5. Primjena šire standardizacije alata
6. Osmišljanje optimuma unifikacije alata
7. Konstruisanje alata za izradu unutrašnjeg navoja deformisanjem
8. Uvodjenje deformativnog bezšumnog alata
9. Iznalaženje prostijih alata za male serije
10. Zamjena vruće obrade hladnom, tj. stvaranje odgovarajućeg alata
11. Konstruisanje alata za nove kinematike deformativnih mašina
12. Primjena novih tehnologija izrade alata
13. Primjena novih materijala za izradu alata
14. Projektovanje alata za plastično preoblikovanje novih plastičnih masa
15. Projektovanje alata za plastičnu obradu novih materijala na bazi metala i plastičnih masa
16. Konstrukcija alata robota za deformisanje
17. Alati za nove deformativne tehnologije izrade elemenata uređaja za potrebe psihotronike i bionike
18. Alati za obradu deformisanjem u kosmičkim uslovima.

Odnosno smjernica navedenih pod brojevima 1 i 2, tu već postoje alati u visokorazvijenim zemljama i oni su opisani u dotičnim publikacijama tih zemalja. Međutim u navedenom periodu očekuje se njihovo usavršavanje.

Deformacioni alati za obradu pjenušavog čelika još ne postoje, jer ne postoje ni pjenušavi čelici, ali njihova pojava se očekuje na orbitalnim stanicama u kosmičkim metalurškim kombinacijama i to polovinom posljednje dekade ovog stoljeća. Teorijska razrada tehnologije takvih čelika već postoji nekoliko godina.

Programirani držači se već nalaze u laboratorijskoj razradi u SAD i njihova konstrukcija i funkcionisanje baziraju na kompjuterskoj tehnici. Oni će nesumnjivo predstavljati dalji napredak u odnosu na diferencirane elastične držače koji se već uspješno primjenjuju u Njemačkoj Demokratskoj Repzblici.

Odnosno dalje standardizacije i unifikacije alata za deformisanje predviđa se njihovo proširivanje na sve pomoćne djelove ove vrste alata i to na nivou nacionalnih standarda, što je već učinjeno u nekim zemljama.

Već su činjeni izvjesni pokušaji (SSSR) za izradu unutrašnjih navoja (npr. u navrtkama) deformisanjem. Očekivati je stvaranje efikasnijeg alata.

U okviru stvaranja povoljnijih uslova na radnom mjestu u nastupajućem periodu doći će do zamjene sadašnjih konstrukcija konstrukcijama deformacionih bezšumnih alata. Ovo će se realizovati postupno po pojedinim zemljama u okviru humanizacije rada.

Problem proizvodnje malih serija podstićaće istraživače na iznalaženje novijih konstrukcija, savršениjih od dosad primjenjivanih, kao što su kleštini i poliuretanski alati.

U cilju poboljšanja kvaliteta otkovaka i smanjenja troškova proizvodnje vršiće se dalje zamenjivanje vruće hladnom obradom uz primjenu intenzivnijih negativnih naponskih shema.

Mašine Bihlerovog tipa sa različitom kinematikom od presa nesumnjivo nisu jedina nova kinematska mogućnost deformacionih mašina, a samim tim pojavice se i odgovarajući alati koji će

pratiti tu novu vrstu deformacionih mašina. Ovo očekivanje je u toliko opravdanije što se zna da su postojeći kinematski sistemi deformacionih mašina sa velikim učešćem jalovog hoda.

U pogledu primjene novih tehnologija izrade deformacionih alata nazire se laserska obrada i holografski metodi praćenja obradnih efekata. Tu se očekuje i savršenija hemijska tehnologija obrade metala za izradu alata za deformisanje.

Tvrđi metali i poliuretan ne predstavljaju krajnje mogućnosti čovjekove invencije u području primjene novih materijala za izradu alata. Očekivati je dalje oplemenjavanje postojećih kao i iznalaženje sasvim novih materijala podobnih za izradu alata za deformisanje.

Sve veće uvođenje plastičnih masa u mašinogradnju doneće sa sobom i odgovarajuće, sada nama nepoznate alate, koji će se razlikovati od postojećih alata za obradu metala obzirom na različitost mehaničko-fizičkih svojstava metala i plastičnih masa.

Tendencije stvaranja novih materijala na bazi metala i plastičnih masa vode ka iznalaženju odgovarajućih specifičnih alata za njihovu obradu deformisanjem. Ova vrsta materijala očekuje se krajem ove decenije.

Problem primjene alata-roboti za obradu deformisanjem već je prisutan u najrazvijenijim konstrukcionim biroima alatogradnje i shodno prognozama stručnjaka, poslednja dekada XX vijeka označavaće početak njihove primjene.

Na prelomu osamdesetih i devedesetih godina našeg stoljeća očekuju se velika otkrića u području psihologije, slična onima koja su u tehnici učinjena otkrićem atomske energije u prvoj polovini ovog vijeka. Ta otkrića će morati pratiti nova tehnička sredstva, za čiju će izradu biti potrebni alati novih, nama sada nepoznatih konstrukcionih rješenja.

Najzad postepenim osvajanjem kosmosa nametnuće se neophodnost obrade deformisanjem materijala u kosmičkim uslovima. Za ovo područje već postoji i literatura na nekim svetskim jezicima, mada još uvijek u skromnom obimu.

Reasumirajući izloženo jedno se nameće neosporno, da će naša deformativna alatogradnja izostajati i u sljedećem periodu za poneku konstrukcionu generaciju iza svjetskih vodećih rješenja. Ova konstatacija treba da djeluje mobilizirajuće, jer nije sve jedno kolika će biti mjera našeg izostajanja. Stoga uvodni dio ovog izlaganja i ukazuje na neophodnost promjene našeg dosadašnjeg stila rada u ovoj oblasti.



## XIV SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, Čačak 1980.

M. Dragović \*)

## ODRŽAVANJE PROIZVODNIH POSTROJENJA

1. Uvod

Životni ciklus proizvodnih postrojenja počinje mnogo pre njihovog puštanja u rad, on praktično počinje onog momenta kada se pristupi projektovanju postrojenja. I upravo od tog momenta, pa sve do isključivanja postrojenja iz procesa proizvodnje neophodno je da se neprekidno preduzimaju odgovarajuće mere koje bi omogućile postizanje veće pogonske spremnosti proizvodnih postrojenja, odnosno smanjenje "troškova vlasništva" nad sredstvima za proizvodnju. Te mere imaju za cilj da se postigne minimum zbira troškova direktnog održavanja i ostalih proizvodnih troškova u toku eksploatacionog veka proizvodnog postrojenja. Danas su sve ove mere svrstane u jednu naučnu oblast nazvanu "Terotehnologija" ili nauka o organizaciji sredstava rada (1). Terotehnologija je dakle, nova oblast koja se bavi kombinacijom upravljanja, finansija, inženjeringa i drugih delatnosti koje se primenjuju na sredstvima za proizvodnju sa ciljem da se troškovi po jedinici proizvoda svedu na minimum u toku eksploatacionog veka proizvodnog postrojenja.

Delatnosti Terotehnologije se prema tome mogu grupisati na razne aktivnosti zavisno od toga o kom se periodu životnog ciklusa proizvodnog postrojenja radi. To bi, prema usaglašenoj i uglavnom prihvaćenoj podeli medju jugoslovenskim održavaocima, bilo:

- Zahtevi pri projektovanju proizvodnih postrojenja,
- Pripreme za eksploataciju,
- Održavanje proizvodnih postrojenja u eksploataciji,
- modernizacija i
- Izdvajanje postrojenja iz procesa proizvodnje

\*) Dragović Momčilo dipl.inž.maš. samostalni saradnik Instituta za alatne mašine i alate, Beograd, 27. marta 80.



Sama reč "Terotehnologija" upotrebljena je prvi put, u V. Britaniji, od strane tamošnjeg Društva za održavanje i vodi poreklo od grčke reči "tereo" što znači umetnost i nauka o brizi za stvari.

Pod pojmom "Održavanje proizvodnih postrojenja u eksploataciji" podrazumevaju se sve mere koje se na tim postrojenjima preduzimaju, a čiji je prevashodni cilj da se tom postrojenju vrate, potpuno ili delimično izgubljene proizvodne karakteristike, odnosno da se u krajnjem slučaju skрати trajanje planiranih ili neplaniranih zastoja postrojenja.

Ove mere održavanja mogu se, prema ustaljenoj praksi, a s obzirom na njihov neposredni cilj, grupisati u sledeće grupe aktivnosti (6):

- Aktivnosti koje za neposredni cilj imaju sagledavanje veličina fizičke istrošenosti i promena na proizvodnim postrojenjima, a koja će poslužiti kao baza za analiziranje stanja i donošenje zaključaka u vezi sa daljim neophodnim merama koje održavanje treba da preduzme,

- Aktivnosti koje za neposredan cilj imaju zaustavljanje fizičkog trošenja i promena na proizvodnim sredstvima, odnosno njihovim elementima, putem odgovarajućih mera održavanja (podmazivanje, čišćenje i sl.) i

- Aktivnosti koje imaju za neposredan cilj da se proizvodnom postrojenju, u obimu koliko je to neophodno, ponovo uspostavi prethodno stanje u slučaju da nema dovoljno sigurnosti da će se održati ili je već i izgubljena pogonska i funkcionalna spremnost proizvodnog postrojenja.

Kako je za održavanje proizvodnih postrojenja, prema njegovoj prirodi, neophodna veoma jaka koordinacija aktivnosti između pojedinih, stručno različitih, organizacionih celina to je i podela održavanja prema stručnim oblastima bezpredmetna i može samo izazvati određene teškoće organizacione prirode.

Na bazi navedenih aktivnosti održavanja moglo bi se govoriti i o uobičajenoj podeli održavanja na:

a) Preventivno održavanje - koje obuhvata sve aktivnosti održavanja koji se izvode prema planiranom odnosno unapred utvrdjenom terminu i obimu. Ovde dakle, spadaju svi radovi održavanja koji se unapred

planiraju i ponavljaju u pravilnim vremenskim razmacima, bez obzira na njihov obim, vreme trajanja i izvore finansiranja.

Svoje ciljeve preventivno održavanje ostvaruje putem izvođenja sledećih grupa kativnosti:

- Preventivni pregledi, čišćenje i podmazivanje, koji su u prvom redu namenjeni redovnoj, periodičnoj negi postrojenja i doprinose produženju životnog veka proizvodnih postrojenja odnosno njegovih delova.
- Kontrolni pregledi, koji služe utvrđivanju stvarnog obima istrošenosti i oštećenja, odnosno funkcionalne zastarelosti delova postrojenja i predstavljaju bazu za donošenje odluka o povlačenju tih delova iz dalje upotrebe.
- Planske popravke podrazumevaju uglavnom zamenu delova ili ugradnih grupa nakon isteka unapred određenog vremena rada ili pak na bazi rezultata kontrolnih pregleda (održavanje po stanju).

b) Otklanjanje kvarova - koje obuhvata obnavljanje i zamenu delova ili ugradnih grupa na proizvodnom postrojenju, u cilju njegovog ponovnog osposobljavanja za ostvarivanje proizvodnih efekata, a nakon što su na istom, usled otkazivanja jednog ili više delova ili ugradbenih grupa, izgubljene neophodne proizvodne karakteristike.

c) Poslovanje sa materijalima i rezervni delovima - koje obuhvata aktivnosti čiji je cilj obezbedjenje optimalnih zaliha materijala i rezervnih delova za održavanje. Ova problematika je veoma oštro istaknuta u održavanju, a vezana je za mnogobrojne faktore van sfera uticaja direktnog održavanja postrojenja u eksploataciji (poreklo opreme, finansijsko poslovanje radne organizacije, devizni bilansi društva i sl. ). Posebnu problematiku pretstavlja veliki asortiman relativno jeftinih materijala i delova za održavanje. U ovom segmentu može se govoriti o posebnim aktivnostima, a u prvom redu o:

- Planiranju materijala za održavanje, koje obuhvata utvrđivanje potrebnih materijala prema planskim periodima i mestima ugradnje,
- Nabavci, kvalitetnoj kontroli i skladištenju materijala i

rezervnih delova,

- Praćenju i optimizaciji zaliha na bazi ustaljenih metoda i stečenih iskustava i
- Rezervaciji i disponiranju materijala i rezervnih delova, a prema planovima rada i mestima ugradnje.

d) Proizvodnja rezervnih delova, za potrebe održavanja, bilo da se radi o proizvodnji delova koju izvodi korisnik proizvodne opreme za svoje potrebe ili pak o proizvodnji rezervnih delova za potrebe tržišta, a koja se izvodi kod samog proizvođača opreme ili kod specijalizovanih proizvođača delova ili ugradnih sklopova.

Opisana podela održavanja mogla bi se, u skraćenom obliku, predstaviti na sledeći način:

ODRŽAVANJE PROIZVODNIH POSTROJENJA U EKSPLOATACIJI					
RADOVI ODRŽAVANJA			PRIPREMA MATERIJALA ZA ODRŽAVANJE		
PREVENTIVNI			KOREKTIVNI	Poslovanje sa materijalima i rez. delovima za održavanje	Proizvodnja rez. delova
Preventivni pregledi, čišćenje i podmazivanje	Kontrolni pregledi	Preventivne POPRAVKE	Korektivne		

Sl. 1. Podela održavanja

Kao što se iz napred isloženog vidi, radovi održavanja objedinjavaju aktivnosti različitih stručnih grupa, koje se po samoj prirodi održavanja izvode na široko dislociranim mestima rada u isto vreme. S druge strane stepen komplikovanosti pojedinih zahvata održavanja varira od najjednostavnijih do nakomplikovanih. Takav karakter kao i metode za planiranje materijala i radova održavanja svrstavaju ga u grupu koja je najbliža proizvodnom mašinstvu, tim pre što je znatan deo aktivnosti i u stručnom pogledu deo proizvodnog mašinstva (proizvodnja rezervnih delova, radovi mašinskog održavanja).

Unutar Održavanja, odnosno Terotehnologije u širem smislu, svoje posebno mesto zauzima i održavanje alatnih mašina. Sistemi održavanja alatnih mašina po svojim karakteristikama i uslovima za njihovo planiranje i upravljanje isti su kao i sistemi održavanja uopšte.

Razlika je naravno u tehnici i metodama dijagnosticiranja i otklanjanja kvarova, odnosno u metodama preventivno planskog održavanja, ali bi orijentacija samo na tu oblast održavanja verovatno znatno ograničila mogućnosti za otkrivanje efekata racionalizacije.

Radi boljeg sagledavanja današnjeg nivoa održavanja u svetu i kod nas u sledećem poglavlju će biti dat kratak osvrt na razvoj održavanja kao pratioca industrijskog razvoja društva.

## 2. Kratak prikaz razvoja Terotehnologije

Razvoj proizvodnje prati i razvoj čitavog niza aktivnosti među kojima održavanje zauzima jedno od veoma značajnih mesta, a počelo se razvijati kao skup haotičnih aktivnosti uslovljenih neophodnošću da se otkloni nastali kvar, ali istovremeno ne i baziranih na čvrstim ekonomskim i tehničkim principima.

Usavršavanje i razvoj proizvodnih procesa, a posebno razvoj industrijske proizvodnje i obimna istraživanja usmerena ka racionalizaciji proizvodnje, usloвила su i težnju za smanjenjem prekida u proizvodnji, koji bi se dešavali van onih utvrđenih određenim planom. To je stvaralo i osnove za razvoj održavanja, a posebno u domenu planiranja rezervnih delova i planskih opravki.

Dalje racionalizacije proizvodnih procesa dovele su do projektovanja i proizvodnje visokoautomatizovanih i mehanizovanih proizvodnih postrojenja. Osnovni cilj bio je da se putem povećanja produktivnosti smanje troškovi po jedinici proizvoda. Istovremeno troškovi po jedinici vremena naglo rastu, što ima za posledicu mnogo veći uticaj održavanja na racionalnost proizvodnje. Troškovi zastoja postaju jedan od najznačajnijih faktora u ukupnim proizvodnim troškovima, pa se logično javljaju i veoma izražene težnje za racionalizacijom održavanja.

S druge strane visokoautomatizovana postrojenja zahtevaju sve manje specijalističkih i drugih stručnih znanja od neposrednih izvršilaca, ali kako se visoka automatizacija postiže ugradnjom veoma komplikovanih mašinskih i elektronskih sklopova, to se od održavaoca sve više zahteva veoma dobro poznavanje određenih stručnih oblasti. Istovremeno raste i procentualni udeo broja radnika u održavanju u odnosu na ukupan broj zaposlenih u proizvodnim organizacijama. Porast zahteva

u pogledu nivoa stručnih znanja održavalaca može se ilustrovati i donjom tabelom koja pretstavlja odnose vremena potrebnih za dijagnostičiranje i otklanjanje kvara kod raznih sistema (2):

Vrsta sistema	Vreme za dijagnozu (%)	Vreme otklanjanja kvara (%)
Elektronski	90	10
Električni	60	40
Hidraulični	20	80
Mehanički	10	90

Sl. 2. Odnosi vremena identifikacije i otklanjanja kvara

Moderno održavanje, koje se u Evropi razvija uglavnom u posleratnom periodu, sve više razvija razne metode tehnike i organizacije održavanja i metode samog pristupa problematici. Tako se danas, umesto vrlo neracionalnog održavanja čija je strategija najbolje definisana izrazom "vatrogasno", u održavanju sve više koriste razne strategije preventivnog održavanja kao što su: plansko-preventivno, održavanje po stanju i sl.

Osim toga granice održavanja se umnogome proširuju u okviru teratehnološkog pristupa proizvodnim sredstvima obuhvatajući, kao što je to već rečeno, celokupnu brigu o proizvodnom postrojenju u toku njegovog životnog ciklusa.

### 3. Neki elementi današnjeg stanja

I pored razvoja shvatanja da se racionalizacijom održavanja mogu znatno povećati efekti proizvodnje, još uvek se srećemo sa ukorenjenim mišljenjima da je održavanje nužno zlo bez koga se ne može u proizvodnji i da je ono najbolje onda kada ne radi. Neizbežna posledica takvog shvatanja je da se održavanju ne poklanja dovoljno pažnje, što dovodi do veoma loše koordinacije aktivnosti održavanja i drugih delova proizvodnog sistema, pa prema tome i do povećanja troškova održavanja. I upravo zbog toga što troškovi održavanja, a posebno - kako je to već rečeno - ukupni troškovi po jedinici proizvoda, veoma brzo rastu kao posledica nedovoljne brige o proizvodnim sredstvima (a što se posebno ističe kod modernih visokoproduktivnih automatskih i mehanizovanih

produktivnih postrojenja i procesa), neminovno se nameće potreba da se održavanju odnosno Terotehnologiji da prioritet u dugoročno zasnovanim aktivnostima usmerenim ka racionalizaciji proizvodnje.

Neki autori (5) slikovito upoređuju troškove u eksploataciji proizvodnih postrojenja sa tzv. "efektom ledene sante" kod koje je vidljiva samo 1/10 ukupne mase, a koja predstavlja troškove nabavke (projektovanje, konstrukciju, razvoj i izgradnju postrojenja). Svi ostali troškovi skriveni su ispod vodene linije i predstavljaju veoma veliku opasnost za slabo upravljani proizvodni brod. Medju ovim troškovima jedno od najznačajnijih mesta pripada onima koji su, direktno ili indirektno, posledica održavanja.

U većini razvijenih, ali i u zemljama u razvoju, danas se Terotehno- loškom pristupu proizvodnim sredstvima poklanja izuzetna pažnja. Već se uveliko smatra da je vreme proizvodnje po svaku cenu u cilju nekontrolisanog trošenja materijalnih dobara iza nas i da nastupa pe- riod kvalitetno drugačijeg odnosa prema materijalnim dobrima. Taj odnos moraće se prilagoditi vremenima koja dolaze, a koja će uslo- viti nastajanje tehnologije usmerene dugoročnom i maksimalnom kori- šćenju resursa.

U razvoj Terotehnologije i međunarodnu razmenu iskustava veoma akti- vno su uključene i mnoge institucije iz naše zemlje, tako da smo bi- li i organizatori petog evropskog kongresa o održavanju - „Održavanje '80", koji je maja ove godine održan u Opatiji.

Kao i u proizvodnji u održavanju se javlja veoma izražena težnja za korišćenjem računara za potrebe obrade podataka pa i za širu primenu. U tom pogledu veoma široke mogućnosti pruža oblast odr- žavanja po stanju, u čemu postoji dosta razvijenih programa i refe- renci.

Pri ovome se, na žalost, retko obraća pažnja na jedan veoma bitan momenat od uticaja na kvalitet realizacije želja za automatiza- cijom poslovanja. Postrojenja za obradu podataka mogu biti veoma do- bar instrument upravljanja sistemom, ali će ona to zaista i biti samo ako je uvođenje automatska obrada podataka, odnosno upravlja- nja zasnovanog na računaru, dobro pripremljeno - dakle planirano i organizovano. Ova priprema mora biti utoliko šira i intenzivnija

ukoliko sredstva za obradu podataka više zadiru u organizaciju rada. Drugim rečima, priprema za rad sa jednostavnim računskim mašinama ne može biti ista, ni po obimu ni po kvalitetu, sa pripremom za korišćenje velikog sistema za automatsku obradu podataka.

Činjenica je međjutim da danas imamo veliki broj sistema za obradu podataka i automatsko upravljanje, ali isto tako nije mali broj ni onih organizacija koje još rade klasičnim putem. Pitanje u kojoj meri se može efikasno koristiti kompjuter u održavanju je takodje veoma interesantno. Jasno je da će, osim od već pomenute pripreme, efikasnost ovih mašina zavistiti i od obezbedjenja uslova da se iste koriste za poslove orijentisane budućnosti i radu u realnom vremenu (planiranje i upravljanje), a ne samo za poslove orijentisane prošlosti kao što je sama obrada podataka za potrebe raznih komercijalno-tehničkih celina.

Više reči o nekim pristupima kod nas biće u narednom poglavlju.

#### 4. Neka iskustva iz naše prakse

U nedostatku obimne i sveobuhvatne studije, koja bi dala realnu sliku stanja održavanja proizvodnih postrojenja kod nas, u ovom poglavlju biće prikazana neka iskustva koja su autoru bila pristupačna.

Većina iskustava u našim organizacijama udruženog rada, a što potvrđuju i neka ispitivanja koja su svojevremeno izvođjenja u Institutu u IAMA u Beogradu govori da je široko uočena i shvaćena mogućnost proširivanja granica racionalizacije proizvodnih procesa putem povećanja efektivnosti održavanja proizvodnih postrojenja. Veoma je karakteristično da se interes za povećanjem efektivnosti održavanja povećava sa stepenom automatizovanosti proizvodnih postrojenja i postupaka. Tako je, na primer, preko 50% radnih organizacija metalne strane iskazalo svoje potrebe za kompetentnom spoljnom podrškom u ovoj oblasti, dok se taj procenat za procesnu industriju i metalurgiju penje na 80%, a za energetiku (elektrane) na čitavih 100 (4). Ovakva težnja se u potpunosti poklapa sa uobičajenim gledanjima i rezultatima analiza održavanja u svetu.

Analizom krive eksploatacionih karakteristika proizvodnog postrojenja, koja se uprošćeno može prikazati na sl. 3., može se pretpostaviti da će vreme izmedju planskih popravni ( $T_{mpi}$ ), a i samo

prema trajanju opravke (tpoi), odnosno eksploatacioni vek proizvodnog postrojenja (0-T), u prvom redu zavisiti od:

- Prosečnog nivoa stručnih znanja sredine u kojoj se eksploatiše određeno proizvodno postrojenje ili skup takvih postrojenja,
- Nivoa razvijenosti društveno ekonomskih odnosa ljudi na radu u takvoj sredini,
- Nivoa preventivnog održavanja,
- Pripremljenosti opravki, zavisno od obučenosti kadrova, organizacije i sistema planiranja
- Mogućnosti za obezbedjenje rezervnih delova i materijala za održavanje i
- Kvaliteta rezervnih delova i sistema njihovog disponiranja.

Na slici je prikazano idelano kretanje nivoa eksploatacionih karakteristika postrojenja, dok se u praksi međjutim redovno dešavaju znatna odstupanja koja se pre svega ogledaju u naglom padanju vrednosti funkcije kao posledici iznenadnih kvarova. Učestalost ovih padova uz potrebno vreme za postizanje projektovanog kapaciteta su karakteristike koje nam ilustruju nivo ovladanosti tehnologijom u sredini u kojoj se proizvodno postrojenje ili grupa tih postrojenja eksploatiše.

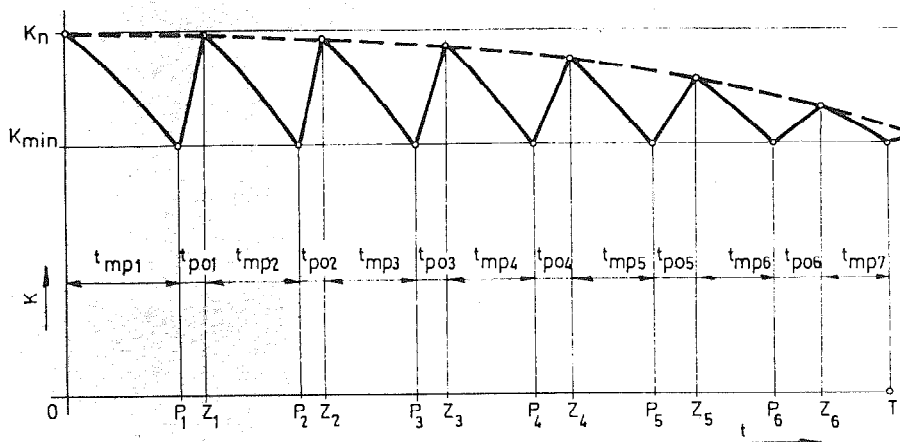
Slično kao kod svih sredina koje nisu industrijski visokorazvijene, veoma uticajni na pouzdanost funkcije održavanja mogu biti četiri faktora:

- Poreklo opreme,
- Tehnička dokumentacija,
- Ljudski faktor i
- Sistem održavanja

no ovim svakako nije iscrpljena lista mogućih uticaja na postojeće stanje održavanja proizvodnih postrojenja. Problemi sa kojima se u praksi svakodnevno sukobljavamo dokazuju njihovu prisutnost. \*)

\*) U širem terotehnoškom pristupu problematici održavanja u Institutu IAMA je za odgovarajući IR-kompleks predložen, a danas u Jugoslaviji i šire poznat, skraćeni naziv REMAX. Pritom se interdisciplinarnost ovog kompleksa i njegova pripadnost oblasti proizvodnog mašinstva ogleda i u činjenici što on predstavlja značajan segment dugoročnog programa ROPOS (Razvoj i optimizacija proizvodnih sistema), inače jednog od strateških naučnoistraživačkih projekta SR Srbije.





Sl. 3. - Promena eksploatacijskih karakteristika u zavisnosti od vremena i održavanja

U pogledu POREKLA OPREME treba poći od činjenice da se po pravilu oprema i velikim delom nabavlja u inostranstvu, prema uslovima koje u pogledu kreditiranja nude dobavljači. Okolnosti često dovode do kombinovanih nabavki od strane više dobavljača, čak i iz više zemalja, što otežava da se obezbedi unificiranost sredstava rada, dok su isporučioци u mogućnosti da diktiraju uslove isporuke. Kupci se normalno susreću sa dugoročnim interesima i politikom isporučioца, koji se ogledaju u obezbedi tržišta za dalje isporuke opreme, kao i potrebnih rezervnih delova. Međutim, u kriznim situacijama ove nabavke se realizuju uz veoma nepovoljne komercijalne uslove.

Raznovrsnost porekla opreme predstavlja posebne poteškoće, jer ona može biti izradjena po različitim standardima, i za potrebe krajnjeg korisnika uklopljena u proizvodni lanac. Pošto se pojedini nacionalni standardi često veoma razlikuju u mnogim tehničkim detaljima, time se istovremeno veoma usložava održavanje. Zahtev za isporuke prema sopstvenim nacionalnim standardima je iz mnogih razloga uzaludan - od njihove nerazradjenosti do otežanih uslova nabavke.

Postoje, međutim, i isporučioци koji u datim okolnostima (na primer, mali obim isporuka rezer.delova ili neki drugi uslovi) uopšte nisu zainteresovani za dalji rad i održavanje isporučene opreme. Održavanje takve opreme i mašina je krajnje otežano, posebno

onda kada je teško stupiti u kontakt sa isporučiocima.

TEHNIČKA DOKUMENTACIJA je nosilac najvećeg broja podataka potrebnih za kvalitetno održavanje opreme i za uvođenje u uhodavanje odabranog sistema održavanja. Ugovorima se redovno predviđa i isporuka dokumentacije, no kada se to i ostvari, a uvažavajući činjenicu da se novi pogoni obično podižu u oblastima sa niskim opštim nivoom tehničkog znanja, korišćenje postojeće dokumentacije nije vrlo često u skladu sa stvarnim potrebama.

U mnogim prilikama tehnička dokumentacija nije, međjutim, kompletna ili pak ne sadrži dovoljan broj podataka potrebnih za donošenje valjanih odluka. Nepostrojanje, ili pak nedovoljan kvalitet dokumentacije dovodi do dalje tehnološke zavisnosti korisnika od isporučioća opreme. Ovo uslovljava potrebu "nostrifikacije" tehničke dokumentacije, što je, međjutim, spor i težak posao.

Poznati su slučajevi kada tehnička dokumentacija ne pruža ni minimum podataka koji<sup>bi</sup> omogućili da se nostrifikacijom obezbede uslovi za najracionalniji način obezbeđenja rezervnih delova i materijala za održavanje. Osnovni razlog tome je po pravilu težnja isporučioća opreme da osigura dugoročno tržište za isporuku rezervnih delova. Međjutim, tako dobijeni delovi su u prometu veoma skupi, i oni se često lakše i uz povoljnije uslove mogu naći kod specijalizovanih proizvođača ili na domaćem tržištu.

Od različitih aspekata LJUDSKOG FAKTORA u održavanju valja istaći da se najčešće kadrovi pripremaju za eksploataciju posredstvom direktne obuke kod isporučioća. Redak je, međjutim, slučaj da se predviđa i dovoljna priprema kadrova za održavanje. Uz ostale probleme, fluktuacija radne snage, posebno specijalizovane na različitim nivoima u nerazvijenim područjima je veoma velika, što stvara niz dopunskih poteškoća.

Konačno, ukoliko se snimi postojeći SISTEM ZA PLANIRANJE I UPRAVLJANJE ODRŽAVANJEM, po pravilu se može zapaziti sledeće:

- Ne postoji, ili u potpunosti nije rešen sistem kretanja i prikupljanja podataka, informacija i dokumentacije, pa prema tome nisu obezbeđeni minimalni uslovi da se u procesu održavanja donose dovoljno kvalitetne odluke,

- Dokumentacija za potrebe planiranja i upravljanja održavanjem je loše ili nije nikako rešena; ovo se odnosi i na tehničku dokumentaciju koja se i loše čuva,
- Funkciji održavanja se u organizaciji preduzeća po pravilu ne pridaje potreban značaj, te je, na primer, gotovo redovno da ova funkcija ne raspolaže potrebnom pripremom rada,
- Radni zadaci održavanja se formiraju prema organizacionim celinama umesto obratno,
- Sistemi skladišta rezervnih delova i materijala za održavanje su obično nedovoljno proučavani i međusobno povezani,
- Poslovanje sa rezervnim delovima i materijalima za održavanje je gotovo redovno neplansko, te ne postoje razradjeni sistemi i rutine za osiguranje potrebnih količina rezervi,
- Izvršiocu u održavanju su po pravilu prepušteni sami sebi, što kao posledica loše pripreme rada izaziva velike gubitke vremena usled lutanja u pronalazanju i transportu rezervnih delova, materijala i alata.

Jasno je da se slika od slučaja do slučaja razlikuje, zavisno od toga koliko je pažnji u datoj radnoj organizaciji posvećeno problematici održavanja. Skoro po pravilu, tamo gde se smatra da je neophodno raditi na unapređivanju sistema i racionalizaciji održavanja postojeći sistem je bolji od onih gde ta shvatanja nisu prisutna.

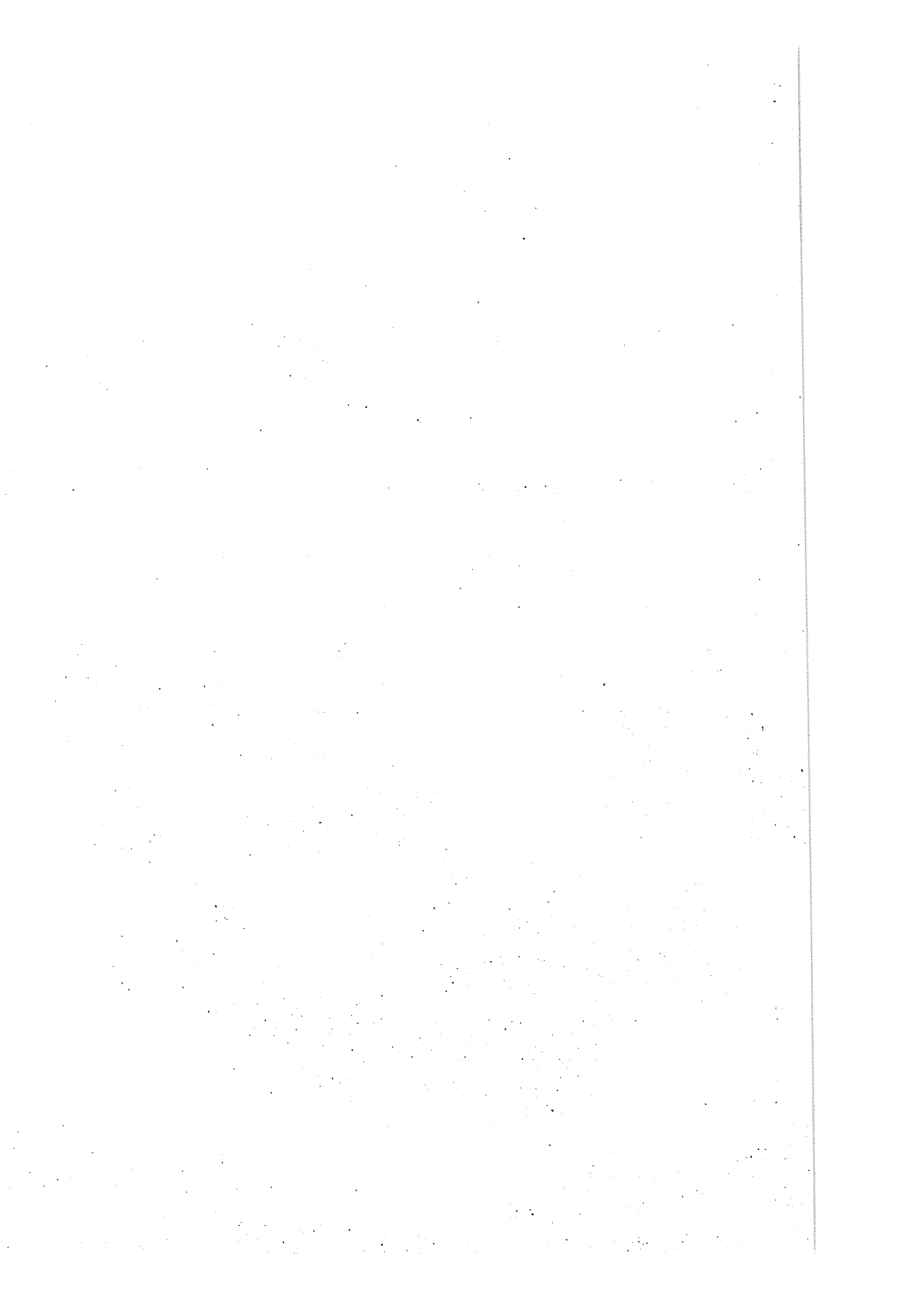
##### 5. Zaključak

Značaj održavanja i njegov uticaj na racionalizaciju proizvodnje naglo se povećao sa povećanjem nivoa automatizacije proizvodnih postupaka, što je veoma lako uočljivo kroz povećanje troškova zastoja i veće zahteve u pogledu stručnosti osoblja koje treba da održava takva proizvodna postrojenja.

Kretanja koja su danas jako izražena u pogledu odnosa prema sredstvima rada dovela su do pojave nove discipline - Terotehnologije, koja obuhvata brigu o sredstvima za rad u toku njihovog živornog ciklusa - dakle od početka projektovanja do povlačenja iz upotrebe.

L I T E R A T U R A

- 1 F. Rejec - Terotehnologija - Informator, Zagreb 1974
- 2 A.Baldini i grupa autora: Priručnik za održavanje industrijskih postrojenja : Zavod SR Slovenije za produktivnost dela - 1979
- 3 D. Parkes Izveštaj o napretku Terotehnologije - Zbornik radova sa 5. evropskog kongresa o održavanju - Opatija, maja 1980.
- 4 V. Šolaja, M.Dragović, Ž.Maričić: Problemi održavanja u zemljama u razvoju - Zbornik radova sa 5. evropskog kongresa o održavanju - Opatija, maja 1980.
- 5 B.Blanchard: Proširenje granica održavanja - Zbornik radova sa 5. evropskog kongresa o održavanju - Opatija, maja 1980.
6. VDI Richtlinien 3005
- 7 Engel H.K., Handbuch der neuen Techniken des Industrial Engineering, Verlag Moderne Industrie, Wolfgang Dummer & Co, Munchen 1972.
- 8 Alfred Degelmann: Organisationsleiter Handbuch, verlag Moderne Industrie Walfgrang Dummer & CO 8. MUNSHEN 50
- 9 H. Maynard: Industrijski inženjering - Privredni pregled, 1974.
- 10 Dragović M. i grupa saradnika, Jedan od primenjenih sistema rada u pripremi održavanja, III godišnja konferencija YUMO, Budva 1974.
- 11 Dragović M., Pejak., REMAX sistem održavanja tehnološke opreme, održavanje mašina i opreme 4 1975 3.
- 12 Dragović M., Pejak P., Grigorijev V., Vuković K., Značaj uloga i zadaci Pripreme rada u održavanju, V konferencija YUMO, Novi Sad 1976.
- 13 Pejak P., Butorajac D., Dragović M., REMAX sistem održavanju alatnih mašina, X savetovanje proizvodnog mašinstva, Beograd 1975
- 14 Robaj Z., Dragović M., Janus Ž., Uvodjenje sistema preventivnog održavanja u TE "Kosovo" i njegov uticaj na produktivnost, referat sa simpozijuma: "Produktivnost rada kao faktor produbljivanja socijalističkih samoupravnih odnosa, stabilnog i bržeg razvoja Jugoslavije", Peć 1976
- 15 P.Pejak, Ž.Maričić, M.Dragović, D.Butorajac, R.Albijanić, D. Petrović, J.Zeković., J.Petrović, Projekat proizvodno tehničkog procesa pogona za održavanje i proizvodnju rezervnih delova i komponenata Termoelektrane "Kosovo" - I-V", Elaborat 515/75, Institut IAMA Beograd 1975
- 16 M.Tomašević, P.Pejak, V.Šolaja, Održavanje sredstava za rad na osnovu utvrđenog stanja, VI konferencija YUMO, Mostar 1977.
- 17 M.Dragović, M.Tomašević., REMAX sistem u praksi novi rezultati racionalizacije održavanja
- 18 M.Dragović, M.Tomašević P.Pejak i grupa saradnika: Terotehnološki priručnik TE "Kosovo I-V".
- 19 Dragović M., Tomašević M., Pejak P., Šolaja, V., Pristup izgradnji sistema planiranja i snabdevanja rezervnih delova i materijala za održavanje. Saopštenja IAMA, 26, Beograd 1978. 3575.



XIV SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980.

B. Devedžić, M. Stefanović \*)

"REZERVA PLASTIČNOSTI" KAO POKAZATELJ TEHNOLOŠKIH KVALITETA  
MAZIVA ZA DUBOKO IZVLAČENJE

1. Uvod

Kontaktno trenje, prisutno u svim procesima plastičnog deformisanja metala, izuzetno važnu ulogu igra pri obradi limova dubokim izvlačenjem. U zavisnosti od naponsko-deformacione sheme oblikovanja, trenje može imati pozitivan ili negativan uticaj, odnosno poboljšavati efikasnost procesa ili dovesti do gubitka njegove stabilnosti. Izučavanje uticaja trenja i podmazivanja pri dubokom izvlačenju složeno je zbog njegove direktne povezanosti sa ostalim elementima procesa: geometrijom alata, zazorom, uslovima na držaču, brzinsko-temperaturnim uslovima, karakteristikama materijala koji se obradjuje i sl.

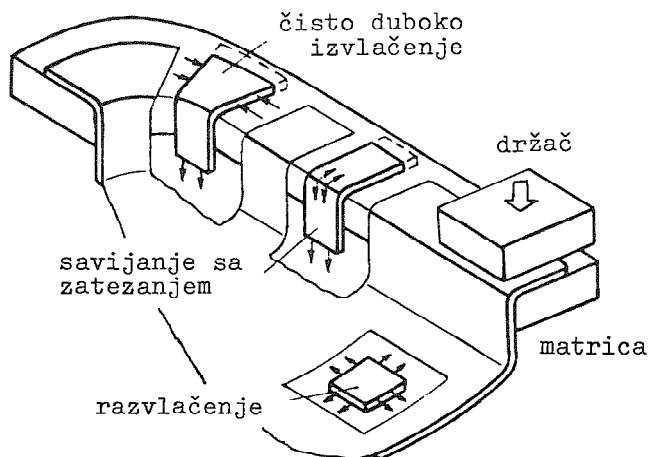
Svaki složeni otpresak se u osnovi dobija kombinacijom lokalnih oblikovanja pri različitim naponsko-deformacionim shemama, od kojih su karakteristične: razvlačenje-dvoosno zatezanje, čisto duboko izvlačenje i savijanje sa zatezanjem, sl.1. Očigledno je da treba odvojeno razmatrati sledeće karakteristične zone: zonu oboda (ispod držača), zonu radijusa matrice i zonu ispod izvlačača. Pregledan prikaz uticaja maziva u pomenutim regionima dat je u radovima [1], [2].

Trenje na obodu, kao posledica dejstva držača, mora biti što manje, ali ipak dovoljno da spreči pojavu nabora. U zoni radijusa matrice, kontaktno trenje mora biti minimalno za sve slučajevne izvlačenja. U zoni kontakta izvlačača i lima, trenje

---

\*) Dr Branislav Devedžić, dipl. ing., redovni profesor  
Mašinskog fakulteta u Kragujevcu;  
Mr Milentije Stefanović, dipl. ing., asistent Mašinskog  
fakulteta u Kragujevcu, ul. S. Janjić 6.

mora biti što veće (čisto duboko izvlačenje), kako bi se izbeglo stanjenje lima na radijusu izvlačka.



Sl.1. Tipični modeli deformisanja pri izvlačenju složenog otpreska

## 2. Postupci i metode ocene kvaliteta maziva

Iz shematskog prikaza oblikovanja složenog otpreska, sl.1. jasno je da sem u slučaju industrijskih eksperimenata, laboratorijska istraživanja moramo svesti na tačno odabrane modele-predstavnik tipičnih formi deformisanja. Zaključci dobijeni na osnovu ovakvih ispitivanja moraju se smišljeno i na odgovarajući način primeniti u praksi.

### 2.1. Simulativni postupci ispitivanja

Kod postupaka kod kojih dominira naponsko-deformaciona shema razvlačenja, ocena kvaliteta maziva se može iskazati preko više parametara. Najčešće su to: dubina izvlačenja u trenutku gubitka stabilnosti deformisanja-pojava pukotine (Erichsen-ov test), najveća sila izvlačenja, distribucija deformacija, iznos koeficijenta trenja između lima i izvlačka i sl. Uticaj trenja i podmazivanja pri ovakvom modelu deformisanja izučavao je niz autora [3],[4]. Zbog manje relativne brzine između izvlačka i lima (u odnosu na čisto duboko izvlačenje), mazivo mora imati sposobnost formiranja "klina" između metalnih površina, koji se neće narušiti pri daljem rastu normalnog pritiska. Zbog

visokih kontaktnih pritisaka i relativno velikih iznosa koeficijenta trenja, test razvlačenja je našao veliku primenu u ocenjivanju maziva.

Uticaj podmazivanja pri čistom dubokom izvlačenju izučavali su takodje mnogi autori [5],[6]... Parametri kojima se najčešće opisuje efikasnost podmazivanja su (pri klasičnom Swift-ovom testu): maksimalni iznos stepena izvlačenja, najveća sila izvlačenja, distribucija deformacija i sl. Ovde se može dodati i značaj uticaja brzine deformisanja, sile držanja, geometrije alata i sl. Zbog klizanja lima između matrice i držača, mazivo mora imati visoka svojstva održavanja neprekidnosti filma na kontaktnim površinama. Elementarni test za ovakvu ocenu je provlačenje trake lima između ravnih površina alata (merenje sile i koeficijenta trenja). Ukoliko kontaktne površine nisu ravne, već simuliraju stanje na "zateznom rebru", vrši se približenje realnoj situaciji pri izvlačenju [7].

Treba podvući da testovi kod kojih je centralni parametar sila izvlačenja, praktično ne pokazuju meru uticaja maziva na iskorišćenje svojstava plastičnosti metala.

## 2.2. "Rezerva plastičnosti" kao pokazatelj kvaliteta maziva

Da bi se na neki način kvantificirao uticaj maziva na stvarno iskorišćenje svojstava plastičnosti metala, trebalo bi registrovati ostvarene deformacije na otprescima uz korišćenje različitih maziva i izvršiti odgovarajuće uporedjenje. Deformacije na otprescima ( $\varphi$ ) se mere u zonama najčešćeg gubitka stabilnosti deformisanja-kritičnim zonama. Uporedjenje se vrši sa deformacijom na granici stabilnog deformisanja, tj. maksimalno dopuštenom deformacijom  $\varphi_M$ .

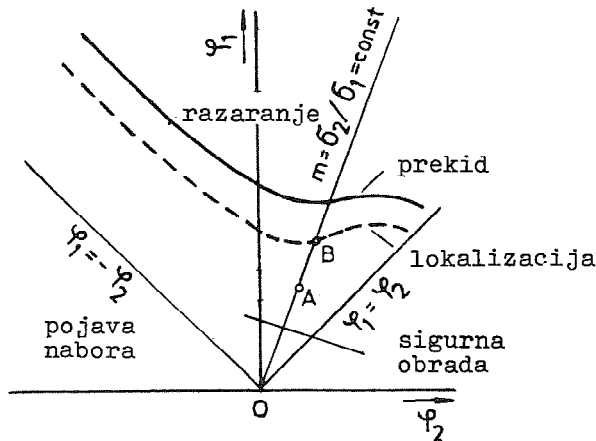
"Rezerva plastičnosti", prema [9] ima oblik:

$$\eta = \frac{\varphi_M}{\varphi} \quad (1)$$

Teškoće nastaju pri tačnom teorijskom odredjivanju granične deformabilnosti, odnosno parametra  $\varphi_M$ . Postoji više pristupa teoretskom razmatranju i definisanju granične deformabilnosti [10], pri čemu sve ove teorije više-manje daju rezultate različite od eksperimentalnih. Zbog toga se u radu vrše



uporedjenja preko odnosa u eksperimentalno odredjenom dijagramu granične deformabilnosti, sl.2. Jasno je da za ovakvo korišćenje podatka o graničnoj deformabilnosti mora postojati identičnost istorije deformisanja, odnosno važiti pretpostavka o proporcionalnosti i monotonosti deformisanja ( $m = \sigma_2/\sigma_1 = \text{const.}$ ). Bliže analize oblika ove putanje pri izvlačenju tela polusfernog oblika, koje su vršili različiti autori, pokazuju da je njen stvarni oblik nešto povijen, ali će se ta okolnost ovde zanemariti, tj. smatrati da je odnos  $\varphi_1/\varphi_2$  u toku procesa deformisanja približno konstantan.



Sl.2. Dijagram granične deformabilnosti

"Rezerva plastičnosti", ili faktor sigurnosti, za pomenute uslove deformisanja, biće prema geometrijskim odnosima na gornjoj slici [8]:

$$\eta = \frac{\varphi_{1(B)}}{\varphi_{1(A)}} \quad (2)$$

za:

$$m = \frac{2\varphi_2 + \varphi_1}{2\varphi_1 + \varphi_2} = \text{const}$$

gde je:

- $\varphi_1$  - glavna, meridionalna deformacija,
- $\varphi_2$  - tangencijalna deformacija,
- $\sigma_1$  - najveći normalni napon (meridionalni),
- $\sigma_2$  - manji normalni napon (tangencijalni).

Ovaj faktor se može sračunati i na jednostavniji, ali i manje tačan način [9]:

$$\eta = \frac{n}{\varphi_1} \quad \text{za } m \geq 0,5 \quad (3)$$

$$\eta = \frac{2-m}{1+m} n \quad \text{za } m < 0,5 \quad (4)$$

gde je  $n$  najveća prirodna ravnomerna deformacija ("n-faktor").

Iskorišćenje plastičnosti se može takodje definisati i kao razlika kritične i izmerene vrednosti [11]:

$$\omega = \varphi_M - \varphi = \frac{2\sqrt{1-m+m^2}}{2-m} (n - \varphi_1) \quad (5)$$

ili:

$$\omega' = \varphi_{(B)} - \varphi_{(A)} \quad (6)$$

### 3. Eksperimentalni rezultati

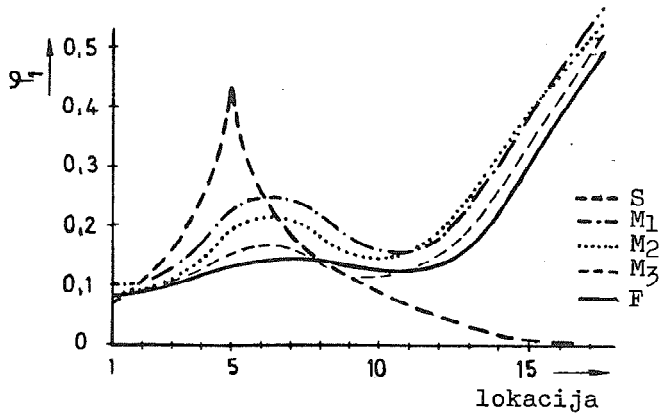
Praktično ispitivanje u pogonskim uslovima izvršeno je na otpresku sa polusfernim dnom, sl.3, prečnika 120 mm. Komad se izvlači u jednoj operaciji, pri stepenu izvlačenja  $\beta = 1,92$ . Materijal je neumireni čelični lim za duboko izvlačenje, debljine 1 mm. Na razvijeno stanje pre izvlačenja je naneta merna mreža krugova, prečnika 5 mm.



Sl.3. Otpresak korišćen pri ispitivanju maziva

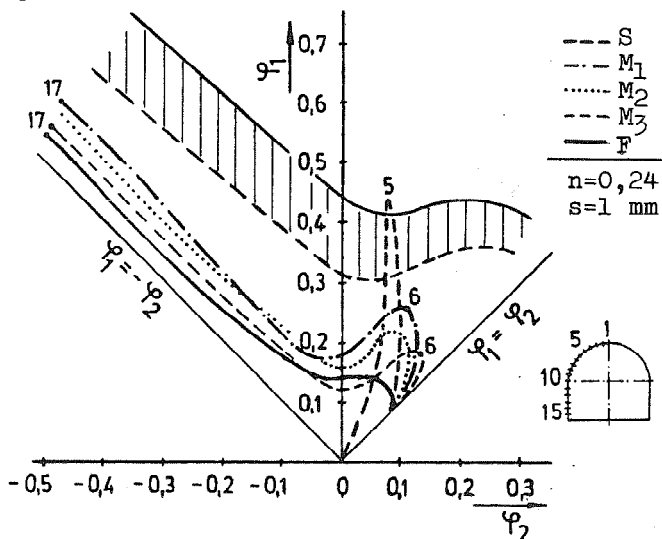
Izvlačenja su vršena na hidrauličnoj presi dvostrukog dejstva, nominalne jačine 630 kN. Podmazivanje je vršeno isključivo na obodu komada, sa gornje i donje strane. Korišćena su tri različita maziva (M1, M2 i M3), folija polietilena (F) a u jednom slučaju kontaktne površine su bile suve (S) - prethodno odmašćene acetonom.

Na sl.4. data je distribucija glavne veće deformacije koja je merena po meridijanu otpreska, uz korišćenje različitih maziva.



Sl.4. Distribucija deformacija pri korišćenju različitih maziva

Vrednosti deformacija u istom preseku su unošene i u dijagram granične deformabilnosti, koji je prethodno odredjen po Nakazima-postupku, sl.5. Iz sl.4. i 5. očigledno je da do lokalizacije deformacija dolazi u zoni čela izvlakača, odnosno u zoni razvlačenja. Veći iznos deformacije  $\varphi_1$  na obodu komada (sl.5.) ne označava kritičnu zonu, što se vidi i po položaju tačaka (17) u dijagramu granične deformabilnosti.



Sl.5. Raspored deformacija u meridionalnom preseku

Prema postavkama u tački 2.2. može se sada izračunati "rezerva plastičnosti" - faktor sigurnosti i izvršiti uporedjenje. Ove vrednosti su sredjene u tabeli 1.

Tabela 1.

Mazi- vo	Mer. tač.	$\varphi_1$	$\varphi_2$	m	$\eta$		$\omega$	$\omega'$
					(2)	(3)		
Suvo	5	0,42	0,08	0,63	0,74	0,52	-0,25	-0,11
M1	6	0,25	0,10	0,75	1,36	0,88	-0,04	0,09
M2	6	0,21	0,09	0,76	1,57	1,04	0,02	0,12
M3	6	0,18	0,12	0,87	2,00	1,22	0,06	0,18
Foli.	6	0,09	0,05	0,82	3,77	2,44	0,20	0,25

Prema ovakvom kriterijumu ocene, mazivo M3 je najbolje (podmazivanje folijom polietilena je specijalan slučaj). Relativna uporedjenja između maziva sada su moguća i jednostavna. Kvalitetno mazivo na obodu komada koji se izvlačio smanjuje silu trenja i onemogućava lokalizaciju u zoni vrha izvlakača.

#### 4. Zaključak

1. Formiranje pokazatelja "rezerve plastičnosti", odnosno faktora tehnološke sigurnosti na osnovu uporedjenja ostvarene maksimalne deformacije u kritičnoj zoni otpreska i njenog maksimalnog mogućeg iznosa može se izvršiti na različite načine, a zatim koristiti kao direktni pokazatelj efekta podmazivanja pri primeni različitih maziva. Najjednostavnije uporedjenje dobija se uz uprošćenu pretpostavku da maksimalni iznosi glavnih deformacija u ravni lima ne mogu preći vrednost "n-faktora". S obzirom da je pri ovakvim ispitivanjima osnovni cilj dobiti podatke o efektu podmazivanja u kvantitativnom smislu, a ne o preciznom iznosu granične deformacije koja se još može ostvariti, korišćenje ovakvog jednostavnog oblika pokazatelja može imati praktično opravdanje.

2. Najrealniji podatak o iznosu "rezerve plastičnosti" dobija se korišćenjem dijagrama granične deformabilnosti. Medjutim, pri tome se normalno javlja nekoliko praktičnih problema koje treba rešiti. Jedan od njih je, nesumnjivo, definisanje realnog oblika i naročito položaja granične krive, koji zavise od niza činilaca, uključujući i trenje. Dalje, za tačno određivanje stvarne "istorije" deformisanja, tj. međusobnog odnosa veće i manje deformacije na kritičnom mestu u toku čitavog procesa zahtevalo bi dodatno ispitivanje, što čitav postupak može znatno komplikovati. Ipak, kada su u pitanju uobičajeni laboratorijski uzorci, najčešće se bez veće greške može uzeti da je ovaj odnos deformacija u toku čitavog procesa konstantan (proporcionalno deformisanje).

3. Umesto formiranja pokazatelja "rezerve plastičnosti" u vidu količnika, za praktičnu upotrebu može biti pogodnije da se on izrazi u vidu razlike granične i ostvarene deformacije. Ovo stoga što tako dobijene numeričke vrednosti direktno izražavaju veličinu deformacije koja se još može ostvariti pre razaranja lima.

4. Ocenjivanje efekata podmazivanja, odnosno izbor optimalnog maziva ne može se vršiti šablonski i jednoznačno za sve slučajeve. Naročito kod složenih i geometrijski nepravilnih otpresaka poželjna je individualna analiza. Načelno posmatrano, postoji više metodoloških mogućnosti da se ona sprovede, od kojih je jedna naznačena u ovom radu.

#### Literatura

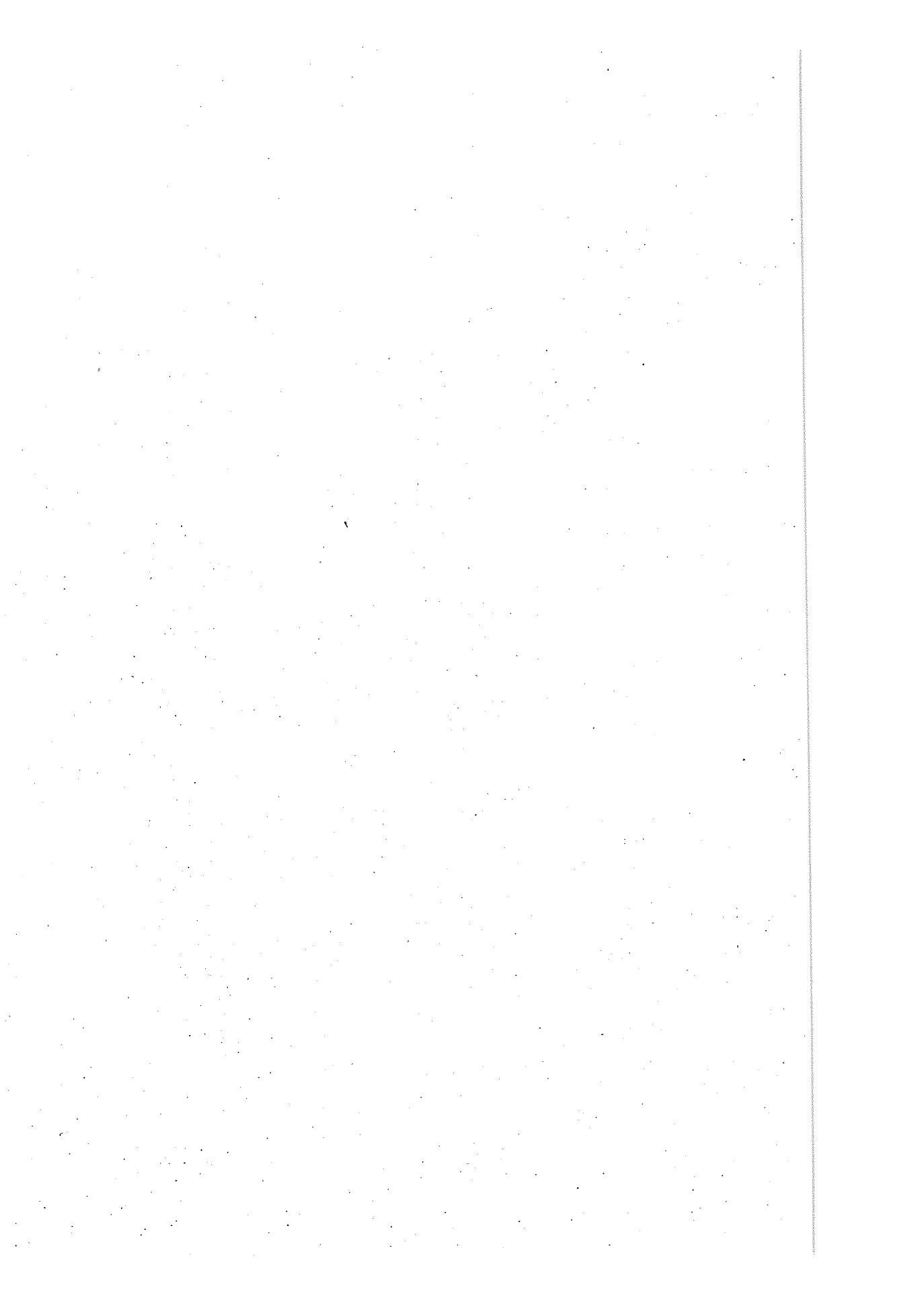
- [1] D.H.Lloyd, Lubrication for Press Forming, Sheet Metal Industr., 3,4,5,6,7 (part 1-5), 1966.
- [2] B.Fogg, The Relationship Between the Blank and Product Surface Finish and Lubrication in Deep Drawing and Stretching Operations, Sheet Metal Industr., 2, p.95-112, 1967.
- [3] A.C.Ghosh, A Method for Determining the Coefficient of Friction in Punch Stretching of Sheet Metals, Int. Journal of Mech. Sci., 19, p.457-470, 1977.
- [4] B.Fogg, Modern Developments in Lubrication Theory and Practice for Deep Drawing, Sheet Metal Industr., 5, p.294-304. 1976.

- [5] K.Yoshida, M.Kunio, K.Hiroshi, The Effects of Lubrication on the Press Forming Limits of Sheet Metal, Bull. JSME, 10, p.188-196, 1967.
- [6] A.Albertocchi, G.Milanese, D.Moio, P.Timossi, Esperienze e considerazioni sulla lubrificazione nelle operazioni di imbutitura di laminati piani di acciaio, Tribologia e lubrificazione, 11/3, p.16-21, 1976.
- [7] C.Weidemann, The Blankholding Action of Draw Beads, 10th Biennial Congress (IDDRG), p.79-85. 1978.
- [8] B.Devedžić, M.Stefanović. On the Influence of the Lubrication in Sheet Metal Forming on the Variation in the "Plasticity Reserve", 21. Int. Mach. Tool Dies., Swansea, 1980. (u štampi).
- [9] A.D.Tomlenov, Mehanika procesov obrabotki metalov davleniem, MAŠGIZ, Moskva, 1972.
- [10] V.Hasek, Untersuchung und theoretische Beschreibung wichtiger Einflussgrößen auf das Grenzformänderungsshaubild, Bleche Rohre Profile, 25, (5,6,8,10), 1978.
- [11] B.Devedžić, Ermittlung der Plastizitätsreserve unter Berücksichtigung des Spannungszustandes beim Blechziehen, INFERT 74, TU Dresden, 1974.

B.Devedžić, M.Stefanović

THE "PLASTICITY RESERVE" AS AN INDICATOR OF THE QUALITY OF THE LUBRICANTS FOR DEEP DRAWING

This paper deals with the investigations aimed at finding optimum methodology for assessing the quality of lubricant for deep drawing. The "plasticity reserve", or the safety factor, illustrates in a relatively simple way the effects of lubrication, enabling the quality of lubricant to be evaluated. The procedure for evaluating the lubricants, as proposed in the paper, has been applied to a deep drawing process in real production conditions.



XIV SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980.

H. Djukić, P. Popović \*

UTICAJNI PARAMETRI U PROCESU IZVLAČENJA  
SA REDUKCIJOM DEBLJINE ZIDA

1. U V O D

Na proces izrade cilindričnih elemenata metodom dubokog izvlačenja sa redukcijom debljine zida omotača, utiče veliki broj činilaca. Prema /1/ zavisnost uspješne primjene određene tehnologije obrade materijala deformisanjem ( $T_o$ ), od čitavog niza činilaca, može se izraziti opštom zavisnošću:

$$T_o = T(f_{p1}, f_{p2}, \dots, f_{pi}, f_{s1}, f_{s2}, \dots, f_{sj}) \dots \dots \dots (1)$$

gdje su:

- $f_p$  - uticajni faktori koji zavise od predmeta obrade i
- $f_s$  - uticajni faktori koji zavise od sredstava rada

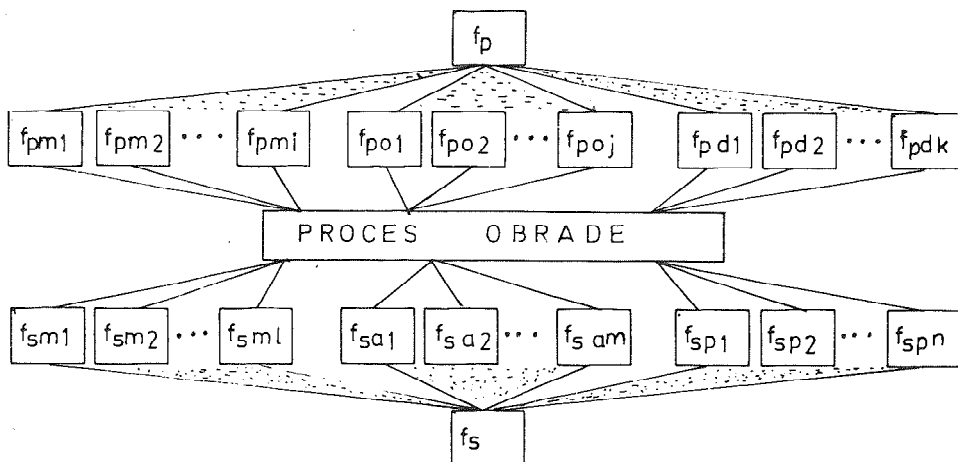
Sagledavanjem procesa obrade materijala deformisanjem i uticajnih faktora svih elemenata koji aktivno učestvuju u njemu, dolazi se do ilustrativne sheme prikazane na sl.1, koja omogućuje programiranje pravaca

---

\* Mr. Himzo Djukić, dipl.inž., asistent Mašinskog fakulteta u Mostaru  
Dr Predrag Popović, dipl.inž., redovni profesor Mašinskog fakulteta  
u Nišu.



istraživanja u svrhu optimiranja procesa proizvodnje, kako sa stanovišta kvaliteta predmeta rada, tako i sa stanovišta povećanja produktivnosti i pojeftinjenja proizvodnje.



Sl.1.

Uticajni faktori prikazani na sl.1. su:

- $f_{pm}$  - uticajni faktori koji zavise od materijala predmeta obrade,
- $f_{po}$  - uticajni faktori oblika elementa koji se obradjuje,
- $f_{pd}$  - uticajni faktori dimenzija predmeta rada,
- $f_{sm}$  - uticajni faktori mašine u kojoj se obradjuje element,
- $f_{sp}$  - uticajni faktori pomoćnog dijela sredstava rada.

U ovom radu će biti pokazani rezultati eksperimentalnih istraživanja, nekih uticajnih parametara na proces izvlačenja cilindričnih elemenata sa redukcijom debljine zida omotača.

## 2. EKSPERIMENTALNI RAD

Eksperimentalna istraživanja uticajnih faktora, izvedena su sa ciljem obuhvatanja sva tri činioca koja učestvuju u procesu: mašina, materijal i alat, kako bi se dobili pokazatelji koji će kompleksno opisivati proces. Istraživanja su izvedena u proizvodnim i laboratorijskim uslovima. Proizvodna ispitivanja su izvršena na prototipu mehaničke prese, izradjene u Tvornici mašina u Konjicu. Mehanizam ove prese obezbjeđuje približno konstantnu brzinu deformisanja, u radnom dijelu izvlačenja, što predstavlja veliku prednost u odnosu na postojeće mehanizme. Laboratorijska ispitivanja su izvedena na pritiskom dijelu hidraulične kidaalice, u laboratorijama Mašinskog fakulteta u Mostaru. Eksperimentalno su ispitivani slijedeći parametri: optimalan ugao prstena za izvlačenje, uticaj ugla prstena za izvlačenje na promjenu površinske tvrdoće, uticaj brzine deformisanja na zakon promjene deformacione sile izvlačenja, uticaj debljine dna i visine priprema na zakon promjene deformacione sile izvlačenja, uticaj stepena deformacije na promjenu mehaničkih osobina materijala i uticaj broja prstenova za izvlačenje na zakon promjene deformacione sile izvlačenja.

Zbog ograničenog prostora, u ovom radu detaljno će se obraditi uticaj broja prstenova za izvlačenje, na zakon promjene deformacione sile izvlačenja, dok će se uticaj ostalih parametara predstaviti preko rezultata pojedinih eksperimenata.

Kao početni materijal - pripremak, za sve eksperimente poslužio je cilindrični element vanjskog prečnika  $\emptyset$  22 mm i visine 80 mm, izradjen od mesinca CuZn28. Izradak je imao vanjski prečnik  $\emptyset$  20 mm i visinu 120 mm. Eksperimenti su u proizvodnim i laboratorijskim uslovima, izvedeni sa alatom koji se koristi u procesu proizvodnje.

### 2.1. Rezultati eksperimentalnih istraživanja

Istraživanje optimalnog ugla prstena za izvlačenje je izvršeno u proizvodnim i laboratorijskim uslovima. Ispitivanja su vršena sa četiri prstena za izvlačenje istog prečnika a različitog ugla ( $\alpha = 8, 12, 14$  i  $16^\circ$ ). Mjerenjem deformacione sile izvlačenja u oba slučaja je pokazano da je optimalni ugao  $\alpha = 12^\circ$ , /4 i 6/. U radu /4/ je pokazano da ugao prstena za izvlačenje utiče na promjenu površinske tvrdoće, te da najbolju zakonitost

promjene površinske tvrdoće imaju izradci, izvučeni na prstenu za izvlačenje, koji je imao ugao  $\alpha = 12^\circ$ . U radu /4/ je data veza između rasta površinske tvrdoće i kontrakcije poprečnog presjeka izradka u obliku:

$$HV = 188 + 1,494 \cdot \psi^{0,758} \dots\dots\dots (2)$$

gdje je:

- HV - površinska tvrdoća po Vickersu ( $HV_3$ )
- 188 - površinska tvrdoća na prelazu omotača u dno ( $HV_3$ )
- $\psi$  - kontrakcija poprečnog presjeka izradka u [%].

Eksperimentalno je dokazano da brzina deformisanja utiče na vrijednosti deformacione sile izvlačenja. Mjenjanjem brzine deformisanja u proizvodnim uslovima od 0,24 do 0,70 m/s, /6/, došlo je do smanjenja deformacione sile izvlačenja sa povećanjem brzine deformisanja. U radu /2/, su pokazane značajne razlike između vrijednosti deformacione sile izvlačenja dobivene u laboratorijskim uslovima u odnosu na proizvodne uslove. U radu je dat matematički model preračunavanja deformacione sile izvlačenja sa laboratorijskih na proizvodne uslove u obliku:

$$F_p = F_1 \cdot \left( \frac{v_1}{v_p} \right)^{0,444} /N/ \dots\dots\dots (3)$$

gdje je:

- $F_p$  - maksimalna sila izvlačenja u proizvodnim uslovima,
- $F_1$  - maksimalna sila izvlačenja u laboratorijskim uslovima,
- $v_1$  i  $v_p$  - brzine deformisanja u laboratorijskim i proizvodnim uslovima.

Istraživanje uticaja debljine dna i visine priprema na zakon promjene deformacione sile izvlačenja je izvršeno u laboratorijskim uslovima /3/. Na osnovi eksperimentalnih istraživanja može se zaključiti da debljina dna bitno utiče na vrijednost deformacione sile izvlačenja koja nastaje uslijed deformisanja dna kroz prsten za izvlačenje. Mijenjanjem debljine dna priprema od 1,9 do 6,4 mm, došlo je do znatne promjene deformacione sile izvlačenja. U radu /3/ je dat matematički model za određivanje uticaja debljine dna priprema, na zakon promjene deformacione sile izvlačenja u obliku:

$$F = 27,368 \cdot s_0^{0,495} \quad /KN/ \quad \dots\dots\dots (4)$$

gdje je:

- P - sila deformisanja dna,
- s<sub>0</sub> - debljina dna u mm

## 2.2. Uticaj broja prstenova za izvlačenje na zakon promjene deformacione sile izvlačenja.

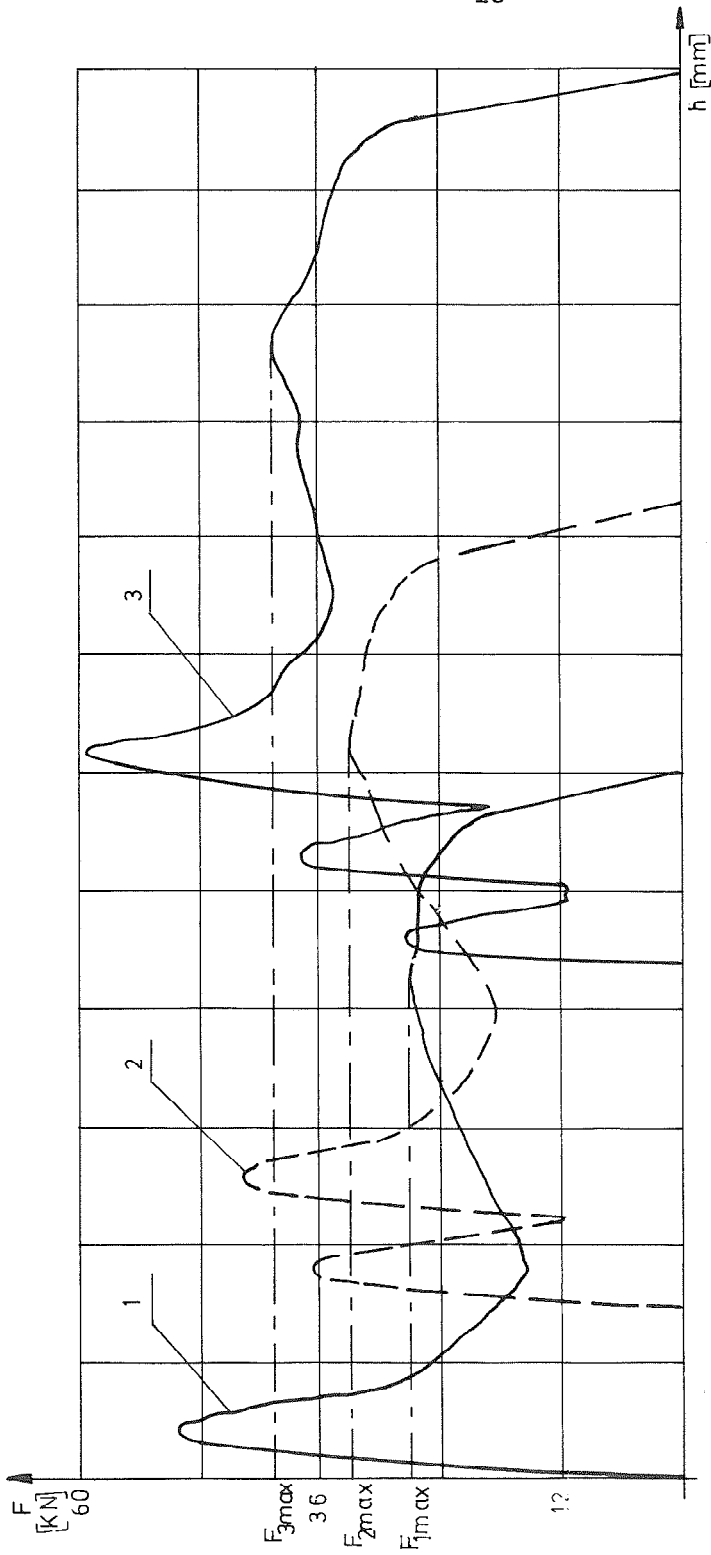
Do sada je veliki broj autora, na različite načine, definisao teoretske obrasce za izračunavanje deformacione sile izvlačenja sa redukcijom debljine zida omotača /5/, /7/, /8/ i /9/. Najveći broj tih obrazaca je izveden na osnovi naponske analize, izvlačenja radnog elementa kroz jedan prsten za izvlačenje. Autor /7/ je izveo obrazac za deformacionu silu, za slučaj izvlačenja kroz dva prstena za izvlačenje.

Kako se u praksi najveći broj izradataka, izradjuje sa dva i više prstenova za izvlačenje, to se izvedeni obrasci za deformacionu silu izvlačenja mogu korigovati. Eksperimentalno odredjivanje uticaja broja prstenova za izvlačenje, je izvršeno na pritiskom dijelu hidraulične kidalice, izvlačenjem pripremaka kroz: jedan, dva i tri prstena za izvlačenje. U sva tri slučaja ukupan stepen deformacije je bio isti, tj. zadnji prsten za izvlačenje je uvijek bio prečnika  $\varnothing 20$  mm. i ugla  $\alpha = 8^\circ$ .

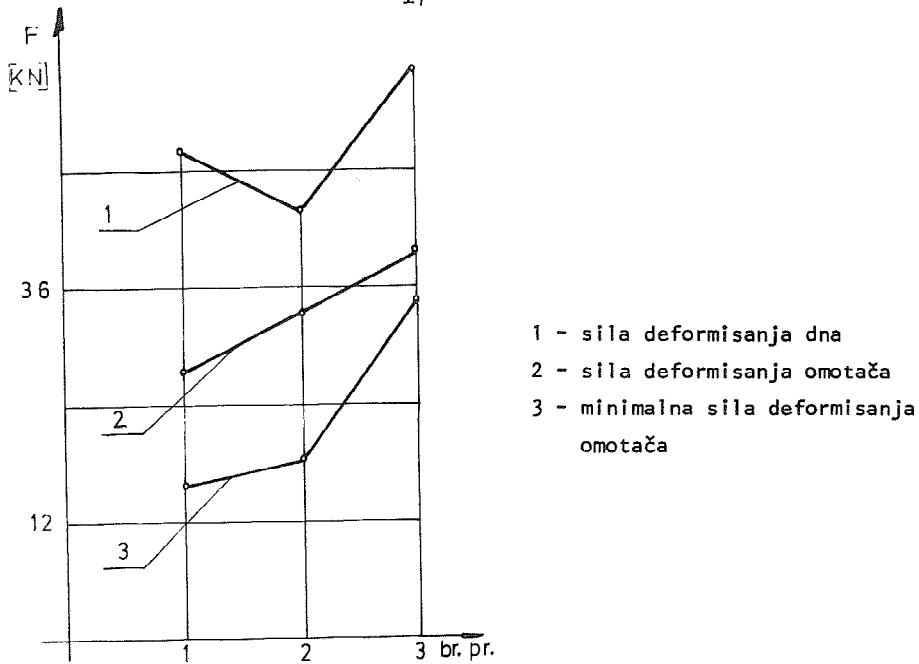
Na sl.2. su prikazana tri karakteristična dijagrama promjene deformacione sile izvlačenja, dobivena izvlačenjem kroz jedan, dva i tri prstena za izvlačenje. Na osnovi dijagrama sa sl.2. nacrtani su dijagrami promjene deformacione sile izvlačenja za tri karakteristične tačke u funkciji od broja prstenova za izvlačenje, koji su predstavljeni na sl.3.

Sa sl.3., se jasno uočava da sa povećanjem broja prstenova, dolazi do povećanja maksimalne (kriva 2), i minimalne (kriva 3), sile deformisanja omotača kroz prstenove za izvlačenje.

Sila deformisanja dna kroz prstenove za izvlačenje (kriva 1), ima minimalnu vrijednost pri izvlačenju kroz dva prstena za izvlačenje.



S1. 2. Dijagrami deformacione sile izvlačenja, dobiveni izvlačenjem kroz: 1 - jedan prsten; 2 - dva prstena i 3 - tri prstena za izvlačenje



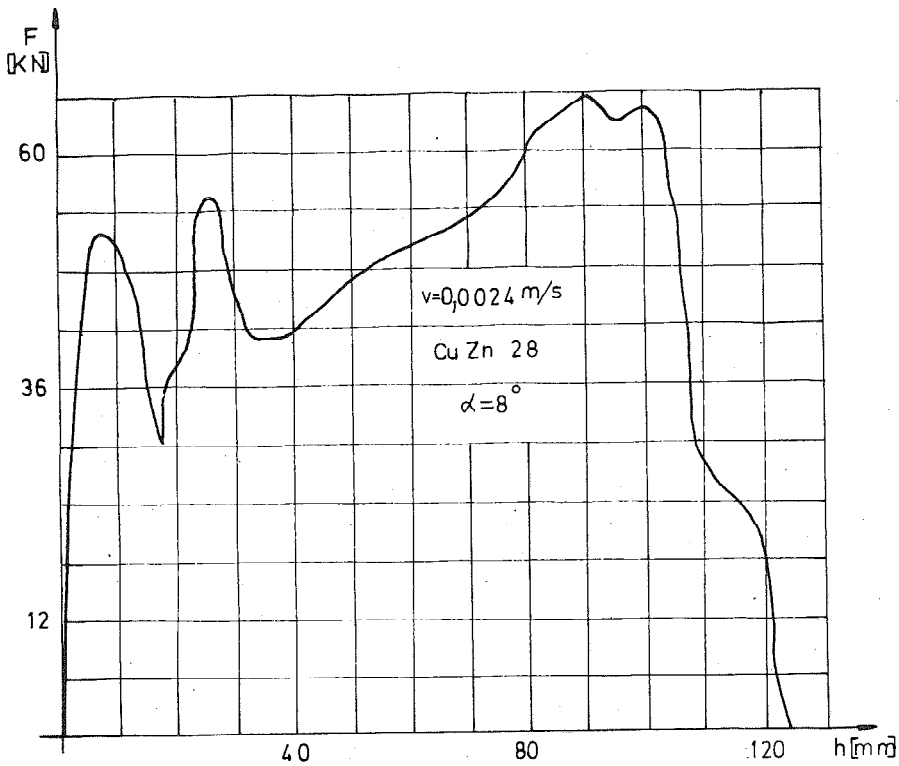
Sl.3.

Prema dosadašnjim istraživanja, do povećanja maksimalne sile izvlačenja, pri izvlačenju kroz veći broj prstenova, dolazi zbog povećanja trenja između izvlakača i cilindričnog elementa, /8/ i /9/.

Na slici 4. je prikazan dijagram izvlačenja cilindričnog elementa kroz dva prstena za izvlačenje istog prečnika.

Sa dijagrama sile izvlačenja sl.4. se uočava da je maksimalna sila izvlačenja, daleko veća od maksimalne sile izvlačenja sa sl.2.

Osnovni razlog ovakvog naglog rasta maksimalne sile izvlačenja, je elastično ispravljanje cilindričnog elementa nakon izlaska iz prvog prstena za izvlačenje.



Sl.4.

Navedeni zaključak ukazuje na to da do rasta deformacione sile izvlačenja ne dolazi samo zbog povećanja trenja izvlakača o radni predmet, već i zbog elastičnog ispravljanja radnog elementa.

### 3. ZAKLJUČAK

Na osnovi izvršenih istraživanja i ispitivanja mogu se izvući sljedeći zaključci, i to:

1. Postoji veliki broj čimilaca koji utiču na proces izvlačenja sa redukcijom debljine zida, a koji se mogu svrstati u dvije osnovne grupe: uticajni faktori koji zavise od predmeta obrade i uticajni faktori koji zavise od sredstava rada.
2. Ugao prstena za izvlačenje ima izražen uticaj na karakter zakona promjene površinske tvrdoće po visini predmeta obrade.
3. Eksperimentalno je dokazano da brzina deformisanja utiče na vrijednost deformacione sile izvlačenja. Predloženi obrazac (3) omogućava preraču-

navanje vrijednosti sila izvlačenja dobivenih u laboratorijskim na proizvodne uslove.

4. Debljina dna i visina priprema bitno utiču na zakon promjene sile izvlačenja.
5. Sa povećanjem broja prstenova za izvlačenje, dolazi do povećanja sile izvlačenja. Do povećanja sile izvlačenja, pri izvlačenju kroz više prstenova za izvlačenje, ne dolazi samo zbog povećane sile trenja uz izvlakač, već i zbog elastičnog ispravljanja radnog predmeta.

H. Djukić, P. Popović

Les parametres qui influencent sur le processus du tirage avec la réduction de l'épaisseur du revêtement.

Dans le présent travail nous avons donné les résultats des recherches expérimentales qui influencent sur le processus du tirage.



#### LITERATURA

- /1/ Popović P., Stanje i perspektive tehnologije prerade lima, Niš, 1980.
- /2/ Djukić H, Popović P., Prilog modeliranju procesa izvlačenja pri narušavanju sličnosti brzine deformisanja, 3. jugoslovenski simpozijum mašine i mehanizmi, univerzitetska istraživanja i primjena u industriji, Mostar, 1980.
- /3/ Djukić H, Popović P., Prilog razmatranju uticaja debljine dne i visine priprema na zakon promjene deformacione sile izvlačenja, BIAM 80', Zagreb, 1980.
- /4/ Djukić H., Popović P., Pantelić T., Prilog istraživanju uticaja ugla izvlačenja na promjenu površinskih tvrdoća pri izradi cilindričnih elemenata, 3. Jugoslovenski simpozijum mašine i mehanizmi, univerzitetska istraživanja i primjena u industriji, Mostar, 1980.
- /5/ Musafia B., Obrada metala plastičnom deformacijom, Svjetlost, Sarajevo. 1976.
- /6/ Grupa autora, Ispitivanje prototipa mehaničke prese, Mašinski fakultet, Mostar 1979.
- /7/ Malov A.N. Tehnologija holodnoi šampovki, Obrongiz, Moskva, 1963.
- /8/ Storožev M.V., Teorija obrabotki metalov davleniem, Mašinostroenie, Moskva, 1977.
- /9/ Popov E.A., Osnovi teorije listovoi šampovki, Mašinostroenie, Moskva, 1977.

XIV SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE,  
ČAČAK, SEPTEMBRA 1980. GODINE

R. Eren

USPOREDNA ANALIZA TEHNOLOŠKOG PROCESA  
METALOPRERADJIVAČKE INDUSTRIJE

1. Uvod

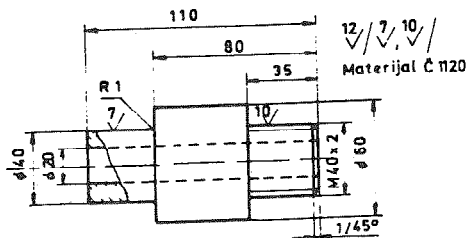
U istraživanju karakterističnih pojava i rezultata nastalih u oblasti projektiranja tehnoloških procesa u nacionalnoj metaloprerađivačkoj industriji (MPI) gledanoj u cjelini naročitu poteškoću čine velike raznolikosti poslovno-proizvodnih sistema (pps-a). Te raznolikosti se prvenstveno odnose na proizvodnu orijentaciju ali i na druge utjecaje bitne za analizu tehnološkog i proizvodnog procesa u cjelini. Poteškoće se čine nepremostivim kada pojave treba izraziti prirodnim pokazateljima u cilju dubljeg prodiranja u njihovu suštinu. Mjerenje rezultata naročito otežava činjenica da se u procesu proizvodnje i poslovanja troše razni oblici rada, koji se samo uslovno mogu svoditi na zajedničku jedinicu mjera.

U ovom referatu je prikazan onaj dio jednog opsežnijeg istraživanja interakcijskog djelovanja organizacijsko-tehnoloških činilaca koji se odnosi na tehnološki proces.

2. Izradak reprezentant i model tehnološkog procesa

U svrhu istraživanja karakterističnih pojava i rezultata nastalih u oblasti projektiranja tehnološkog procesa na nivou MPI primjenjena je posebna metoda s obzirom na to da je praktično nemoguće tu oblast proučiti na bazi vrlo velikog broja postojećih postupaka u velikom broju različitih pps-a.

Izabran je fiktivni dio kao reprezentant. Dio reprezentant po svojim bitnim karakteristikama (konfiguracija, dimenzije, kvaliteta površina, materijal) sličan je dijelu koji se pojavljuje u proizvodnji dijelova razmatranih pps-a (sl. 1)



Sl. 1 Dio reprezentant

dr Robert Eren izv.prof. Tehničkog fakulteta Rijeka, ul.Narodnog  
ustanka 58

U svim razmatranim pps-ima projektiran je tehnološki proces izrade toga dijela do u detalje na način kako je to uobičajeno u pps-u, što uključuje i količinski aspekt, što osigurava komparabilnost svih razmatranih elemenata tehnološkog procesa.

Od osnovnog skupa pps-a metalne industrije, elektroindustrije i brodogradnje SFRJ odabran je uzorak prema kriterijima: prosječan broj zaposlenih, ukupni prihod, teritorijalna pripadnost. Ostvareni uzorak od 49 pps-a predstavlja oko 11% osnovnog skupa.

Projektirani model tehnološkog procesa odabranog dijela reprezentanta služi za komparaciju rješenja prikupljena od pps-a. Radi ostvarenja što realnije osnove za objektivno ocjenjivanje, tehnološki proces - model razradjen je detaljno uz široko sagledavanje i analizu različitih mogućnost na bazi sheme varijanata. Rješenje modela obuhvaća tri operacije (odrezivanje, obrada na tokarilici s jedne strane i obrada na tokarilici s druge strane), a ulazni materijal je valjana šipka.

Operacija tokarenja su razradjena u tri varijante, tako da je svaka karakteristična za određeni tip proizvodnje: na univerzalnoj tokarilici, na revolver tokarilici i na automatskoj tokarilici.

### 3. Osnove interakcijske analize

Osnove interakcijske analize sadrže pojmove: interakcijska matrica, interakcijska krivulja, interakcijski grafikon i skup interakcijskih grafikona.

Zavisne varijable	Nezavisna varijable				
	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>5</sub>
V <sub>1</sub>	0	0	2	0	2
V <sub>2</sub>	0	0	1	0	1
V <sub>3</sub>	2	1	0	1	1
V <sub>4</sub>	0	0	1	0	0
V <sub>5</sub>	2	1	1	0	0

Sl. 2 Primjer interakcijske matrice sa 5 varijabli i podjelom na 4 submatrice

Interakcijska matrica se formira od varijabli tako da redci predstavljaju zavisne, stupci nezavisne varijable. Svaki element matrice označava način povezivanja dvije varijable. Usvojili smo sljedeće oznake: 0 znači ocjenu da interakcijska veza između dvi-

je varijable ne postoji ili nije značajna za istraživanje, 1 znači ocjenu da interakcijska veza postoji i da je potrebno tu vezu ispitati, 2 znači ocjenu da među varijablama postoji interakcijska veza, ali se ona ne može matematski obraditi, jer se bar jedna od varijabli nije mogla numerički izraziti na zadovoljavajući način.

Osim značenja navedenih vrijednosti elemenata matrice, ona jasno pokazuje skup veza svake varijable sa drugim varijablama (stupci odnosno redovi matrice).

Primjenom regresione analize mogu se utvrditi tokovi stohastičkih zavisnosti, regresionih linija, između parova varijabli koji su identificirani u interakcijskog matrici. Takve linije interakcijske krivulje prikazivat će tendencije ili trendove međusobnih utjecaja po dvije varijable.

Za ispitivanje međusobne zavisnosti varijabla odabran je parabolični oblik interakcijske krivulje, s obzirom na iskustvo da su rijetki slučajevi u složenim međuzavisnostima organizacionih činilaca koje se mogu prikazati linearnom zavisnošću.

Interakcijska krivulja daje sljedeće informacije o međusobnoj vezi dvije sadržane varijable:

- najmanja i najveća vrijednost apscise pokazuju interval u kojem su sadržane sve originalne vrijednosti varijable koje se pojavljuju u uzorku,

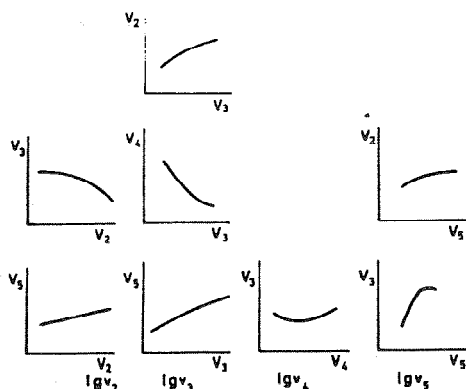
- najmanja i najveća vrijednost ordinate pokazuje interval prosjeka u smislu metode najmanjih kvadrata zavisne varijable,

- vrijednosti ordinate za karakteristične vrijednosti apscise,

- trend parabole i eventualne ekstreme u promatranom intervalu.

Sve ove informacije, koje se direktno mogu očitati sa dijagrama, važni su elementi analize karaktera međusobnog ponašanja promatranih varijabli. Prilikom interpretacije dijagrama mora se voditi računa o odstupanjima od logičnog trenda krivulje, koja se ponekad pojavljuje u području ekstremnih vrijednosti apscise (na početku i na kraju apscise). Takva se odstupanja javljaju pod utjecajem netipičnih ili kontradiktornih ekstremnih vrijednosti i parova varijabla i smanjuju interpretabilnost promatrane krivulje, te se moraju posebno interpretirati na osnovu uvida u ulazne podatke.

Interakcijski grafikon jedne varijable  $I_{gV_j}$  sastavljen je od svih krivulja sa zajedničkom apscisom. Ta varijabla je j-ta nezavisna varijabla u interakcijskoj matrici, a ordinate su zavisne varijable koje su u tom stupcu označene jedinicom.



Sl. 3 Skup interakcijskih grafikona na osnovu interakcijske matrice sa sl. 2

Skup svih grafikona (sl.3) predstavlja osnovu za proučavanje pojava zakonomjernosti u promatranj oblasti.

#### 4. Identificirani utjecajni činioci i njihovi numerički pokazatelji

Na osnovu komparativnog proučavanja organizaciono-tehnološke problematike pps-a identificirani su oni utjecajni činioci za koje se sa velikom sigurnošću može pretpostaviti da imaju bitan utjecaj na kvalitetu poslovanja. Definicija numeričkih pokazatelja utjecajnih činilaca zasnovana je na sljedećim osnovnim principima:

- da dovoljno dobro odražavaju činioce na koje se odnose,
- da mogu predstavljati mjerilo u proučavanju pojava u makro pristupu istraživanju i
- da su potrebne informacije za njihovo izračunavanje relativno lako pristupačne u pps-ima.

#### Koncepcija tehnološkog procesa.

Definicijom operacija tehnološkog procesa nekog dijela definirana je podjela rada u proizvodnji. Dvije moguće krajnje koncepcije su: mali broj složenih operacija i veliki broj podjeljenih operacija.

Koncentracija poslova u malom broju operacija u principu znači projektiranje složenih i vremenskih dužih operacija, primjenu

univerzalnih strojeva, visoku kvalifikaciju radnika, mali broj preudešavanja radnog mjesta, kraći proizvodni ciklus i manji broj radne dokumentacije. Veća podjela rada daje veći broj jednostavnih i vremenskih kraćih operacija što u principu ima suprotne karakteristike od koncentriranih operacija.

Obje koncepcije imaju svoje prednosti i nedostatke koje dolaze do izražaja u zavisnosti od konkretnih uvjeta. U smislu opisanih uvjeta kao pokazatelj koncepcije tehnološkog procesa usvojen je broj operacija sa oznakom  $N_{op}$ .

#### Produktivnost operacija

Norma rada izražena komadnim vremenom u min.  $t_k$ , predstavlja pokazatelj produktivnosti operacije. Možemo govoriti o produktivnosti jedne ili više operacija kao i o produktivnosti svih operacija izrade jednog dijela.

#### "Produktivnost" opreme

Sadržaj i trajanje pripremno završenog vremena zavisi od tipa proizvodnje, organizacije rada i karaktera razmatrane operacije. Svi ovi utjecajni činioci na pripremno završno vrijeme ispoljavaju i vrlo jak međusobni utjecaj. Proizvodna oprema određuje karakter operacija, tip proizvodnje određuje karakter proizvodne opreme čija produktivnost raste sa serijnošću odnosno tipom proizvodnje. Produktivnija oprema je u pravilu složenija i priprema takve opreme za proizvodnu operaciju zahtijeva duže vrijeme. Tako promatrano pripremno završno vrijeme  $T_{pz}$  u min. prihvaćen je u kompleksnom smislu kao pokazatelj produktivnosti proizvodne opreme.

#### Potrošnja materijala

Potrošnja proizvodnog materijala po komadu proizvoda po vrsti i količini izražena je normativom materijala. Stoga kao pokazatelj potrošnje materijala usvojen je normativ materijala sa oznakom  $G_{mat}$  u kg. Kvaliteta materijala definirana je konstrukcionim nacrtom dijela reprezentanta.

#### Ekonomičnost tehnološkog procesa

Zadana kvaliteta proizvoda može se općenito postići na više načina. Za izbor optimalne od svih raspoloživih varijanata mjerodavan je kriterij najmanjih troškova koji obuhvaćaju troškove živog i opredmećenog rada. Razlike u pojedinim usporedjivanim varijantama pojavljuju se u elementima ili u cjelini tehnološkog procesa, ali

kod svih varijanata uspoređuje se ista cjelina.

Ukupni troškovi jedne varijante izraženi su:

$$E = mz + C$$

gdje su:

E - ukupni troškovi, m- proporcionalni troškovi, C - stalni troškovi, z - broj komada proizvoda.

Usporedimo li linije troškova j-tog pps-a sa troškovima modela sl. 4 dobit ćemo razliku  $G_j$ . Za određivanje ove veličine neophodno je poznavanje pokazatelja tipa proizvodnje j-tog pps-a  $M_p$ . Pokazatelj tipa proizvodnje  $M_p$  definiran je u zavisnosti od procen- tualne zastupljenosti tipa proizvodnje u pps-u:

$$M_p = S + 2M$$

pri  $P + S + M = 100$

gdje P, S i M predstavljaju postotke zastupljenosti pojedinačne, serijske i masovne proizvodnje u jednom pps-u.

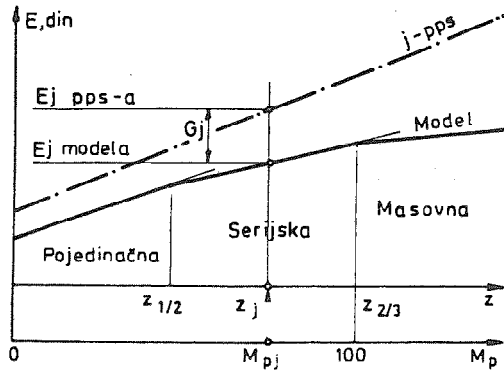
$M_p$  može imati vrijednost od 0 do 200. Odnos između  $M_p$  i z postavljen je na osnovu sljedećih repernih točaka:

- za pojedinačnu proizvodnju  $M_p = 0$  i  $z = 0$
- za serijsku proizvodnju  $M_p = 100$  i  $z = z_{2/3}$  tj kritična tačka modela između serijske i masovne proizvodnje.

Kao pokazatelj utje- cajnog faktora "ekonomika tehnološkog procesa" usvo- jena je veličina

$$\Delta G_j = \frac{G_j}{E_{j, \text{mod}}} \cdot 100\%$$

i nazvana "relativni tro- škovi tehnološkog proce- sa"



Sl.4 Usporedba tehnološkog procesa modela i pps-a.

5. Interakcijska matrica, interakcijski grafikoni i njihova interpretacija.

Na sl. 5 prikazana je interakcijska matrica koja je projektirana prema postavkama u poglavlju 3. a sadrži utjecajne činioce i njihove međusobne veze iz područja projektiranja tehnološkog procesa.

Zavisni činioci	Simbol	red.br.	Nezavisni činioci				
			1	2	3	4	5
Broj operacija	$N_{op}$	1	0	0	1	0	1
Komadno vrijeme	$t_k$	2	1	0	1	1	1
Pripremno završno vrijeme	$T_{pz}$	3	1	1	0	0	1
Normativ materijala	$G_{mat}$	4	0	1	0	0	1
Relativni troškovi tehnološkog procesa	$\Delta G$	5	1	1	1	1	0

Sl. 5 Interakcijska matrica

Koncepcija tehnološkog procesa prikazana je na I-grafikonu - Broj operacija -  $I_{G_{Nop}}$  na sl. 6

Za proučavanje koncepcijskog rješenja tehnološkog procesa reprezentanta služi uzorak od 49 pps-a sa najmanjim brojem od 1 operacije, najvećim od 11 i aritmetičkom sredinom od 4,14. Model tehnološkog procesa predviđa 3 operacije u sve tri razradjene varijante.

U interakcijskom grafikonu sve tri krivulje imaju ekstreme oko vrijednosti od 5 do 6 operacija. Postojanje ekstrema i približno podudarnost njihovog položaja ukazuje na to da se radi o jednoj karakterističnoj vrijednosti. Promatrajući ordinate na tim mjestima uočava se da je:  $t_k$  min tj najveća produktivnost operacije (k 1),  $T_{pz}$  max tj najveća "produktivnost" opreme (k 2) i  $\Delta G$  min tj. najmanji relativni troškovi tehnološkog procesa (k 3).

Stoga se može reći da ovaj interakcijski grafikon ukazuje na postojanje optimalnog broja operacija. Ako se međjutim, ovaj broj usporedi sa modelom koji predviđa 3 operacije uočava se određeno zaostajanje u kvaliteti koja je evidentno i u prosječnim vrijednostima  $t_k$ ,  $T_{pz}$  i  $\Delta G$ .

Produktivnost operacija prikazana je na I-grafikonu - Komadno vrijeme  $I_{G_{tk}}$  na sl. 7



Uzorak od 46 pps-a sa minimalnom vrijednošću komadnog vremena od 14,0 min, maksimalnom od 94 i aritmetičkom sredinom od 30 min, služi za proučavanje produktivnosti operacija. Tehnološki proces modela predviđa u tri varijante: 16,5 min za pojedinačnu i maloserijsku, 10,0 min za serijsku i 5,53 min za velikoserijsku odnosno masovnu proizvodnju.

U interakcijskom grafikonu prikazane krivulje pokazuju logične trendove. Povećavanjem komadnog vremena smanjuje se pripremno-završno vrijeme što predstavlja smanjenje produktivnosti proizvodne opreme (k 1).

Trend povećanja težine ulaznog materijala sa povećanjem komadnog vremena proizlazi iz potrebe pretvaranja veće količine materijala u strugotinu što zahtijeva veći broj prolaza ili smanjene režime obrade (k 2). Visok stupanj korelacije između komadnog vremena i relativnih troškova tehnološkog procesa (k 3) ukazuje na velik značaj normiranja rada.

Postojanje ekstremno velikih komadnih vremena i visokog prosjeka (u odnosu na model), te silazni tok krivulje (k 2) od oko  $t_k = 60$  min što govori o neskladu između normiranja vremena i normiranja materijala, ukazuje na zaostajanje pps-a u kvaliteti normiranja.

Petrošnja materijala prikazana je na I-grafikonu -  
Normativ materijala -  $I_{Gmat}$  sl. 8

Uzorak se sastoji od 49 datih odgovora. U tom broju najmanja vrijednost normativa materijala iznosi 2,25 kg, najveća 3,46 kg, a aritmetička sredina 2,78 kg. Normativ materijala modela predviđa 2,88 kg.

Relativni troškovi tehnološkog procesa su približno konstantni (k 1) što govori o malom utjecaju količine materijala u tim troškovima. Kod toga se mora imati u vidu da su relativni troškovi vrlo veliki i da u njima među svim utjecajnim elementima dominira komadno vrijeme.

Komadno vrijeme (k 2) pokazuje logički očekivanu tendenciju porasta. Porast od 26 min do 32 min čini 23%, što upućuje na zaključak da neprikladna norma materijala, preko povećanog komadnog vremena znatno utječe na povećanje relativni troškova tehnološkog procesa.

"Produktivnost" opreme prikazan je na I-grafikonu -  
Pripremno-završno vrijeme -  $I_{G_{TPZ}}$  na sl. 9

Uzorak sadrži 32 pps-a sa najmanjom vrijednošću pripremno završnog vremena od 12 min, najvećom od 420 min i aritmetičkom sredinom od 102 min. Tehnološki proces modela predviđa 42 min za pojedinačnu proizvodnju, 120 min za serijsku i 480 min za masovnu proizvodnju.

Krivulja (k 1) interakcijskog grafikona ukazuje na tendenciju veće podjele rada povećanjem produktivnosti opreme gledano kroz broj operacija. Takav trend promatran općenito može biti opravdan, ali je u konkretnom slučaju izradka reprezentanta nepovoljan.

Komadno vrijeme (k 2) i relativni troškovi tehnološkog procesa se smanjuju (k 3) sa povećanjem pripremno-završnog vremena. I u ovim relacijama uočljiv je jak utjecaj komadnog vremena na troškove tehnološkog procesa na osnovu sličnog toka obe promatrane krivulje.

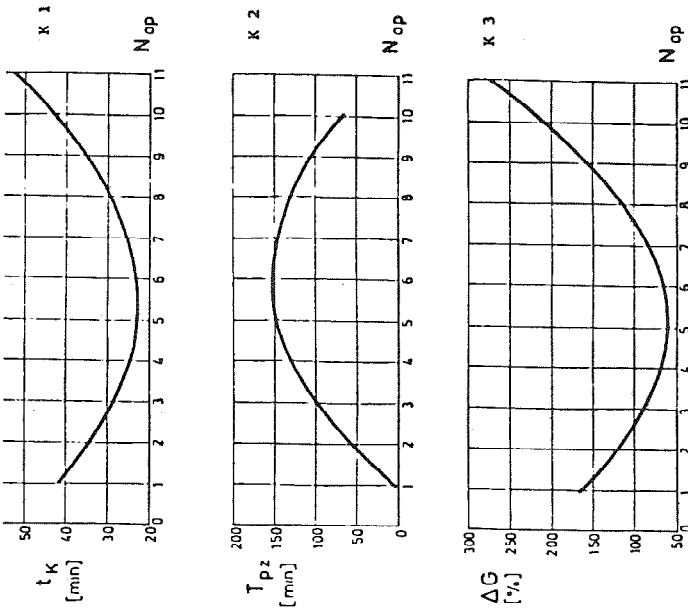
Ekonomika tehnološkog procesa prikazana je na I-grafikonu -  
Relativni troškovi tehnološkog procesa -  $I_{G_{\Delta G}}$  na sl. 10

Uzorak za proučavanje relativnih troškova tehnološkog procesa sadrži 46 pps-a sa najmanjom vrijednošću pokazatelja 7, najvećom vrijednošću 503 i aritmetičkom sredinom 101.

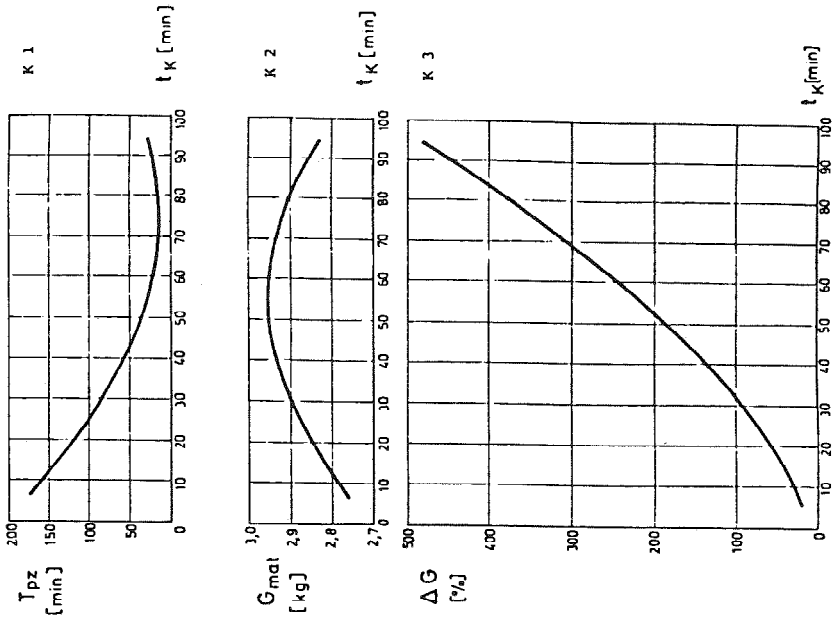
Interakcijski grafikon potvrđuje već ranije uočene tendencije međusobnih utjecaja obuhvaćenih činilaca. Tako krivulja (k 1) pokazuje intenzivan porast komadnog vremena sa relativnim troškovima tehnološkog procesa.

Ostale krivulje (k 2, k 3 i k 4) imaju slična tokove u odnosu na relativne troškove kao i u odnosu na komadno vrijeme. Napr. u  $I_{G_{tk}}$  krivulje (k 1) koja prikazuje tok pripremno-završnog vremena i (k 2) tok normativa materijala imaju vrlo sličan tok kao krivulja (k 2 i k 3) u ovdje razmatranom  $I_{G_{\Delta G}}$ . Ovime se dodatno potvrđuje jaka povezanost i istovjetno djelovanje relativnih troškova i komadnog vremena u interakciji sa ostalim utjecajnim činiocima čemu je, kao što je rečeno, razlog veliki udio općih troškova.

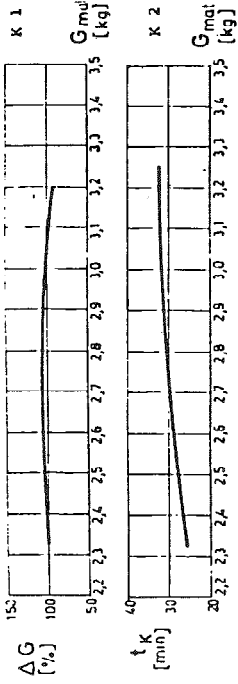
Sl. 6 Interakcijski grafičkon  
Broj operacija -  $I_{g, Nop}$



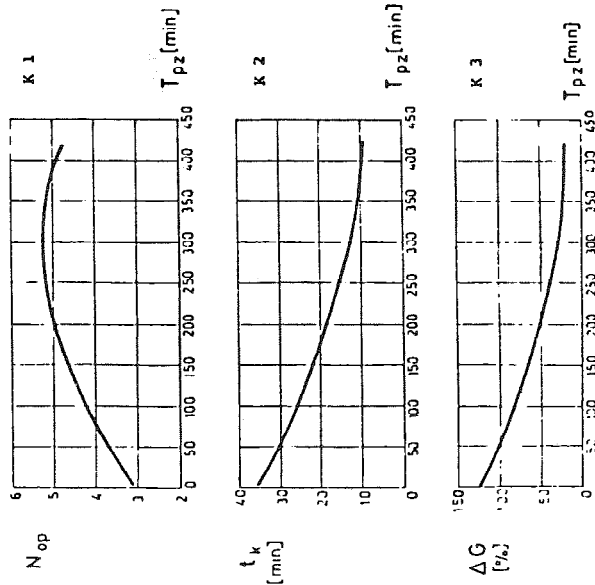
Sl. 7 Interakcijski grafičkon  
Komadno vrijeme -  $I_{g, t_k}$



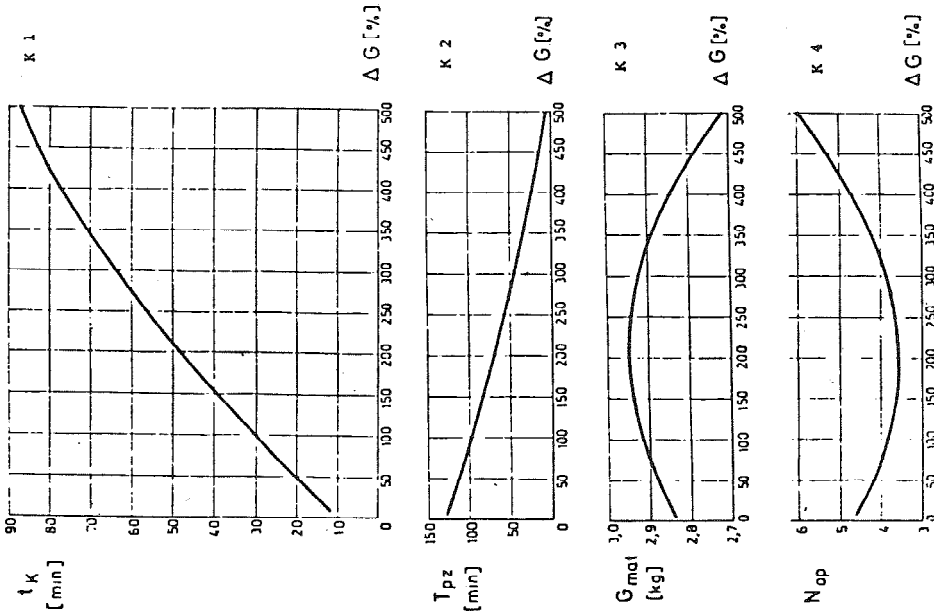
Sl. 8 Interakcijski grafikon  
Normativ materijala - IgGmat



Sl. 9 Interakcijski grafikon  
Pripremno završno vrijeme - IgTpz



Sl. 10 Interakcijski grafikon  
Relativni troškovi tehnološkog procesa - IgΔG



## 6. Zaključak

Ova razradjena usporedna analiza interakcije daje sa teorijskog i metodološkog stajališta određen pristup koji omogućava sagledavanje stanja u metaloprerađivačkoj industriji u makro planu. Također omogućava sagledavanje tendencije razvoja u raznim vremenskim etapama.

Sa praktičkog stajališta na I-grafikonima prezentirano je postojeće stanje izraženo otkrivenim zakonomjernostima. To omogućava donošenje zaključaka o potrebnim usmjeravanjima za konkretno unapređenje tog stanja. Markantni su na pr. visoki normativi vremena i materijala što rezultira porastom troškova.

## Literatura

1. V. Bulat      Analiza karakterističnih promena nivoa organizacije preduzeća metalnog industrijskog kompleksa SFRJ, SMEITJ, Beograd, 1967.
2. R. Eren      Istraživanje pojava zakonomjernosti organizaciono-tehnoloških činilaca u metaloprerađivačkoj industriji, disertacija, Rijeka 1977.
3. R. Eren      Identifikacija, analiza i definicija numeričkih pokazatelja organizaciono tehnoloških utjecajnih činilaca u svrhu istraživanja njihove interakcije. Tehnika, 29/1979/6 str. 973 - 980

XIV. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980,

V. Garbajs, F. Roethel, S. Mikac<sup>\*)</sup>

OPTIMIRANJE PROCESA ELEKTROEROZIJSKE OBDELAVE<sup>\*\*)</sup>

1. Uvod

V sodobni izdelavi orodij, predstavlja EDM postopek obdelave enega osnovnih prijemov pri končnem oblikovanju širokega spektra orodij za preoblikovanje; tako po obliki, velikosti in namenu. Razmeroma hitra vpeljava EDM postopka v industrijsko prakso pogosto vodi do težav. Vzroki so v neustrezni teoretični in strokovni pripravi. Težave se po eni strani kažejo v nepopolni izkoriščenosti dragih EDM naprav, po drugi strani pa v kakovosti EDM površine oz. neustrezni vzdržljivosti orodja.

EDM obdelovalnost ne zavisi samo od moderne visoko razvite EDM naprave, temveč v veliki meri od sposobnosti operaterja. Kljub strokovnim tečajem, ki jih organizirajo predvsem izdelovalci EDM naprav ter dostopni strokovni literaturi, je pojem dobrega operaterja še vedno zelo problematičen. Njegova naloga ni samo nastavitev parametrov, ki mu jih predpiše tehnolog, temveč tudi stabiliziranje oz. krmiljenje delovnih pogojev.

2. Možnosti optimiranja EDM obdelave

Optimiranje EDM obdelave obravnavamo v dveh stopnjah - v optimiranju tehnologije pred obdelavo in v optimiranju EDM procesa.

---

<sup>\*)</sup>Mag. Vito Garbajs, dipl.ing, asistent na Fakulteti za strojništvo Ljubljana, Murnikova 2

Dr. mag. Franc Roethel, dipl.ing., izredni profesor na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani, Murnikova 2

Silvo Mikac, dipl.ing, strokovni sodelavec, Petrol Ljubljana

<sup>\*\*)</sup>Raziskave potekajo na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani kot del projekta "Obdelovalni sistemi in proizvodna kibernetika", ki ga finansira Sklad Borisa Kidriča in industrija.

a) Optimiranje EDM tehnologije pred obdelavo

Optimiranje EDM tehnologije je stvar tehnologa, ki na osnovi eksperimentalno dobljenih tehnoloških podatkov izbere najustreznejše konstantne EDM parametre in jih predpiše. Ti parametri so: čas impulza  $t_i$ , tok impulza  $\hat{i}_e$ , prosta napetost  $u_i$ , polariteta ter oblika in dimenzije elektrode in obdelovanca. Pri tem delu mora predvsem dobro poznati lastnosti materiala obdelovanca. Smoter izbiranja je v zmanjšanju časa obdelave in številu grobih oz. finih obdelovalnih stopenj. Načrtovanje končne fine obdelave pa je omejeno s predpisano hrapavostjo površine ter dimenzijsko in oblikovno točnostjo. Na tej stopnji optimiranja je potrebno upoštevati še tipizacijo materialov in oblik elektrod oz. obdelovancev ter dosežen razvoj tehnološke banke podatkov in grupne tehnologije. K tem problemom sodi še izbiranje ustreznih vpenjalnih naprav ter sistemov za vpenjanje in pozicioniranje elektrod oz. obdelovancev,

b) Optimiranje EDM procesa

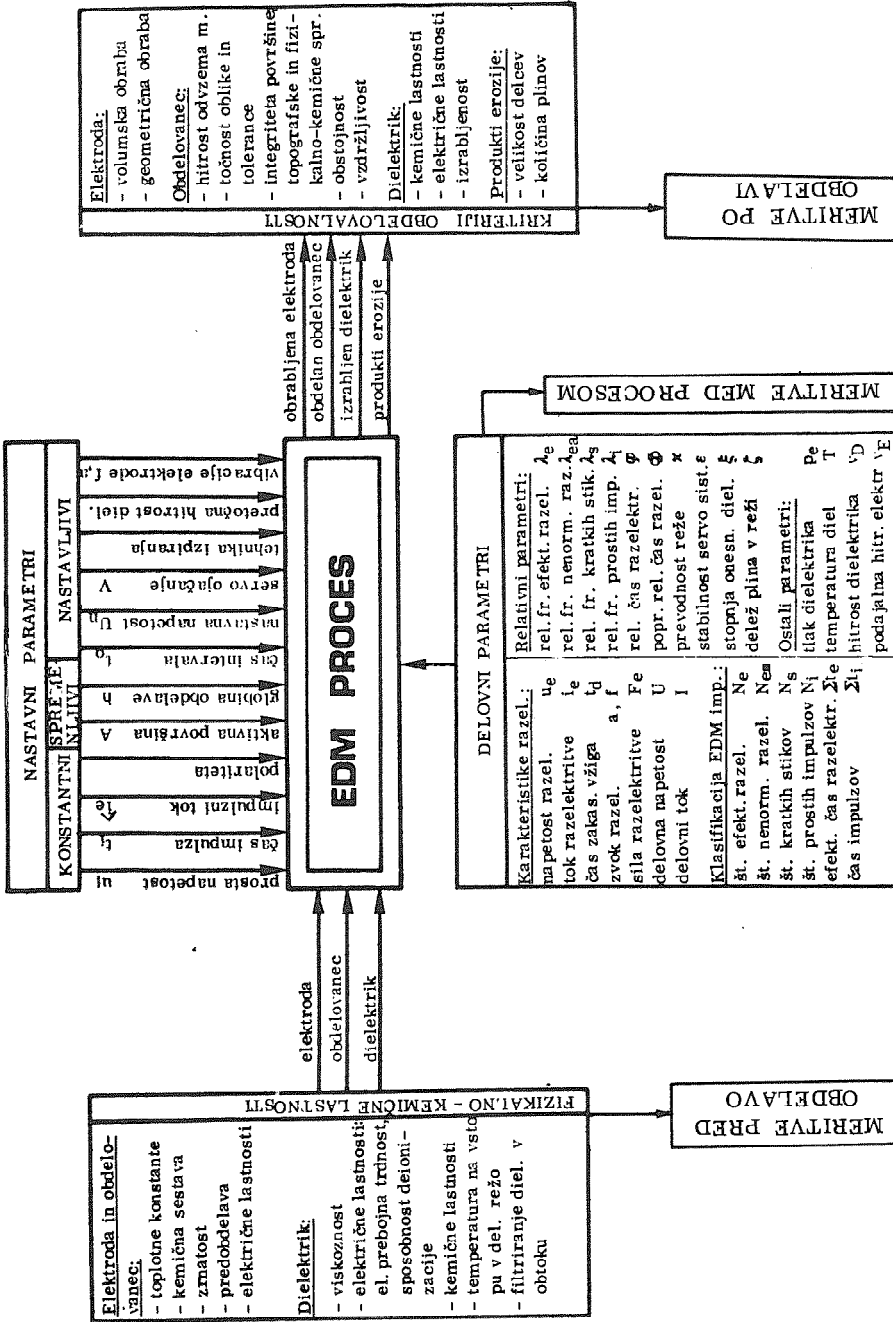
Optimiranje EDM procesa lahko poteka na osnovi ročnega (off-line), mejnega (ACC) in adaptivnega (ACO) krmiljenja. Večino EDM naprav danes še vedno krmilimo ročno (kar je naloga operaterja) ter delno na osnovi ACC /2, 3/. Končni cilj razvoja krmiljenja EDM procesa je ACO, ki se že pojavlja v poskusnem obratovanju nekaterih laboratorijev /1, 3, 5, 6/.

2.1. EDM parametri

Poznano je, da EDM obdelava združuje preko 30 spremenljivk (sl. 1) /4/. Delimo jih na konstantne ( $t_i$ ,  $\hat{i}_e$ ,  $u_i$ , polariteta, material elektrode, obdelovanca in dielektrika) ter parametre, ki so funkcija ene ali več spremenljivk.

Najvažnejši vhodni EDM parametri so poleg fizikalno-kemičnih lastnosti materiala elektrode, obdelovanca in dielektrika še impulzno-električni parametri. Ti omogočajo potek EDM procesa in s tem transformacijo vstopajočih materialov. Na osnovi meritev delavnih parametrov ugotavljamo fizikalno stanje oz. kakovost ali/in učinkovitost EDM procesa. Spremembe na elektrodah, obdelovancu in dielektriku ocenjujemo s kriteriji obdelovalnosti.

Nastavne parametre (sl. 1) delimo na med procesom konstantne, spremenljive in nastavljive oz. krmilne parametre. Operater pred pričetkom EDM nastavi konstan-



Slika 1 : Vhodni in izhodni EDM parametri



tne parametre na krmilni plošči po v naprej predpisani EDM tehnologiji. Večina sodobnih EDM naprav deluje na osnovi izofrekvenčnih pravokotnih napetostnih impulzov, ki jih popišemo s časovnimi konstantami: čas impulza  $t_i$ , čas periode  $t_0$ , impulzna frekvenca  $f_p$  ter impulzni faktor  $\tau$ . Njihovo povezavo kaže enačba 1,

$$\tau = \frac{t_i}{t_p} = \frac{t_i}{t_i + t_0} = f_p \cdot t_i \quad (1)$$

časovne karakteristike električnih impulzov taktira multivibrator. Na tržišču so dostopne EDM naprave z enim monostabilnim ali z dvema astabilnima multivibratorjema. Prvi sistem omogoča nastavljanje impulzne frekvence  $f_p$  ter impulznega faktorja  $\tau$ , drugi pa čas impulza  $t_i$  in čas intervala  $t_0$ .

## 2.2. Primer ročnega (off-line) optimiranja

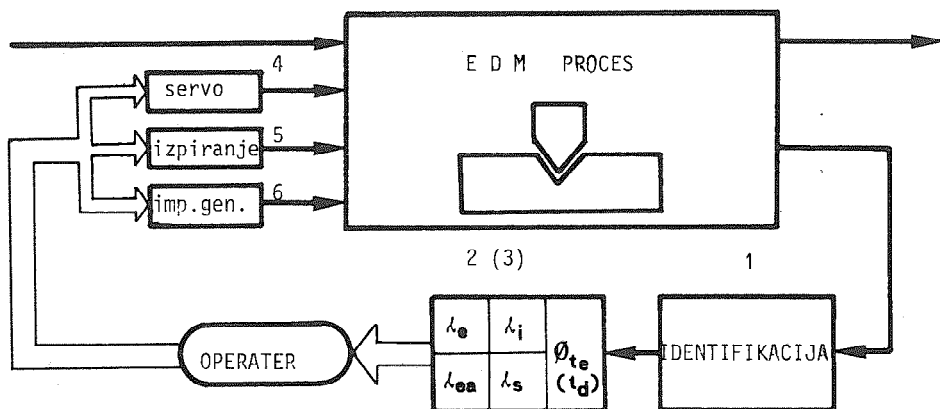
Optimalni delovni parametri so v največji meri odvisni od referenčne napetosti in hitrosti reakcije servosistema, ki stalno vzdržuje potrebno delovno režo med elektrodo in obdelovancem. Relativna frekvenca  $\lambda_e$  in relativni čas učinkovitih razelektritev zelo dobro korelirata s hitrostjo odvzema materiala obdelovanca. Tendenco k krajevno stacionarnim razelektritvam pa kaže na povečano obrabo elektrode in večjo globino toplotno prizadete plasti EDM površine /2, 3, 4, 8, 9/.

EDM procesni analizador (sl.2) omogoča na osnovi delovne napetosti  $U$  in signala multivibratorja  $M$  klasifikacijo posameznih tipov EDM impulzov in meritev časa učinkovitih razelektritev  $\Sigma t_e$  oz. zakasnitev vžigov  $\Sigma t_d$  /4/. Vrednosti analognih signalov relativnih frekvenc in relativnih časov lahko odčitamo na LED display-ih ali analognih voltmetrih EDM Display enote. Relativne frekvence podajamo na določeno število impulzov multivibratorja  $n$  (enačba 2).

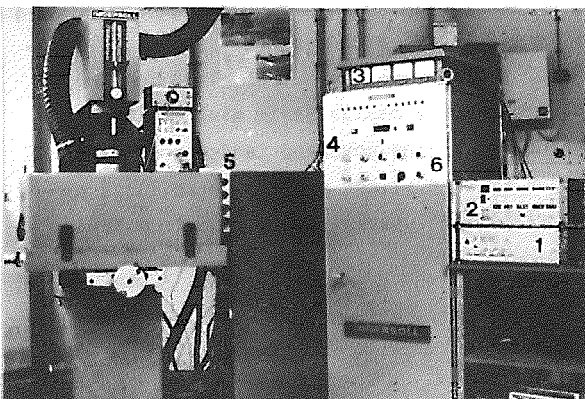
$$(\lambda_e, ea, s, i)_n = \frac{N_{e, ea, s, i}}{n} \quad (2)$$

Kjer je  $\lambda$  - relativna frekvenca in  $N$  - število učinkovitih razelektritev ( $e$ ), krajevno stacionarnih razelektritev ( $ea$ ), kratkih stikov ( $s$ ) in prostih impulzov ( $i$ ).

Pri nizkih impulznih frekvencah ( $f_p = 0,5$  do  $6 \text{ kHz}$ ) izberemo  $n = 100$  impulzov in pri visokih impulznih frekvencah ( $f_p = 6$  -  $200 \text{ kHz}$ )  $n = 1000$ .



a) blok shema ročnega krmiljenja



- 1 EDM procesni analizator
- 2 EDM display enota
- 3 vgrajena industrijska varianta EDM analizatorja
- 4 servo krmiljenje
- 5 sistem izpiranja
- 6 impulzni generator

b) eksperimentalno - merilni sistem

Slika 2 : Ročno ( off - line ) krmiljenje EDM procesa

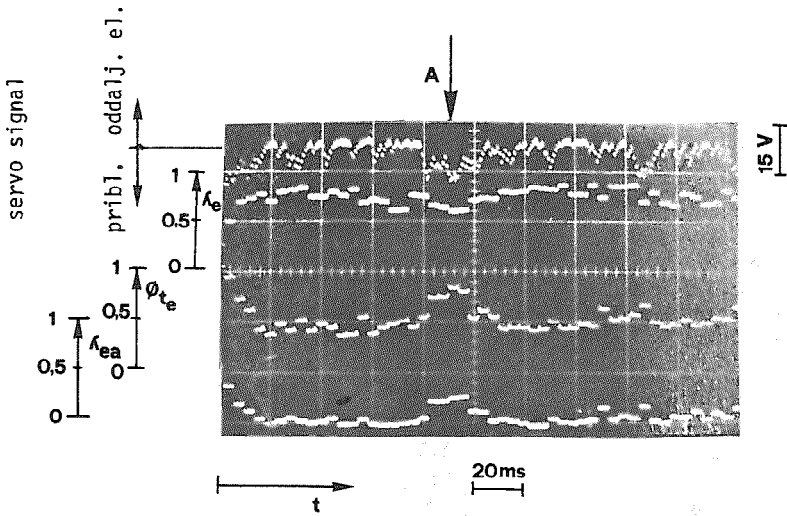
Tako dobimo trenutne vrednosti relativnih frekvenc v odstotkih oz, odtisočkih,

Analogno definiramo tudi relativni čas razelektritev  $\phi_{t_e}$  oz. relativni čas zakasnitev vžigov  $\phi_{t_d}$  (enačba 3).

$$\phi_{t_e, t_d} = \frac{\sum_{j=1}^n (t_e, t_d)_j}{\sum_{j=1}^n (t_i)_j} \quad (3)$$

Meritve relativnih frekvenc in časov omogočajo optimalno nastavljanje krmilnih parametrov. Operater vidi na analognih instrumentih EDM display enote (ali na vgrajeni industrijski varianti z kazalnimi instrumenti - sl.2 - poz.3) odgovor na njegovo krmilno akcijo. To mu da tudi sprotno nabiranje izkušenj strategije krmiljenja.

Oscilografski posnetek (sl. 3) kaže časovni potek signala servoventila hidravličnega servosistema in spreminjanje relativnih delovnih parametrov  $\lambda_e$ ,  $\emptyset$  in  $\lambda_{ea}$  v taktu po 100 impulzov multivibratorja. V trenutku premajhne delovne reže se poveča tendenca stacionarnih razelektritev  $\lambda_{ea}$ , zmanjša pa se učinkovitost  $\lambda_e$  čeprav je relativni čas razelektritev  $\emptyset_{te}$  večji (točka A, sl. 3a). Iz literature je poznano, da  $\emptyset_{te}$  ne sme biti prevelik in da se optimalni delovni pogoji dosežejo pri  $\emptyset_{te} = 0,85 \dots 0,90 / 4, 5/$ . Opazne tendence povečanja  $\lambda_{ea}$  lahko pripeljejo do lokalnega stacionarnega obloka (zažig, graditev ogljenega stržena), ki v zelo kratkem času lokalno poškoduje elektrodo in obdelovanec (sl. 4). Pri finih obdelovalnih stopnjah lahko orodje postane izmeček že med obdelavo (sl. 5a). V EDM display enoto smo prigradili še komparator z nastavljivim nivojem, ki z akustičnim signalom (alarmom) opozarja operaterja na povečano tendenco nenormalnih razelektritev (sl. 3b, točka B, C). Pojav kratkih stikov poslabša stabilnost procesa. Povečane tendence pojava kratkih stikov smo opazili pri periodičnem izpiranju (sl. 5b).



a) spreminjanje delovnih parametrov  $\kappa_e$ ,  $\phi_{t_e}$  in  $\kappa_{ea}$  med EDM

PREIZKUŠEVALNI POGOJI:

n = 100

Elektroda : grafit  $\phi 40$

Obdelovanec : Utop ex 2

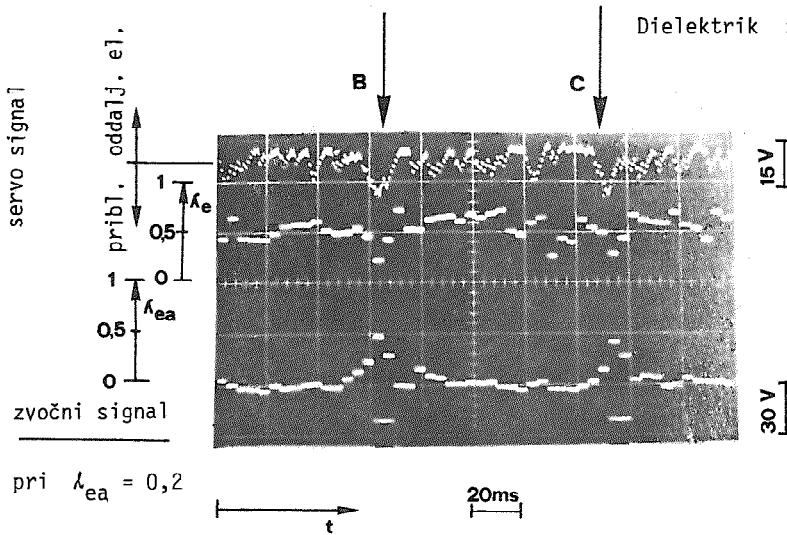
Dielektrik : Erozol Rpo

$u_i$  : 100 V

$t_i$  : 112  $\mu s$

$\tau$  : 0,5

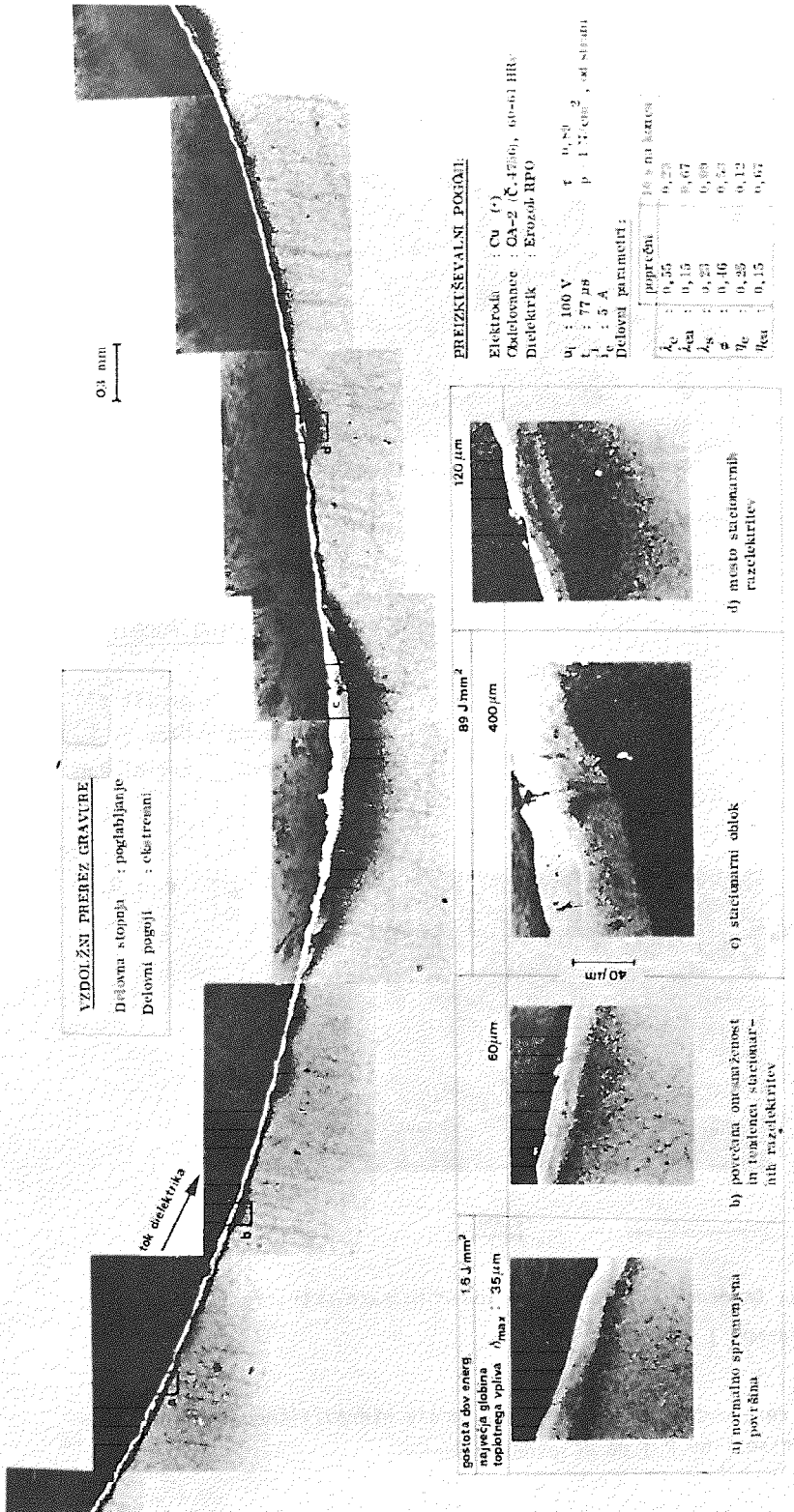
$i_e$  : 19 A



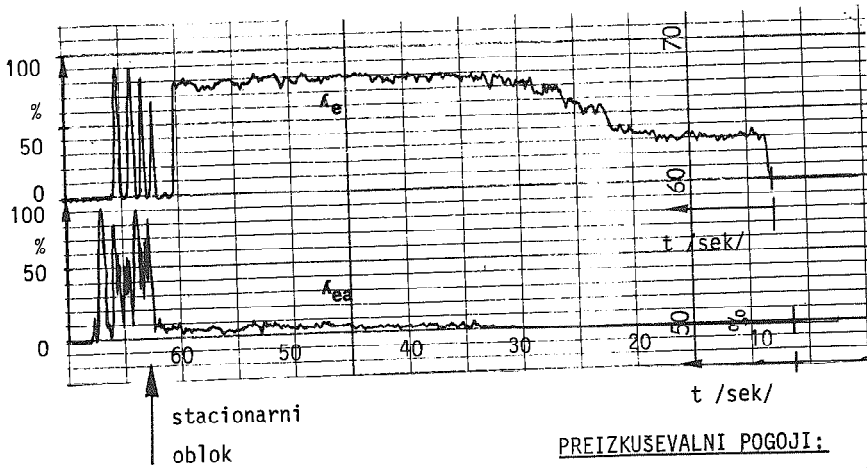
pri  $\kappa_{ea} = 0,2$

b) identifikacija tendence krajevno stacionarnih razelektritev z zvočnim signalom (alarmom)

Slika 3 : Vpliv referenčne napetosti servosignala hidravličnega servosistema (Ingersoll 80 P) na delovne parametre.



STika4 : Krajevna porazdelitev toplotnih preobremenitev po prerezu površine gravure.



a) pojav stacionarnega obloka

PREIZKUŠEVALNI POGOJI:

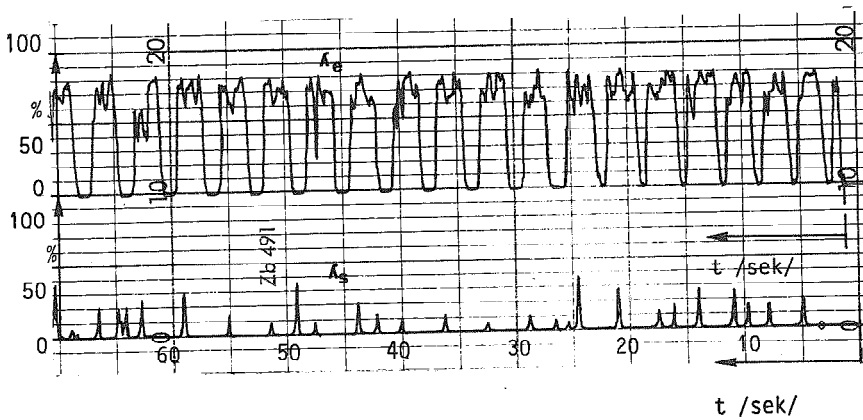
Elektroda : grafit  $\phi$  40

Obdelovanec: Utop ex. 2

Dielektrik : Erozo1 Rpo

$u_i$  : 100 V       $\tau$  : 0,9

$t_i$  : 112  $\mu$ s       $\bar{I}_e$  : 9 A



b) periodično izpiranje

Slika 5 ; Zapisi analognih signalov relativnih frekvenc.

#### 4. Sklep

Meritve relativnih frekvenc omogočajo optimalno ročno nastavljanje krmilnih parametrov. S krmiljenjem dobimo polno izkoriščenost EDM naprave, kar da največje hitrosti odvzema materiala, optimalno obrabo elektrode in ustrezno kvaliteto površine za izbrane konstantne parametre.

#### Reference

- /1/ Lascoe, O.D.: Minicomputer for on-line process optimization Electro-Machining-ISEM 5, Wolfsberg, Švica, junij 1977, s. 145 - 151.
- /2/ Tadini, C., Bühler, E.: Process control in ED sinking, Electro-Machining - ISEM 5, Wolfsberg, Švica, junij 1977, s. 141 - 145.
- /3/ Barz, E.: Möglichkeiten und Einrichtungen zur Optimierung des Elektroerosiven Bearbeitens, VDI-Berichte, Nr. 241/1975, s. 55 - 60.
- /4/ Garbjas, V., Mikac S., Roethel, F.: Meritve EDM parametrov, XI. svetovno srečanje za proizvodstveno mašinstvo, Ohrid 1977, s. 157 - 166.
- /5/ Weck, M., Peuler, H.: Die Zündverzögerungszeit als Beurteilungskriterium beider funkenerosiven Senkbearbeitung, Fertigungstechnik 1979.
- /6/ Eversheim, W., König, W., Weck, M.: Verschleissminderung durch adaptive Regelung beim funkenerosiven senken, Fertigungstechnik 1979.
- /7/ Avtorski kolektiv: Raziskave vpliva EDM obdelave na lastnosti površin orodnih jekel Železarne Rayne na Koroškem, Poročilo št. 194/80.78, Ljubljana, februar 1980.
- /8/ Avtorski kolektiv: Obdelovalnost domačih materialov z elektroerozijo, Poročilo SBK št. 194/79.69 - 3. del, Ljubljana, september 1979
- /9/ Garbajs, V.: Proučitev integritete domačih materialov po EDM obdelavi, magistrsko delo, Ljubljana, junij 1978.

V. Garbajs, F. Roethel, S. Mikac

#### OPTIMIZATION OF EDM

The efficiency and quality of the EDM process does not depend only upon a modern EDM-machine but is to a great deal dependent also upon the ability and experience of the operator. Measuring relative process parameters by the aid of an EDM-process analyser constructed for industrial utilization, the operator stabilizes the process and optimizes the setting up of control parameters.

XIV SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980.

R. Ječmenica\*

UPOREDJIVANJE TRIBOLOŠKIH KARAKTERISTIKA ZAVOJNIH  
BURGIJA IZRADJENIH VALJANJEM, BRUŠENJEM I GLODANJEM  
PRIMENOM METODE RADIOAKTIVNIH IZOTOPA

1. Uvod

Proces habanja zavojnih burgija znatno je složeniji od odgovarajućih procesa na većini drugih reznih alata. Na ovu složenost svakako utiče specifičnost geometrijske forme zavojne burgije, specifičnost procesa bušenja i uslova pod kojima se on izvodi.

Pri rezanju konstrukcijskih materijala zavojnom burgijom, proces habanja odvija se na manjem delu površine alata i to onom koji je u direktnom kontaktu sa materijalom radnog predmeta. Ozračivanjem ovog dela mase alata stvara se mogućnost praćenja razvoja procesa habanja. Merenjem opadanja radioaktivnosti ozračenog sloja na burgiji, može se pratiti razvoj procesa habanja.

Za ozračivanje definisane površine i mesta na istoj, treba konstruisati uređaj koji će burgiju fiksirati u položaj koji će obezbediti da snop protona ili deutrona bude usmeren na željeno mesto. Sam postupak ozračivanja je relativno jednostavan, samo je bitno odrediti parametre ozračivanja kao što su vrsta čestica, energija snopa čestica, jačina struje i vreme ozračivanja.

Zavojne burgije dobijene postupcima valjanja, glodanja i brušenja ozračene su po ledjnoj površini, neposredno uz glavno sečivo, pod istim uslovima. Sa ozračenim burgijama pod uslovima koji će kasnije biti dati, sačinjen je plan eksperimenata, kojim su

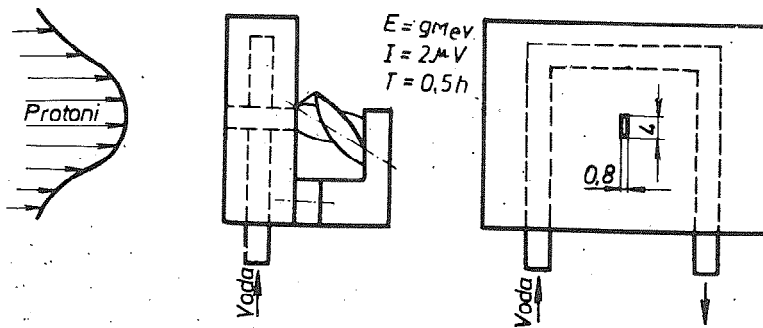
---

\*) Mr Ratomir Ječmenica, dipl.ing., predavač v.š. Pedagoško-tehničkog fakulteta u Čačku, Cara Dušana 34



upoređivane tribološke karakteristike na trima različito tehnološki dobijenim burgijama u istim uslovima eksploatacije.

Dakle, za svaki eksperiment treba znati vreme rezanja i izmeriti promenu širine pojasa habanja na osnovu čega bi se dobila odgovarajuća otpornost na habanje. Da bi se ovaj posao obavio klasičnim metodama (npr. mikroskopom) potreban bi bio veoma veliki broj eksperimentalnih jedinica.



Sl. 1. Šema uređaja za postavljanje burgije u ciklotron

## 2. Kraći osvrt na metodologiju primene radioaktivne metode

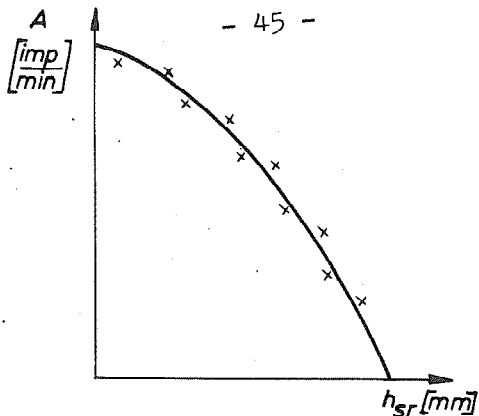
Površina na kojoj se prate tribološki procesi, u ovom slučaju to je ledjna, bombardovanjem dovodi do ekcitanosti atoma, pri čemu dolazi do emisije viška energije u vidu  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  zračenja. Kako je u pitanju odnošenje ozračene mase, to će usled gubitka pomenute mase, odnosno habanja, doći do opadanja i radioaktivnosti u obliku:

$$A = A_0 - K_a h^2 \dots \dots \dots (1)$$

Ovakva veza radioaktivnosti i habanja dobija se pri konstantnoj specifičnoj radioaktivnosti kako po dubini tako i dužini sečiva. Na osnovu eksperimentalnih podataka o veličini radioaktivnosti i širine pojasa habanja, ustanovljeno je da je najveći indeks krivolinijske korelacije ako se veza pretpostavi u obliku:

$$A = A_0 \cdot e^{-n \cdot h^2_{sr}} \dots \dots \dots (2)$$

koji je predstavljen na sl.2.



Sl.2. Kriva promene radioaktivnosti u f-ji pojasa habanja ( $h_{sr}$ )

gde je:

$K_a$  - konstanta karakteristika ozračivanja

$A$  (imp/min) - radioaktivnost u datom trenutku

$A_0$  (imp/min) - početna vrednost radioaktivnosti

$h_{sr}$  (mm) - srednja aritmetička ili geometrijska vrednost pojasa habanja

Posle dostizanja kritičnih vrednosti srednje pohabanosti ( $h_{sr}$ ) po lednoj površini i realizovanog eksperimentalnog programa sa jednom burgijom, metodom najmanjih kvadrata dolazi se do veličina  $A_0$  i  $(n)$  iz zadnje jednačine.

Ovde treba naglasiti, da zadnja kriva data relacijom(2) predstavlja zakonitost promene radioaktivnosti samo kao posledica nastalih habanjem burgije. Uticaj prirodnog pada radioaktivnosti, kod dugotrajnih eksperimenata, eliminiše se množenjem izmerene radioaktivnosti sa faktorom  $e^{\lambda T_i}$ , gde je  $T$  - vreme od početka eksperimenta, a  $\lambda$  - konstanta koja zavisi od vrste izotopa koji se pojavio u ozračenom sloju burgije. Dobija se eksperimentalnim merenjem prirodnog raspada, a prema ranije datom obrascu.

Ako na kraju  $i$ -tog eksperimenta izmerimo radioaktivnost i istu korigujemo zbog uticaja prirodnog raspada, dobijamo vrednost  $A_1$ . Ovu vrednost smenimo li u jednačinu (2) dobićemo srednju vrednost širine pojasa habanja na kraju navedenog eksperimenta u obliku:

$$h_{sr}(i) = \sqrt{\frac{1}{n} \ln \frac{A_0}{A_1}} \dots \dots \dots (3)$$

Obzirom da uvek znamo početnu vrednost radioaktivnosti u i-tom eksperimentu, a ona je takodje krajnja vrednost radioaktivnosti u prethodnom (i-1)-vom eksperimentu, to je moguće izračunati i srednju vrednost širine pojasa habanja i u (i-1) -vom eksperimentu:

$$h_{sr(i-1)} = \sqrt{\frac{1}{n} \ln \frac{A_0}{A_{i-1}}} \dots \dots \dots (4)$$

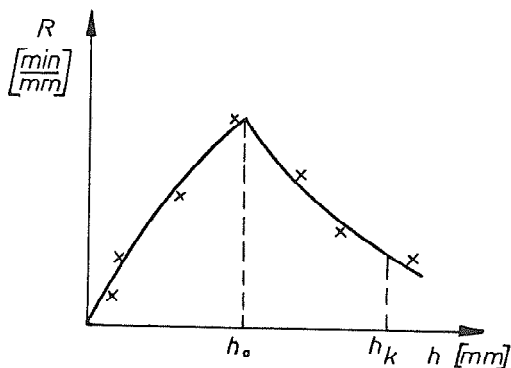
Otpornost na habanje možemo izračunati, ako izmerimo vreme rezanja  $\Delta t_r(i)$  u i-tom eksperimentu i izračunamo promenu širine pojasa habanja nastale u ovom eksperimentu:

$$\Delta h_{sr}(i) = h_{sr}(i) - h_{sr}(i-1) \dots \dots \dots (5)$$

preko relacije:

$$\Delta R = \frac{\Delta t_r(i)}{\Delta h_{sr}(i)} \dots \dots \dots (6)$$

Eksperimentalnim merenjem otpornosti na habanje jedne zavojne burgije i numeričkom obradom dobijenih rezultata dolazi se do funkcionalne veze, prikazane sledećom slikom:



Sl. 3. Opšta zavisnost otpornosti na habanje (R) od habanja alata (h)

U početnom periodu rezanja koji odgovara intervalu  $0 \leq h \leq h_0$  promena otpornosti na habanje, može se dobiti integraljenjem jednačina  $R = f(h) = \frac{dt}{dh}$  u intervalu 0 do  $h_0$ , odnosno:

$$R_1 = K'_1 \cdot h^{u_1} \Big|_{h=0}^{h=h_0} \text{ a u drugom: } R_2 = K'_2 \cdot h^{u_2} \Big|_{h=h_0}^{R=h_k} \dots \dots \dots (7)$$

Rešavanjem ovih dveju jednačina može se doći do vrednosti  $h_0$  prema slici 3. (iz uslova jednakosti otpornosti na habanje za prvi i drugi period).

Ukupna postojanost predstavlja površinu ispod R - h krive (sl.3) u intervalu 0,  $h_k$ .

Kako je otpornost na habanje data relacijom:

$$\Delta R = \frac{dt}{dh} \approx \frac{\Delta T}{\Delta h}$$

to se postojanost alata u početnom periodu rezanja može dati relacijom:

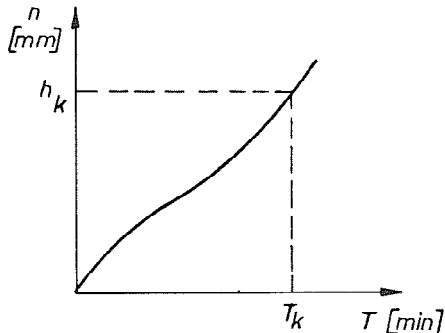
$$T_1 = K_1' \int_0^{h_0} h^{u_1} dh \text{ a u drugom: } T_2 = K_2' \int_0^{h_k} h^{-u_2} dh \dots\dots (8)$$

Ovde treba naglasiti da se kriva prikazana na slici 3. dobija pri konstantnim uslovima rezanja (posmak, brzina, materijal predmeta obrade, SHP, mašina itd.).

Sabiranjem jednačina za postojanost burgije u početnom i drugom periodu rezanja, dobijamo izraz za ukupnu postojanost  $T_k$ , pri postignutom pojasu pohabanosti  $h_k$  a za unapred navedene uslove obrade:

$$T_k = T_1 + T_2 = K_1' \int_0^{h_0} h^{u_1} dh + K_2' \int_{h_0}^{h_k} h^{-u_2} dh \dots\dots\dots (9)$$

čiji je oblik dat na sledećoj slici:



Sl. 4. Tok krive habanja do postizanja  $h_k$

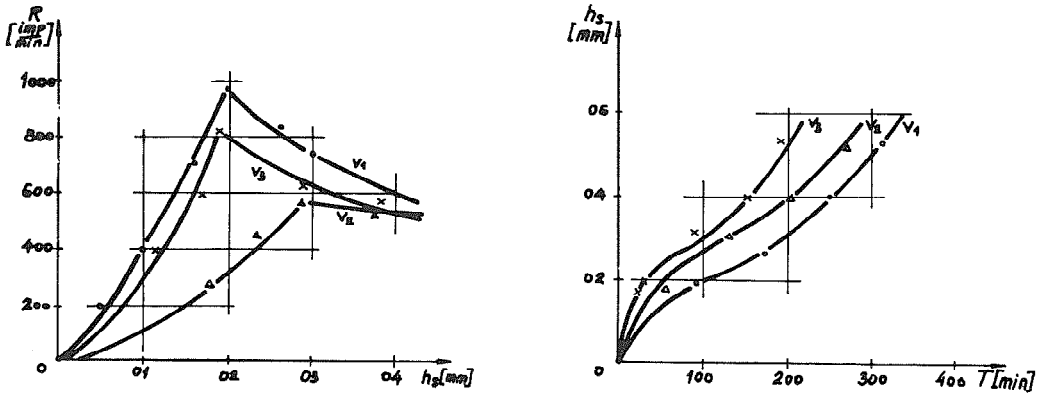


Na osnovu napred rečenog o postupku dobijanja parametara za ocenu kvaliteta burgije, može se zaključiti da je sa jednom burgijom potrebno izvršiti veći broj eksperimentalnih jedinica na osnovu čijih rezultata će se dobiti funkcionalna veza  $R=f(h)$ .

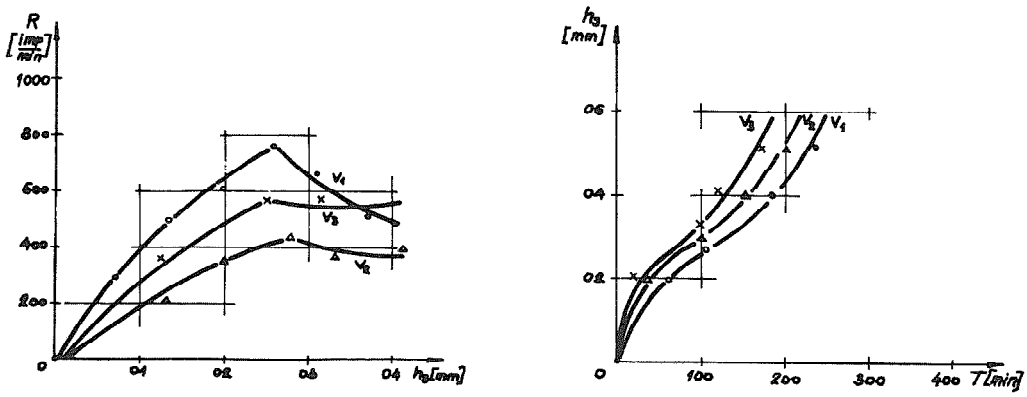
### 3. Rezultati ispitivanja

Na stranicama 6,7,8,9,10,11,12 prikazani su dijagrami krivih otpornosti na habanje  $R(h)$  i krivih habanja  $h(T)$  pri variranju, brzina glavnom i pomoćnog kretanja, dok su ostali uslovi reznja zadržani konstantnim.

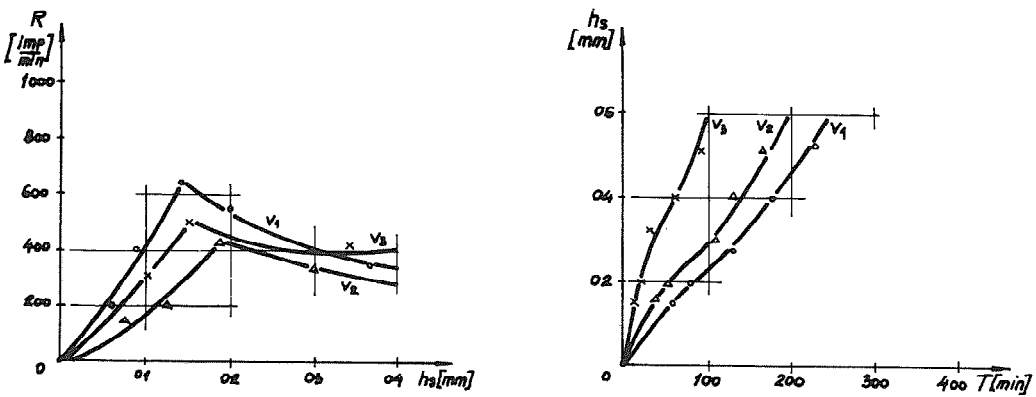
$S_1 = 0,056 \text{ [mm/s]}$



$S_2 = 0,080 \text{ [mm/s]}$

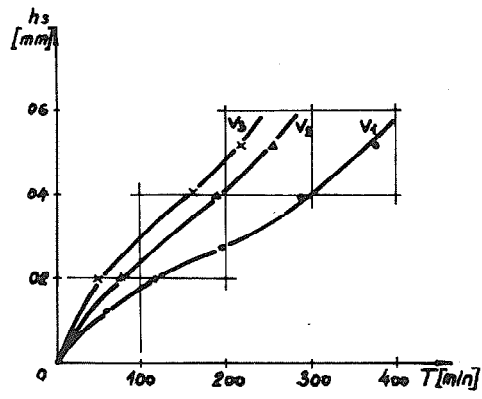
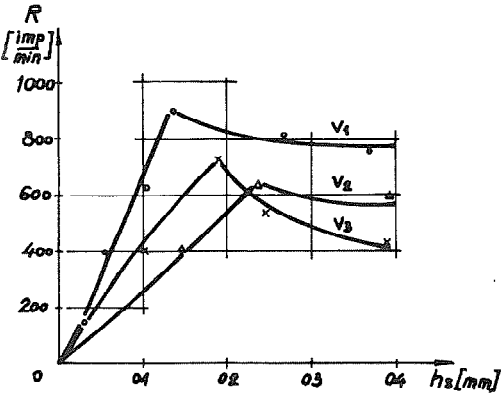


$S_3 = 0,112 \text{ [mm/s]}$

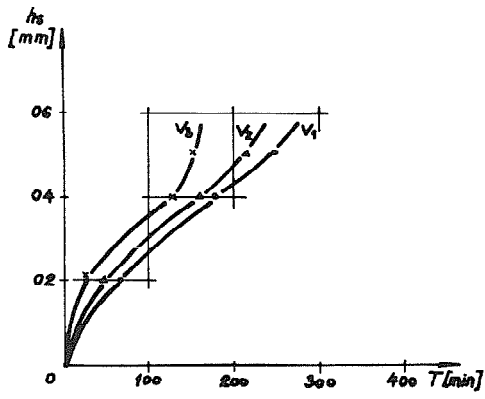
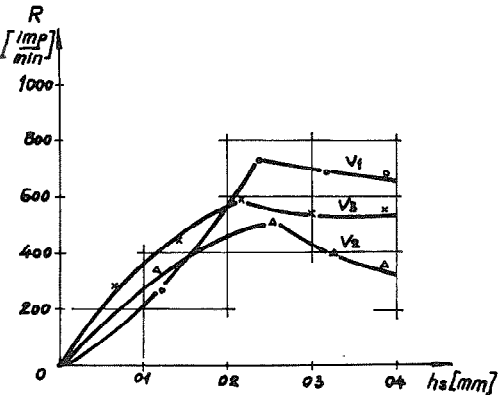


Sl. 5. Krive  $R(h)$  i  $h_3(T)$  dobijene habanjem valjane burgije

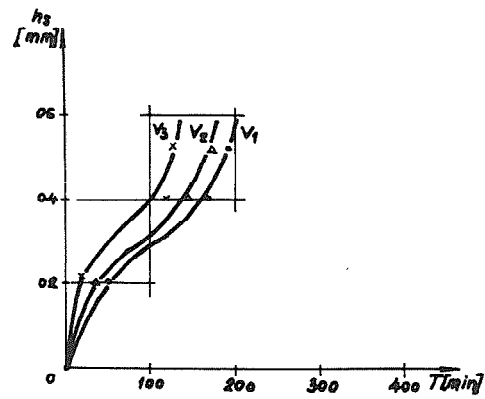
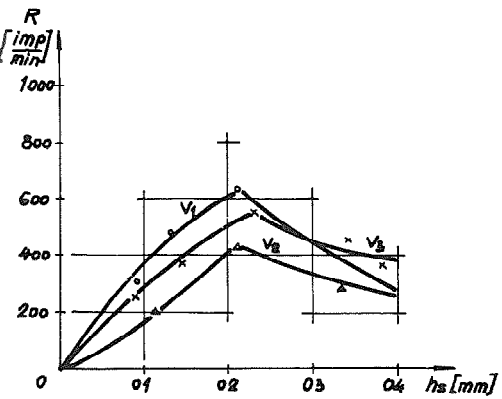
$S_1 = 0,056 [mm/s]$



$S_2 = 0,08 [mm/s]$

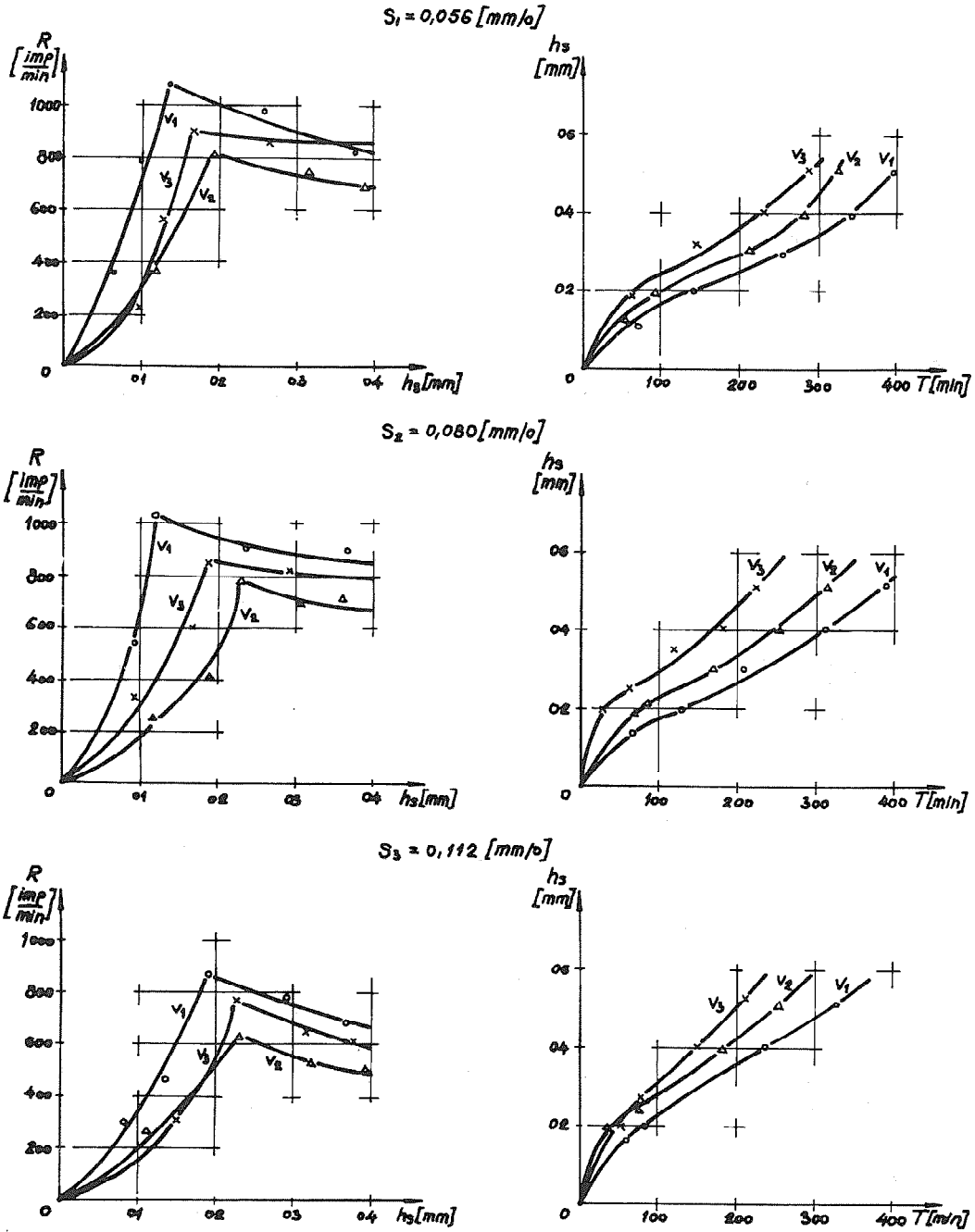


$S_3 = 0,112 [mm/s]$



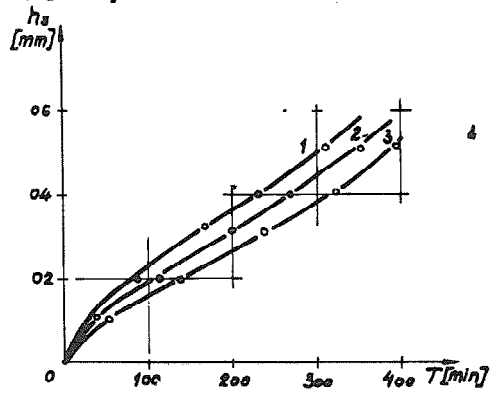
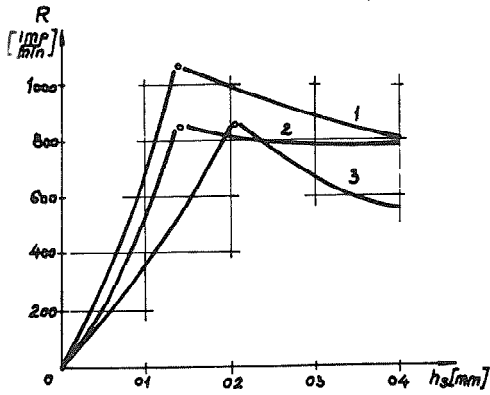
Sl. 6. Krive  $R(h)$  i  $h(T)$  dobijene habanjem brušene burgije



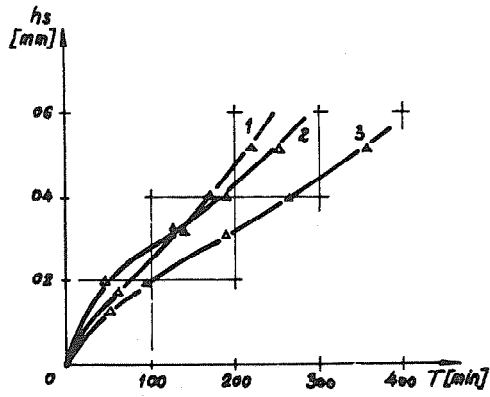
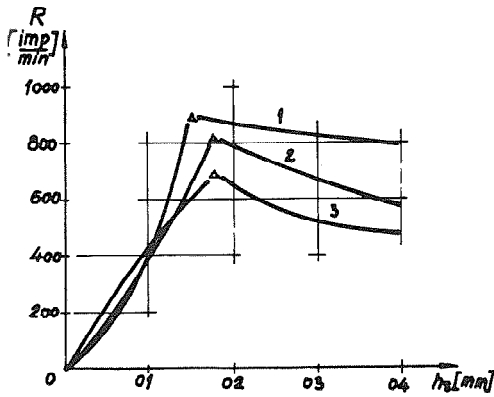


Sl. 7. Krive  $R(h)$  i  $h(T)$  dobijene habanjem  
glodane burgije

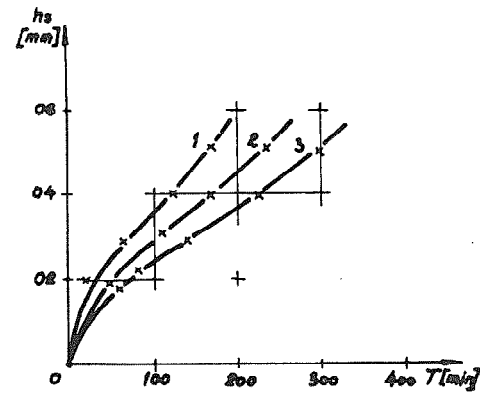
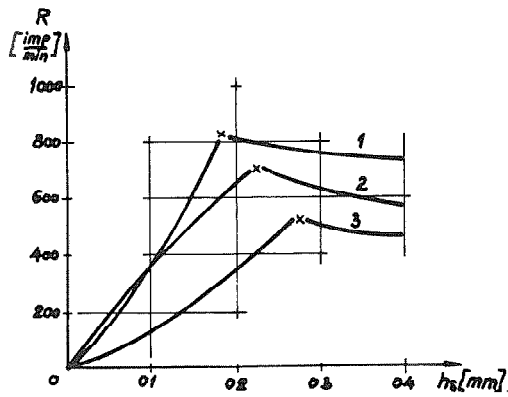
$S_1 = 0,056 [mm/a]; v_1 = 24,7 [m/min]$



$S_1 = 0,056 [mm/a]; v_2 = 31,4 [m/min]$

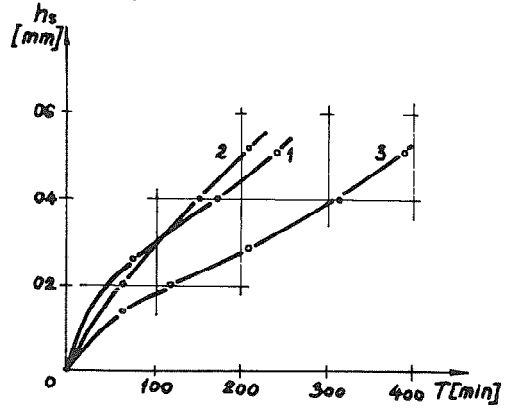
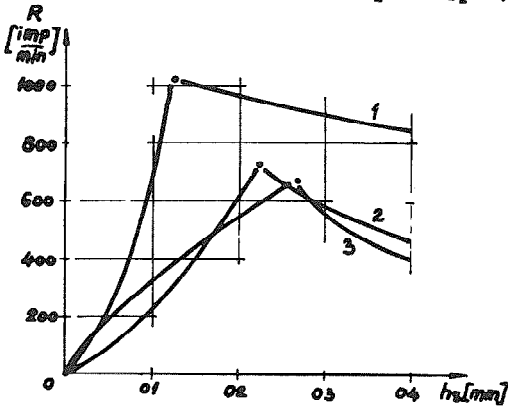


$S_1 = 0,056 [mm/a]; v_3 = 39,2 [m/min]$

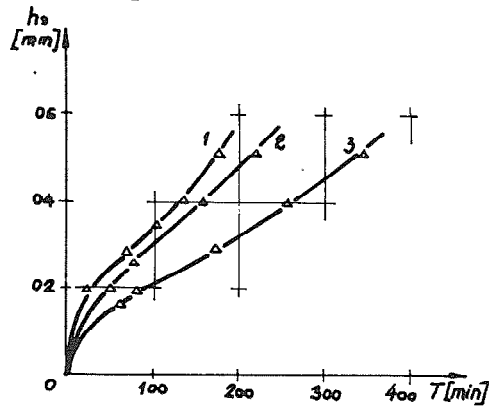
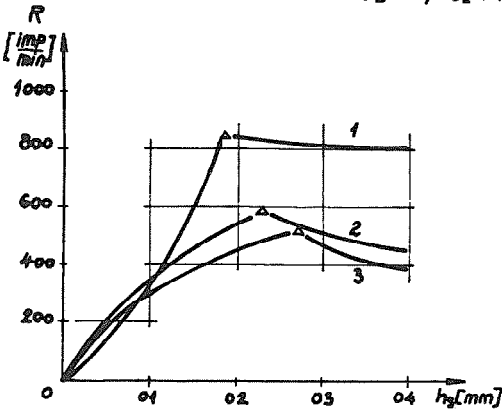


Sl. 8. Uporedni dijagrami krivih  $R(h)$  glodanih (1), brušenih (2), valjanih (3) i krivih  $h(T)$  valjanih(1), brušenih (2) i glodanih (3) burgija

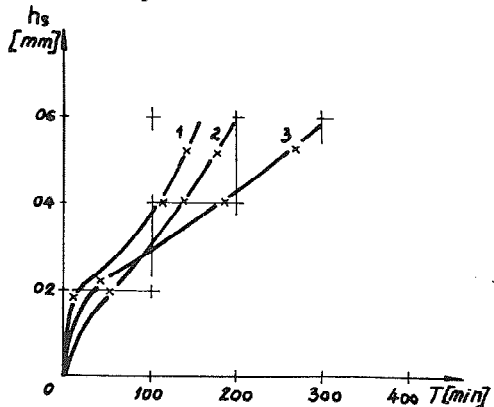
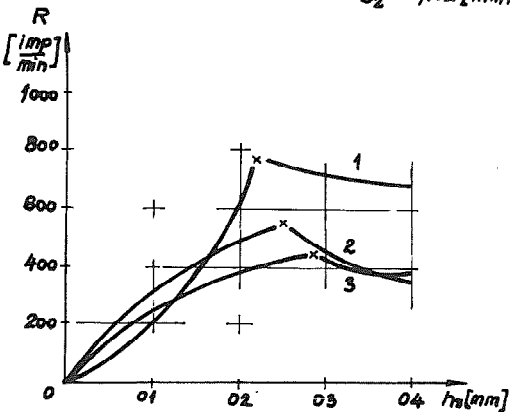
$S_2 = 0,08 [mm/o]; v_1 = 24,7 [m/min]$



$S_2 = 0,08 [mm/o]; v_2 = 31,4 [m/min]$

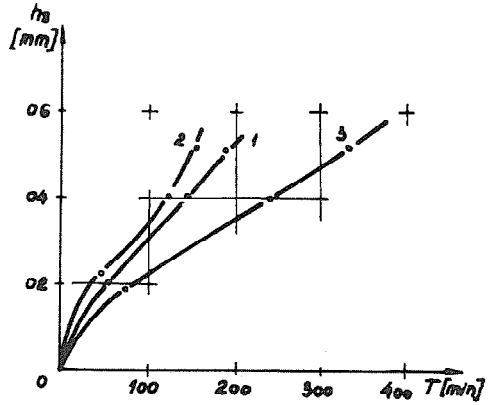
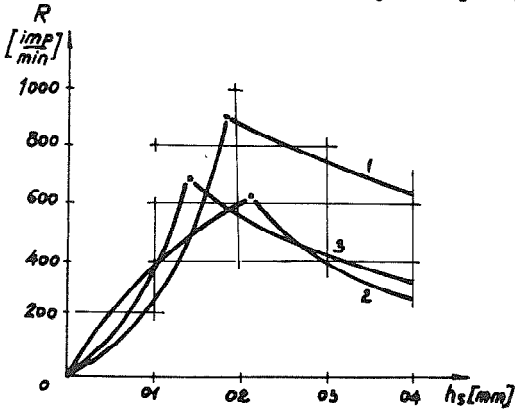


$S_2 = 0,112 [mm/o]; v_3 = 39,2 [m/min]$

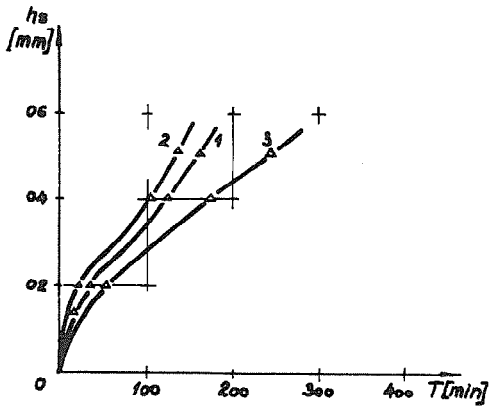
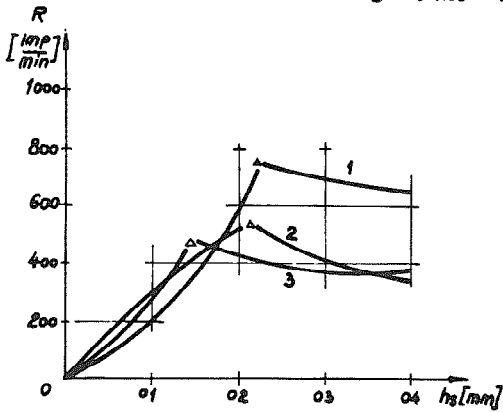


S1.9. Uporedni dijagrami krivih  $R(h)$  glodanih (1), brušenih (2), valjanih (3) i krivih  $h(T)$  valjanih (1), brušenih (2) i glodanih (3) burgija

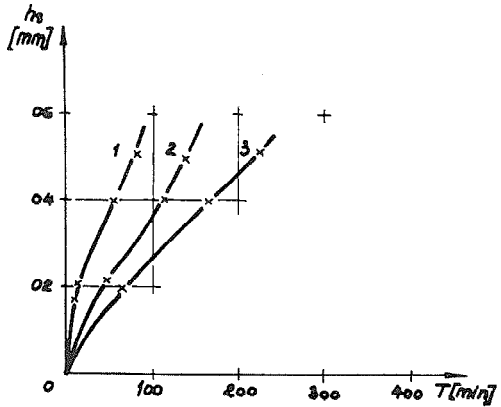
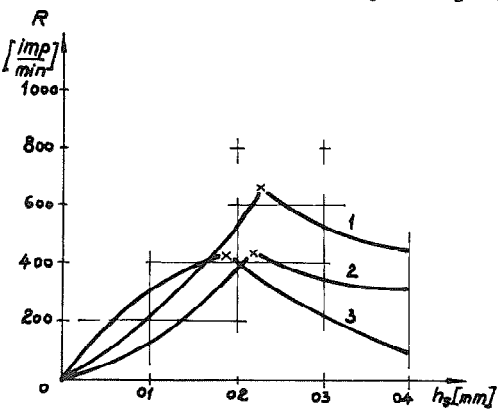
$S_3 = 0,112 [mm/s]; v_1 = 24,7 [m/min]$



$S_3 = 0,112 [mm/s]; v_2 = 31,4 [m/min]$



$S_3 = 0,112 [mm/s]; v_3 = 39,2 [m/min]$



Sl.10. Uporedni dijagrami krivih  $R(h)$  glodanih (1), brušenih (2), valjanih (3) i krivih  $h(T)$ , valjanih (1), brušenih (2) i glodanih (3) burgija

#### 4. Zaključak

1. Primenom ove metode znatno se skraćuje proces eksperimenta, a ovo ne utiče na valjanost i pouzdanost rezultata. Vreme rezanja može biti i kraće od jedne minute, pri čemu će se sigurno uočiti dovoljna promena radioaktivnosti nastala kao posledica habanja nastalog u tom trenutku.
2. Rezultati jasno ukazuju da se posmatranjem krivih otpornosti na habanje  $R(hs)$  i krivih habanja  $hs(t)$  glodana burgija nalazi daleko na prvom mestu dok je valjana burgija na zadnjem mestu.

#### Literatura

1. R.Ječmenica: Tribološke karakteristike na zavojnim burgijama u funkciji postupaka izrade, Magistarski rad, Kragujevac 1979.
2. B.Ivković: Definisavanje habanja višesečnih alata pomoću radio aktivnih izotopa, Monografija, Kragujevac
3. B.Jeremić: Tribološke karakteristike SHP u obradi bušenjem, Tribologija 10, Kragujevac 1978.

XIV SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980.

K. Kuzman, L. Kosec, N. Vojnovič x)

PRISPEVEK H KRITERIJEM ZA OCENJEVANJE PRIMERNOSTI JEKEL ZA HLADNO VTISKOVANJE xx)

### 1. Uvod

Izdelava gravur oziroma različnih poglobitev v orodjih je mogoča tudi z uporabo tehnik plastične deformacije, s takoimenovanim postopkom vtiskovanja. Trajno deformacijo lahko dosežemo s preoblikovanjem pri višjih temperaturah ali pri temperaturi okolice. Zaradi večje natančnosti, boljše kvalitete površine je zadnje čase toplo vtiskovanje v vedno bolj podrejeni vlogi /1/.

Princip hladnega vtiskovanja je že dalj časa tehnološko obvladan /2/, poznani so tudi osnovni parametri za praktično uporabo /3/. Pri nas je že nekaj podjetij, ki se s hladnim vtiskovanjem bolj ali manj uspešno ukvarjajo, pri uvajanju te tehnologije ima svoj delež tudi Fakulteta za strojništvo iz Ljubljane /4,5/. Poglobljen eksperimentalno teoretičen pristop k tem problemom pa je opazen na Fakulteti za strojništvo v Nišu /6,7,8/.

Največji razmah je hladno vtiskovanje gravur v orodja doseglo v letih po drugi svetovni vojni, dokler ga ni začela izpodrivati uporaba nekonvencionalnih postopkov (elektroerozija - EDM, elektrokemija - ECM). Zato je potrebna ponovna kritična analiza mesta hladnega vtiskovanja v vedno širši paleti sodobnih tehnoloških

x) mag. Karl Kuzman, dipl. ing., profesor višje šole, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Murnikova 2  
dr. Lado Kosec, dipl. ing., docent, Metalurški institut - SOZD Slovenske železarne, Ljubljana, Lepi pot 1  
Niko Vojnovič, dipl. ing., vodja razvoja in investicij, TOVIL - tovarna vijakov SOZD Slovenske železarne, Ljubljana, Tomažičeva 2

xx) Izdelano na Metalurškem inštitutu in v Laboratoriju za preoblikovanje Fakultete za strojništvo v okviru nalog, financiranih od Raziskovalne skupnosti Slovenije in podjetij: TOVIL Ljubljana, PLAMEN Kropa, Tovarna venig Lesce, UNIOR Zreče, Železarna Jesenice.

postopkov. Tako je bila že opravljena podrobnejša analiza o izdelavi gravur v kovaška utopna orodja /9,10/, po kateri je zaradi fleksibilnosti in možnosti hitrih ponovitev v toplotno obdelanih orodjih (poboljšanih) dobila najugodnejšo oceno EDM obdelava.

Čeprav ni namen pričujočega dela kritična ekonomsko tehnična analiza rentabilnosti uporabe hladnega vtiskovanja, bi vseeno podali smernice, kje se ta tehnologija še vedno lahko zelo uspešno uporablja.

Vtiskujemo lahko ogljikova in legirana konstrukcijska jekla, nekatera ogljikova ali legirana orodna jekla, v posebnih primerih tudi hitroreznna jekla.

Običajno vtiskujemo manjše gravure (zaradi velikih sil), ki so relativno plitke. Nadalje je primerno, da vtiskujemo le tista orodja, ki se ne obnavljajo, ki se po iztrošenosti gravure odpišejo. Prav tako je dobrodošlo, če so gravure simetrične, če imajo večje zaokrožitve in blage prehode. Rentabilnost postopka pa bo tem večja, čim večje serije enakih gravur bomo izdelovali.

Ekonomska upravičenost te tehnologije je v največji meri odvisna od življenske dobe pestičev, ta pa od specifičnih pritiskov, s katerimi so pestiči obremenjeni. Vplivne faktorje na proces lahko zato razdelimo v naslednje skupine:

- a) materiali matric in pestičev (sestava, homogenost, vključki),
- b) toplotna obdelava matric in pestičev,
- c) geometrijski parametri (predobdelava matric za odtekanje viška materiala, oblikovanje pestiča, pravokotnost, centričnost),
- d) trenje in mazanje,
- e) vtiskovalni stroj (hitrost, enakomernost gibanja, vodenje, paralelnost).

Na podlagi več izkušenj iz naše neposredne prakse lahko vidimo, da se vsi vplivni parametri niso dovolj resno obravnavali. Največ napak se je pojavljalo pri nabavi materialov ter pri njihovi toplotni obdelavi.

Od pestiča je nemogoče pričakovati, da bo prenesel pritiske 3000 N/mm<sup>2</sup> in več, če je bil izdelan iz trenutno na trgu dosegljivega orodnega jekla, brez vhodne in medfazne kontrole in zanesljive toplotne obdelave.

Hladno vtiskovanje je dobra tehnologija, samo pristop do nje zahteva višjo stopnjo tehnološkega razmišljanja, pri uvajanju pa več sistematičnosti in kritične presoje. Kolikokrat se ob lomih pestičev sliši, da ta tehnologija ni v redu, nihče pa nima interesa, da bi analiziral vzroke neuspeha.

Tedaj, ko pripravljamo nov postopek hladnega vtiskovanja, ne moremo reči, da bomo izdelali orodje, potem pa preizkusili, ali je vtiskovanje mogoče ali ne. Pred to odločitvijo je potrebno določiti velikost pritiskov; ko ugotovimo, da ležijo v razumnih mejah, izdelamo orodje in s preizkusi samo potrdimo naša predvidevanja.

Trenutno se v preoblikovanju, posebno pa še pri hladnem vtiskovanju, zelo težko teoretično določijo potrebne sile. Kot dopolnilo se lahko uporabljajo metode podobnosti tehnoloških postopkov /11/.

## 2. Podobnost med vtiskovanjem in protismernim iztiskavanjem

Vtiskovanje in protismerno iztiskavanje (slika 1) sta si z ozirom na tečenje materiala in na napetostno stanje zelo podobna postopka. Podobnost je posebno izrazita tedaj, ko uporabljamo matrico, ki je vstavljena v posebni držalni obroč (kar je najpogosteje) in, ko nikjer na matrici ne predvidimo mesta za iztekanje izrinjenega materiala, tako da mora le-ta teči protismerno navzgor.

Pritisk pri protismernem iztiskovanju lahko izrazimo kot funkcijo naslednjih parametrov:

$$p = p ( k_f, \mu, \xi_A, h_1/d_1, \dots ).$$

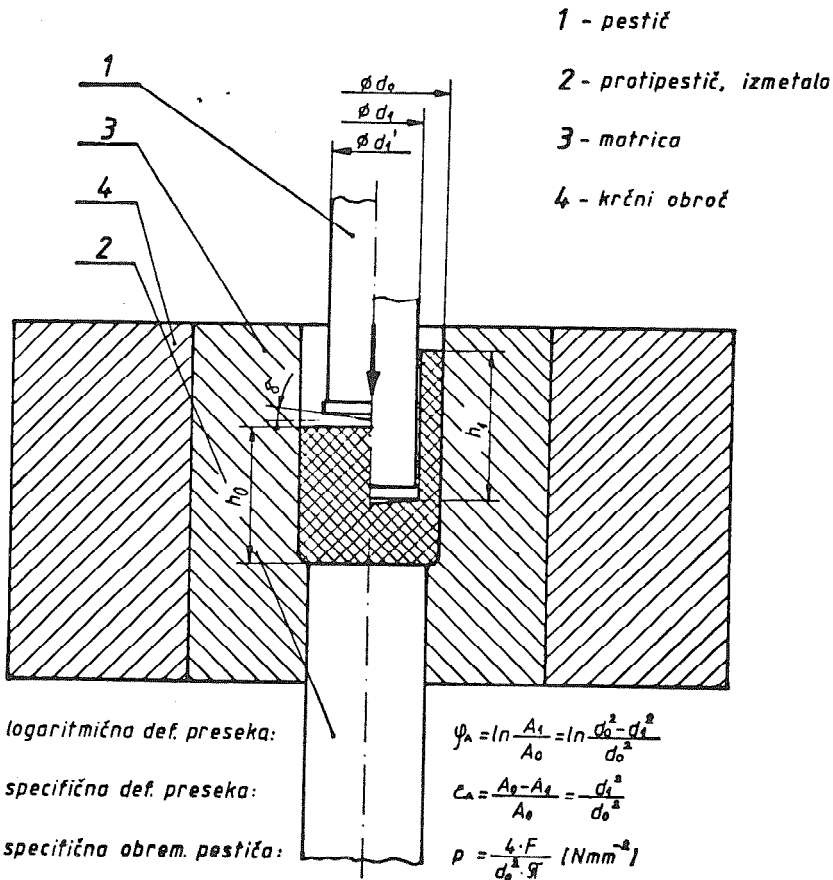
Napetost tečenja  $k_f$  dobimo iz krivulje plastičnosti, če poznamo stopnjo deformacije  $\varphi$ , ki se pri hladnem vtiskovanju ocenjuje kot

$$\varphi = 33 h_1/d_1 - 1 \quad /1/ \quad /2/.$$

Ta izraz ne vsebuje vpliva specifične deformacije  $\xi_A$ , za katerega je dokazano /12, 13/, da vpliva na velikost specifičnega pritiska.

Podobnost med obema preoblikovalnima postopkoma je vidna tudi iz primerjave specifičnih preoblikovalnih pritiskov pri preoblikovanju podobnih materialov. Slika 2 vsebuje podatke vtiskovanja po Hinzu /13/ ter lastne rezultate protismernega iztiskavanja. Žal materiali in geometrija orodja ter mazanje niso bili popolnoma

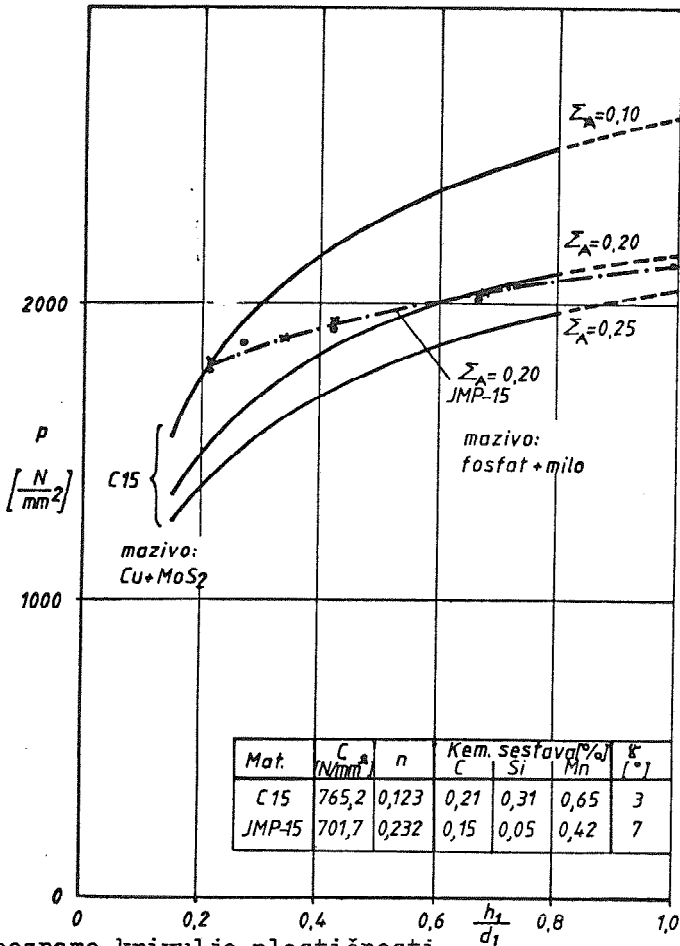




Slika 1. Princip protismernega iztiskavanja.

enaki. Hinze je nedvoumno dokazal (kar je pri protismernem iztiskavanju splošno znano), da je pri vtiskovanju pritisk na pestič tem večji, čim večje je razmerje med ploščino prečnega prereza pestiča in matrice, oziroma, čim manjša je specifična deformacija prečnih presekov  $\epsilon_A$ .

Na podlagi takšnega razmišljanja lahko ugotovimo, da je specifični preoblikovalni pritisk direktno odvisen od napetosti tečenja  $k_f$ , ako so vsi ostali geometrijski in torni parametri enaki. Praktični pomen te ugotovitve pa je, da lahko zanesljivo ocenimo velikost preoblikovalnega pritiska za iztiskavanje materiala II, če opravimo preizkus iztiskavanja za znañi (mehkejši) material I, za oba pa



Slika 2.

Specifični preoblikovalni pritiski pri hladnem vtiskovanju jekla C 15 /13/ in pri protismernem iztiskavanju jekla JMP 15 (podobno Č.1221).

poznamo krivuljo plastičnosti.

Znane veličine so torej:

$$P_I = P_I ( k_{fI}, \mu, \Sigma_A, h_1/d_1 ) ,$$

$$k_{fI} = C_I \varphi_e^{nI}$$

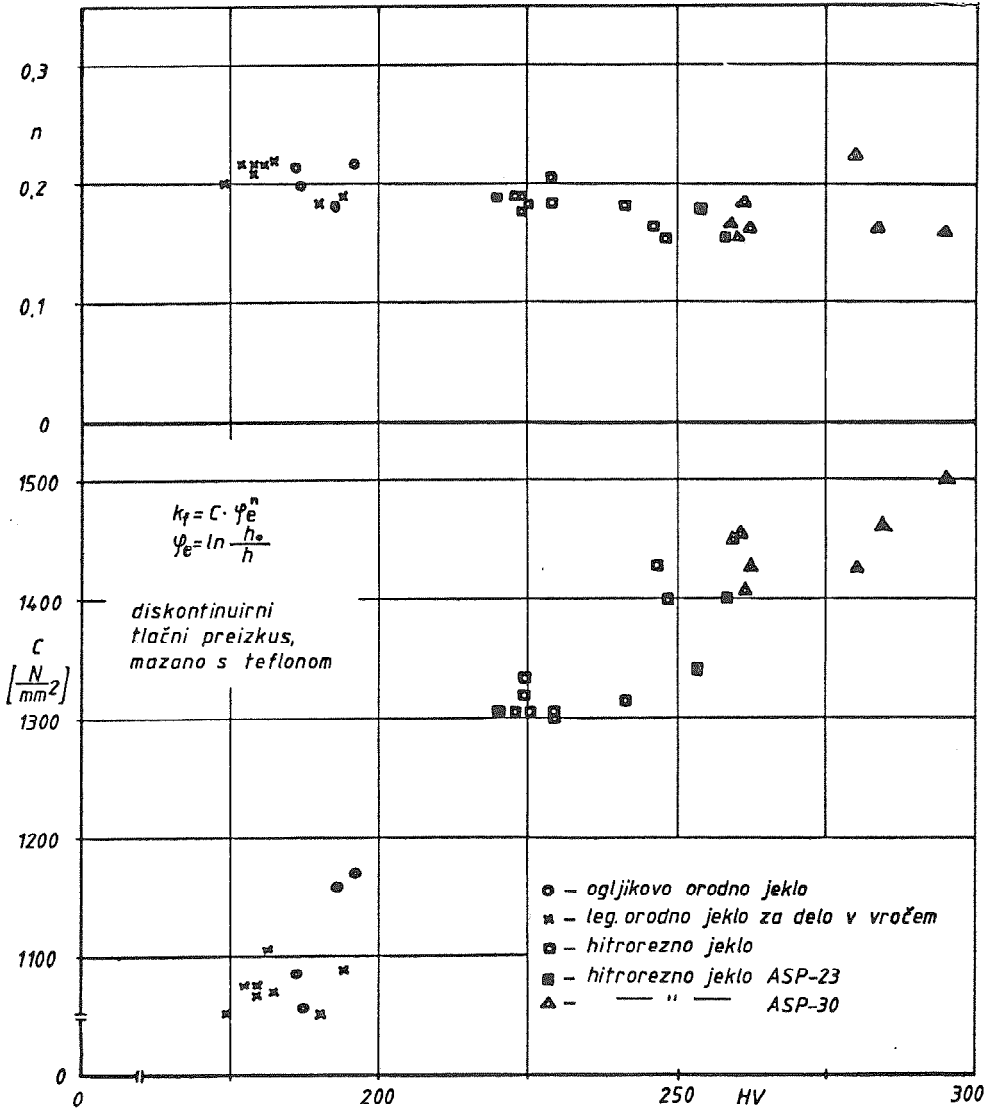
$$k_{fII} = C_{II} \varphi_e^{nII} .$$

Preoblikovalni pritisk za iztiskavanje materiala II je

$$P_{II} = P_I C_{II}/C_I ,$$

če sta pri tem eksponenta utrjevanja vsaj približno enaka ( $n_I \approx n_{II}$ ).

Iz navedenega lahko ugotovimo, da so pritiski na orodja direktno odvisni od preoblikovalnih lastnosti materialov. V literaturi /2/

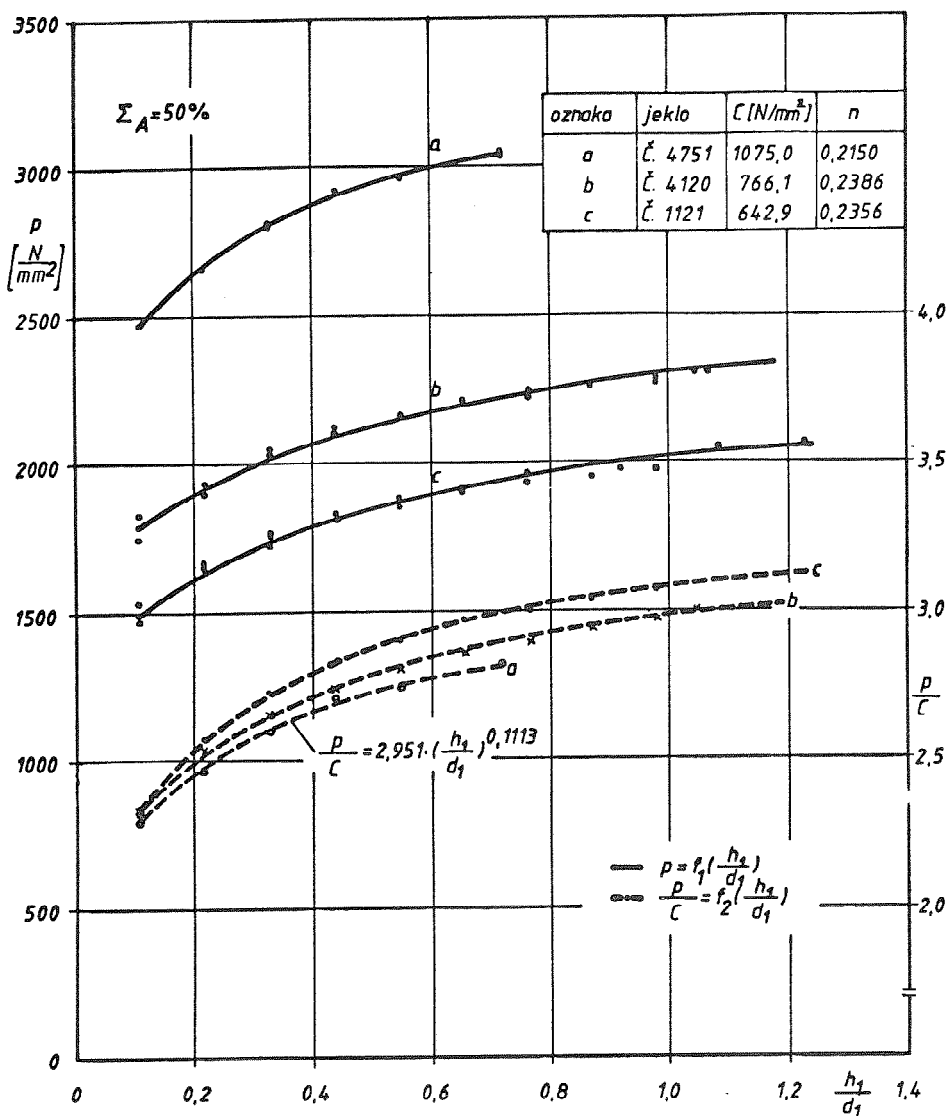


Slika 3. Eksponenti utrjevanja  $n$  in konstante materiala  $C$  v odvisnosti od trdote preizkušanih jekel v mehkožarjenem stanju.

se šestokrat pojavlja, da so preoblikovalni pritiski podani v odvisnosti od mehanskih lastnosti materiala ( $HB, \sigma_M$ ). Mnenja smo, da je pravilneje, če je pritisek podan v odvisnosti od preoblikovalnih lastnosti. Velik raztros trdot pri enakih konstantah materiala  $C$  dokazuje (slika 3), da iz meritve trdot ne moremo dovolj zanesljivo sklepati na kasnejše sile pri preoblikovanju.

### 3. Specifični pritiski pri protismernem iztiskavanju

V okviru obsežnih raziskav, ki jih že dalj časa opravljamo, smo pri hladnem protismernem vtiskavanju analizirali tudi vpliv materiala, vtiskovalnega razmerja  $h_1/d_1$ , specifične deformacije prečnega preseka  $\Sigma_A$  na preoblikovalni pritisk. Del teh rezultatov je prikazan v sliki 4.

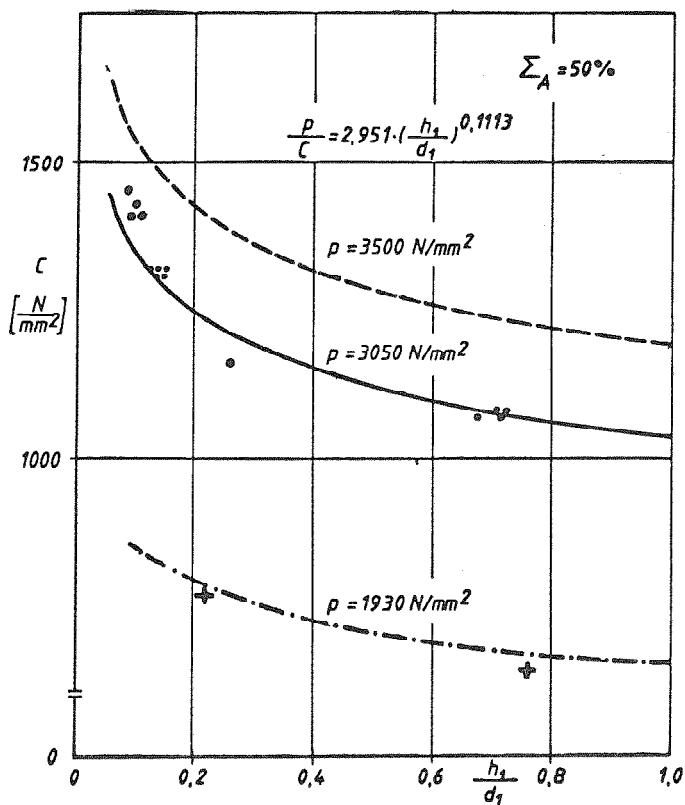


Slika 4. Specifični pritiski na orodja  $p$  in relativni specifični pritiski  $p/C$  pri protismernem iztiskavanju v odvisnosti od relativne globine  $h_1/d_1$ .

Ako zasledujemo podobnost, vidimo, da relativni specifični pritisk  $p/C$  ni popolnoma enak za vse materiale, ampak je za jekla z večjo konstanto  $C$  nižji (ugodnejši). Ta fenomen moramo v nadaljevanjih podrobneje raziskati.

Za izdelavo orodij s postopkom hladnega vtiskovanja so zanimiva seveda kvalitetnejša in orodna jekla. V ta namen smo najprej določili krivulje plastičnosti, katerih konstante so podane v sliki 3. Razumljivo je, da je bilo pred tem potrebno opraviti obsežne raziskave za določitev optimalnih parametrov mehkega žarjenja.

Tako pripravljena jekla smo nato protismerno iztiskavali. Pri tem smo kot največji pritisk vzeli  $3050 \text{ N/mm}^2$ . S pomočjo podobnosti z jeklom Č.4751 (Utop No 1), z znanimi krivuljami plastičnosti ter z vnaprej postavljenim maksimalnim pritiskom smo ocenili, kako veliko vtiskovalno razmerje  $h_1/d_1$  bo mogoče doseči za posamezne materiale. Kasnejši preizkusi so naša predvidevanja (slika 5) popolnoma potrdili.



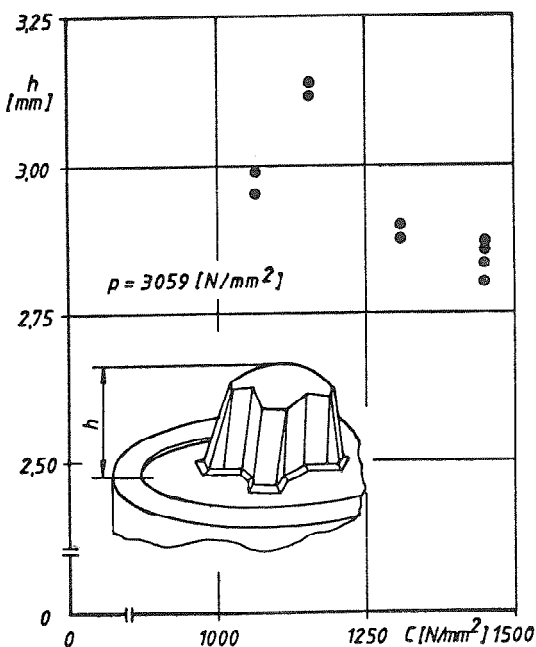
Slika 5.

Relativna globina vtiskavanja  $h_1/d_1$  v odvisnosti od konstante materiala  $C$  za različne specifične pritiske na pestič pri protismernem iztiskavanju jekel.

Iz slike 5 tudi vidimo, da je mogoče hladno protismerno iztiskavati tudi hitrorezna jekla, posebno še, če delamo v področju optimalnih deformacij ( $\xi_A = 50\%$ ). Ako bi pritisk povečali na  $3500 \text{ N/mm}^2$ , bi z jeklom Č.7680 lahko dosegli vtiskovalna razmerja okoli 0,4.

#### 4. Preizkus hladnega vtiskovanja

Vnaprejšnja ocenitev preoblikovalnih karakteristik različnih materialov s pomočjo krivulje plastičnosti, potrjena s protismernim iztiskavanjem, je bila nato praktično verificirana s hladnim vtiskovanjem.



Slika 6.

Višina pestiča  $h$  na orodju za izdelavo glave vijaka s križno zarezo v odvisnosti od konstante materiala  $C$  pri konstantnem specifičnem pritisku vtiskovanja.

SOZD Slovenske železarne ima v svojem sklopu tudi močno proizvodnjo vijakov. Za nakrčevanje glav vijakov so potrebne velike količine pestičev, katerih gravure bi se s klasičnimi postopki zelo drago izdelovale. Tudi v primerjavi z EDM je hladno vtiskovanje daleč najrentabilnejši način.

V naši nalogi smo preizkusili hladno vtiskovanje gravur v pestiče za izdelavo vijakov s križno zarezo (slika 6). Pri tem je posebno pomembno, da je pestič za oblikovanje križne zareze dobro izpolnjen in da je dosegel ustrezno višino (v sliki  $h$ ).

Pri preizkusih smo primerjali dobljene višine pestičev s konstanto materiala C. Ugotovili smo dobro skladnost s predpostavko, da bo višina h tem večja, čim nižja bo konstanta materiala C. Razumljivo je, da na doseženo višino vpliva tudi stanje površine orodja in kvaliteta maziva.

## 5. Zaključek

Na podlagi preizkusov protismernega iztiskavanja in vtiskavanja različnih kvalitete jekel (od nizkoogljičnih do hitroreznih) smo ugotovili, da je najbolj selektivna metoda za ocenjevanje njihovih preoblikovalnih lastnosti krivulja plastičnosti.

Predpogoj za uspešno preoblikovanje jekel je pravilna toplotna obdelava (mehko žarjenje). Ugotovili smo, da ocenjevanje uspešnosti toplotne obdelave ni zadovoljivo z meritvijo trdot, veliko natančneje se to ugotovi s krivuljo plastičnosti, torej z idealnim primerom preoblikovanja.

## 6. Literatura

- /1/ Grüner, P.: Beiträge zur Herstellung von Gesenken im Kalt- und Warmeinsenkenverfahren. Masch.-Markt 1965 No.93
- /2/ VDI Richtlinie 3170 Kalteinsenken. VDI Verlag Düsseldorf 1961
- /3/ Hoischen, H.: Die Belastbarkeit der Stempel beim Kalteinsenken. Ind.-Anz. 1969, 48, 1087-1092
- /4/ Žnidaršič, J.: Hladno vtiskavanje gravur. Diplomaska naloga 2382, FS Ljubljana 1976
- /5/ Metlika, K.: Oblikovanje gravur s hladnim vtiskovanjem. Diplomaska naloga 2489, FS Ljubljana 1977
- /6/ Popovič, P., Jankovič, Lj.: Prilog razmatranju problema kompleksnog modela i klasifikacija metoda izrade elemenata utiskivanja. SIMOD III-2, 1-12, Niš 1977
- /7/ Jankovič, Lj.: Primena metode utiskivanja u izradi alata. SIMOD III-2, 13-41, Niš 1977
- /8/ Jankovič, Lj.: Prilog razmatranju problema vezanih za utiskivanje u polubeskonačnu plastičnu sredinu. SIMOD III-2, 43-53
- /9/ Kuzman, K., Varga, E.: Tehnološka in ekonomska vprašanja pri uporabi EDM in ECM za izdelavo kovaških utopnih orodij. XI sovetovanje za proizvodstveno mašinstvo, Ohrid 1977
- /10/ Kuzman, K., Varga, E.: Problemi sodobne izdelave gravur v kovaških utopnih orodjih. Strojniški vestnik 1978, 219-225
- /11/ Kosec, L., Kuzman, K., Vojnovič, N.: Raziskava orodnih jekel.

Tema 2: Raziskave sposobnosti orodnih jekel za vtiskovanje v hladnem. Poročila metalurškega instituta v Ljubljani, št. 743-1979

- /12/ Hinze, G.: Formänderungen beim Kalteinsenken mit Haltering. Fertigungstechnik und Betrieb 1969, 4, 233-240
- /13/ Hinze, G.: Experimentelle Ermittlung von Kräften und Spannungen beim Kalteinsenken mit Haltering. Fertigungstechnik und Betrieb 1969, 5, 295-300.





XIV SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980.

M. Kalajdžić, V. Šolaja<sup>+</sup>)

OBRADNI SISTEM, OSNOVNA TEHNOLOŠKA CELINA - MOGUĆNOSTI  
JEDINSTVENE IDENTIFIKACIJE U EKSPLOATACIJSKIM USLOVIMA<sup>++</sup>)

### 1. Model obradnog sistema

Obradni sistem je u okviru tehnološkog sistema alatna mašina, ili grupa alatnih mašina, koja izvodi skup odredjenih operacija. Ili drugim rečima, alatna mašina, ili grupa alatnih mašina, u radu sa radnikom, koji vrši upravljanje, kao i alatna mašina sa automatskim upravljanjem, predstavlja obradni sistem.

Osnovni model obradnog sistema dat je na sl.1, gde se vide njegove osnovne komponente sa medjusobnim vezama.

Jedan obradni sistem u opštem slučaju je mašinski sistem sa obradnim procesom kao osnovnom funkcijom.

Mašinski sistem se, dalje, sastoji od više podsistema, i to:

-Podsistem mašina. To je u opštem slučaju alatna mašina, ili grupa alatnih mašina sa potrebnim instalacijama i pomoćnim agregatima.

-Podsistem alata. Ovaj podsistem obuhvata, pored jednog ili više alata potrebnih za proces obrade ili kontrole, i elemente neophodne za stezanje i promenu alata.

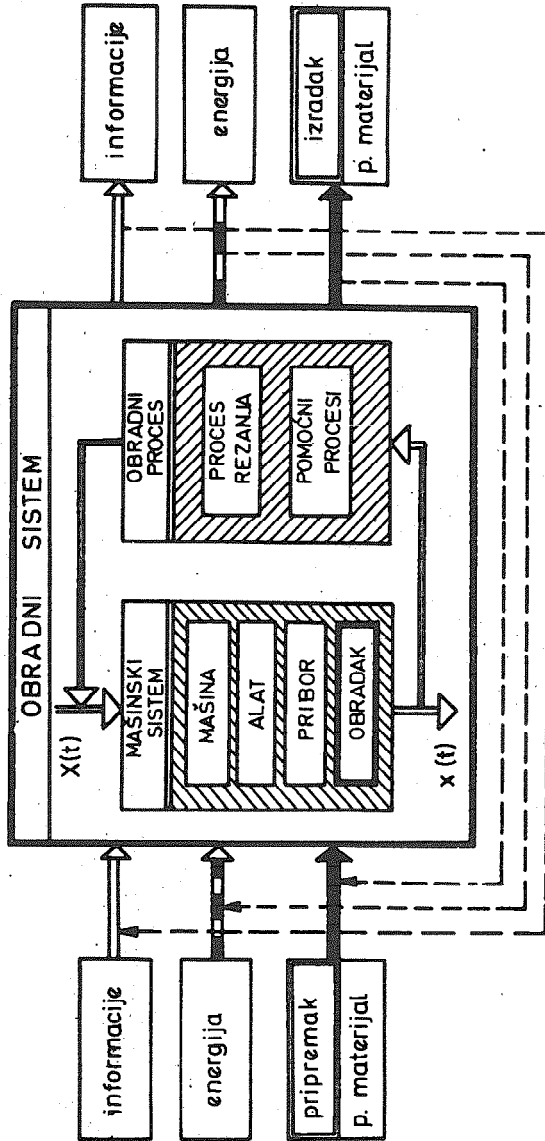
-Podsistem pribora. Obuhvata sve pomoćne pribore potrebne za pozicioniranje i stezanje alata i obratka.

---

<sup>+</sup>) Dr Milisav Kalajdžić, dipl.maš.inž., docent Mašinskog fakulteta, Beograd

Dr Vladimir Šolaja, dipl.maš.inž., redovni profesor i šef Katedre za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta, savetnik Instituta IAMA, Beograd

<sup>++</sup>) Saopštenje se odnosi na radove koji se izvode u okviru projekta ROPOS - RAZVOJ I OPTIMIZACIJA OBRADNIH SISTEMA--.



Sl. 3-Osnovni model obradnog sistema

-Podsistem obradaka. Obuhvata i sastoji se od jednog ili više radnih predmeta u procesu obrade.

Obradni proces se sastoji od procesa rezanja i pomoćnih procesa.

Ulazne informacije odnose se na više skupova informacija, i to: skup informacija o tehničkim i drugim karakteristikama mašine, skup informacija o alatu, skup informacija o priborima, skup informacija o pripremu, skup informacija o režimima obrade, skup informacija o režimima obrade, skup informacija o upravljanju obradnim procesom, skup informacija o tehničkim zahtevima u pogledu tačnosti i kvaliteta dela koji treba da se obradjuje, kao i drugi podaci zanačajni za obradni sistem.

Ulazna energija služi za savladjivanje otpora u obradnom sistemu i obezbedjuje potrebna kretanja elemenata obradnog sistema u ostvarivanju obradnog procesa.

Ulazni materijal se sastoji od priprema i pomoćnog materijala. U pomoćni materijal spadaju sredstva za hladjenje i podmazivanje, ulje u prenosnicima i dr.

Izlazne informacije predstavljaju transformisane ulazne informacije, a odnose se na skup informacija koji definiše kvalitet obrade u smislu ostvarenih dimenzija, položaja i oblika površina i kvaliteta obradjenih površina, proizvodnost i ekonomičnost obradnog sistema.

Izlazna energija predstavlja transformisanu ulaznu energiju. U prvom redu, to je uglavnom toplotna energija, mada se manjim delom ulazna energija transformiše i u kinetičku energiju potresa elemenata obradnog sistema, temelja mašina i podova pogona, kao i zvučnu energiju i dr.

Izlazni materijal je transformisan ulazni materijal. Sastoji se od izratka i otpadnog materijala. U otpadni materijal spada utrošeno sredstvo za hladjenje i podmazivanje, strugotina i dr.

Od tehnološkog nivoa jednog obradnog sistema, zavisi i karakter povratne veze izmedju ulaza i izlaza.

Mašinski sistem i obradni proces su u medjusobnoj vezi preko skupa poremećajnih faktora  $X(t)$  i skupa odzivnih, izlaznih

faktora  $x(t)$ .

Skup poremećajnih faktora, koji su funkcija vremena  $t$ , glasi:

$$X(t) = \{ F_i(t), F_p(t), F_s(t), F_t(t), F_{tr}(t), Q(t), \dots \} \quad (1)$$

gde su:

- $F_i(t)$ -sile rezanja,
- $F_p(t)$ -prinudne sile koje nastaju kao posledica neuravnoteženih obrtnih ili translatorno pokretnih masa,
- $F_s(t)$ -sile stezanja,
- $F_t(t)$ -sile koje nastaju kao posledica temperaturnih deformacija u sistemu,
- $F_{tr}(t)$ -pasivne, odnosno sile trenja koje se pojavljuju u sistemu,
- $Q(t)$ -razvijena količina toplote i dr.

Skup odzivnih faktora glasi:

$$x(t) = \{ f_i(t), A_i(t), L(t), \theta_i(t), \dots, B_i(t), \dots \} \quad (2)$$

gde su:

- $f_i(t)$ -pomeraji karakterističnih tačaka, koji nastaju kao posledica deformacije sistema i koji su statičke veličine u određenom vremenskom domenu,
- $A_i(t)$ -amplitude vibracija karakterističnih tačaka sistema,
- $L(t)$ -nivo buke koji se pojavljuje u sistemu,
- $\theta_i(t)$ -temperature karakterističnih tačaka sistema,
- $B_i(t)$ -parametri habanja alata, koje se kao dopunska ili sekundarna poremećajna veličina pojavljuje u sistemu.

Pored navedenih poremećajnih i odzivnih faktora mogu se pojaviti i drugi, vezani za specifičnosti obradnih sistema, a posebno procesa koji se u njima odvijaju.

Obradni sistemi predstavljaju osnovni tehnološki element jednog tehnološkog ili proizvodnog sistema, a tehničko tehnološki nivo obradnih sistema jedan je od osnovnih preduslova za projektovanje i osvajanje modernih tehnoloških procesa sa pozitivnim izlaznim efektima, koji se odnose na kvalitet, proizvodnost i ekonomičnost. Baš je zbog toga i neophodno postaviti prave kriterijume za utvrđivanje karakteristika obradnih sistema.

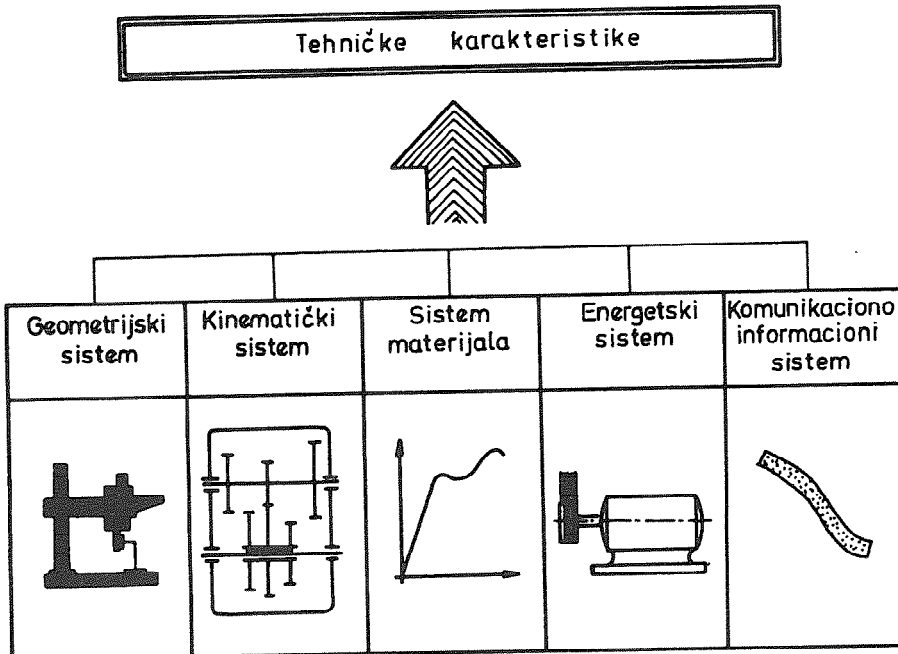
## 2. Karakteristike obradnih sistema

### 2.1. Tehničke karakteristike obradnih sistema

Tehničke karakteristike određuju maksimalne tehnološke mogućnosti jednog obradnog sistema. To je skup parametara, koji definiše tehničku funkciju mašine, alata i pribora. Inače, s aspekta ispunjenja tehničke funkcije obradnog sistema, tehničke karakteristike mašine, alata i pribora, moraju se posmatrati integralno. Zato je u izboru obradnog sistema, za predviđen obradni proces, vrlo značajno pravilno i adekvatno komponovanje osnovnih elemenata obradnog sistema prema poznatim tehničkim karakteristikama.

Tehničke karakteristike obradnog sistema definišu i određuju funkcionalni sistemi, kao posebna grupa podsistema, a to su:

- geometrijski sistem,
- kinematički sistem,
- sistem materijala,
- energetski sistem, i
- komunikaciono-informacioni sistem.



Sl.2-Funkcionalni sistemi u okviru obradnog sistema

Kao prvi funkcionalni sistem obradnog sistema, geometrijski sistem obuhvata skup parametara koji definišu apsolutne i relativne položaje svih elemenata obradnog sistema. U okviru geometrijskog sistema se bliže definišu osnovni geometrijski, ili radni, prostor mašine, kao i geometrija reznog alata.

Kinematički sistem obezbedjuje relativno kretanje alata i obratka u toku izvodjena procesa obrade. Pored toga, ovaj sistem obezbedjuje i sva ostala kretanja radnih organa obradnog sistema. Osnovne komponente kinematičkog sistema su prenosnici alatnih mašina za glavno i pomoćno kretanje.

Sistem materijala obuhvata skup parametara koji definiše mehaničke osobine svih materijala obradnog sistema. U okviru ovog funkcionalnog sistema, poseban značaj imaju parametri koji definišu obradljivost materijala obratka.

Energetski sistem obuhvata tokove energije između pojedinih fizičkih jedinica obradnog sistema, kao i tokove između pojedinih vidova energije, polazeći od veličine instalisane snage do konačnog energetskog bilansa u toku izvodjenja obradnog procesa.

Komunikaciono informacioni sistem se deli na spoljašnji i unutrašnji. Spoljašnji sistem obuhvata sve informacije koje se tiču razrade tehnološkog postupka, a unutrašnji informacioni sistem se odnosi na prenošenje signala između elemenata obradnog sistema radi izvršenja pojedinih funkcija.

## 2.2. Pokazatelji kvaliteta obradnih sistema

Za razliku od tehničkih karakteristika, karakteristike kvaliteta obradnih sistema određene su grupom pokazatelja, i to, početnim pokazateljima kvaliteta i pokazateljima koji predstavljaju karakteristiku odziva poremećajnim podsistemima.

Početni pokazatelji kvaliteta obradnih sistema odnose se na geometrijsku i kinematičku tačnost alata i mašina. Geometrijska tačnost obuhvata skup parametara, koji pokazuju odstupanja od idealnog geometrijskog oblika elemenata mašine, odstupanja od nominalnog relativnog položaja pojedinih elemenata i odstupanja od relativnog odnosa pojedinih elemenata mašine prema pravcima kretanja osnovnih radnih organa. Kinematička tačnost je definisana

skupom parametara, koji pokazuju odstupanja od zadatih nominalnih brzina kretanja radnih organa mašine, kao i ponovljivosti pozicija.

Grupa poremećajnih podsistema obradnog sistema odnosi se na:

- termičke pojave,
- statičku krutost,
- dinamičko ponašanje,
- trenje i habanje,
- buku (šum), i
- pouzdanost.

POKAZATELJI KVALITETA



Geometr. i kinemat. tačnost	Termičke pojave	Statička krutost	Dinamičko ponašanje	Trenje i habanje	Buka (šum)	Pouzdanost

Sl.3-Pokazatelji kvaliteta obradnog sistema

Ukupna količina toplote, koja se razvije u obradnom sistemu transformacijom ulazne energije i prenosom ili zračenjem sa okoline, ima, pored ostalog, značajan uticaj na tačnost obrade preko temperaturnih deformacija obradnog sistema i postojanost alata zbog smanjenih radnih sposobnosti njegovog reznog dela pri



povećanim temperaturama. Kao glavni izvori toplote u obradnom sistemu navode se ležajevi glavnog vretena mašine, rezervoari ulja i sredstava za hladjenje i podmazivanje, prenosnici za glavno i pomoćno kretanje, pogonski i drugi motori, klizne vodjice i sam proces obrade.

Zbog elastičnih deformacija elemenata obradnog sistema koje nastaju pod dejstvom statičkih sila, dolazi do pomeraja (ugiba karakterističnih tačaka samog sistema. Ovi pomeraji direktno utiču na tačnost obrade. Cela grupa poremećajnih faktora, koja obuhvata statičke sile, sastoji se od sila rezanja, sila stezanja, sopstvenih težina, sila trenja i inercijalnih sila. Kao parametar suprostavljanja dejstvu statičke sile, za svaki element neke konstrukcije ili ceo sistem, može se definisati statička krutost kao odnos statičke sile i odgovarajućeg pomeraja.

Dinamičko ponašanje obradnih sistema, koje je definisano intezitetom i karakterom vibracija u toku izvodjena obradnih procesa, ima znatan negativan uticaj na kvalitet obradjene površine, tačnost dimenzija i oblika, habanje alata, habanje i vek trajanja i drugih elemenata mašinskog sistema, proizvodnost i dr. Preko dinamičkog ponašanja definiše se i dinamički kvalitet obradnog sistema, i to preko dinamičke stabilnosti i dinamičke krutosti. Dinamička stabilnost se definiše odsustvom samopobudnih vibracija, a dinamička krutost pokazuje koliko je smanjenje statičke krutosti sistema u dinamičkim, eksploatacijskim uslovima.

Habanje elemenata mašine predstavlja proces koji dugo traje (meri se mesecima, godinama), dok je habanje reznog alata daleko brži proces (meri se minutama, časovima). Preko habanja alata definiše se i njegova postojanost, a karakter i intezitet habanja, naročito ledjne površine, imaju poseban negativan uticaj na tačnost obrade i kvalitet obradjene površine.

Obradni sistem predstavlja u opštem slučaju kompleksan izvor buke ili šuma. Buku, s obzirom na fizička svojstva i prirodu, treba posmatrati u sklopu kompleksnog stanja mašine i procesa obrade, vezanu za režim rada, krutost, promenljivost opterećenja, način oslanjanja mašine i niz drugih uticajnih faktora. Identifikacija buke obradnog sistema značajna je sa dva aspekta: prvi, odnosi se na opšti kvalitet mašine i obuhvata kvalitet izrade delova, kvalitet montaže i kvalitet rada i drugi, odnosi se na zašti-

tu radnika s obzirom na štetno dejstvo buke.

Pouzdanost je sposobnost obradnog sistema da u odredje - nom vremenskom periodu i pri odredjenim radnim uslovima ispravno funkcioniše. Posebno je značajna kod složenih obradnih sistema.

### 3. Mogućnosti jedinstvene identifikacije kvaliteta obradnih sistema

Zbog vrlo složene komparacije kvaliteta obradnih sistema, pošto postoji veći broj pokazatelja, to je još ranije izložena ide - ja i dati prvi eksperimentalni rezultati [4,5] za identifikaciju stanja obradnih sistema.

Opšte stanje obradnog sistema može se definisati preko je - dinstvenog, integralnog dinamičko tehnološkog parametra

$$Q = \frac{R}{W} = \frac{1}{ns} \frac{R^*}{W^*} = t_g Q^* \quad (3)$$

gde su

$Q^*$  - specifični integralno-tehnološki parametar, i  
 $t_g$  - glavno vreme za jedinicu dužine obrade.

Ovaj dinamičko-tehnološki parametar je odredjen kao odnos "tehnološke mirnoće" i "mirnoće rada" obradnog sistema.

"Tehnološka mirnoća" se odredjuje po formuli

$$R = \frac{2\sqrt{n}}{s} \left( \sum_j h_j^3 \frac{f_{1j}^5}{\sum f_{1j}} s_p^4 \right)^{0,25} = \frac{1}{s} R^* \quad (4)$$

gde su  $s_p$  [mm/o] - veličina pomoćnog kretanja,  $h_j$  [mm] - trenutni "pomeraj" vremenske funkcije reljefa preseka obradjene površine za j-tu komponentu i  $f_{1j}$  [1/mm] - frekvenca koja pokazuje broj sinusnih perioda reljefa na jedinici dužine.

"Mirnoća rada" obradnog sistema se odredjuje po formuli

$$W = 2\sqrt{n} \left( \frac{\sum a_i^3 f_i^6}{n_p^5 \sum f_i} \right)^{0,2} = n \cdot W^* \quad (5)$$

gde su  $n_p$  [0/min] - broj obrta,  $a_i$  [mm] i  $f_i$  [Hz] - amplituda i fre - kvenca odgovarajuće i-te komponente vremenske funkcije oscilovanja između vrha alata i mernog trna u pravcu upravnom na obradjenu površinu pri radu mašine na prazno (bez rezanja).

Jedinstveni, integralni dinamičko-tehnološki parametar omogućuje jednostavnu i brzu identifikaciju stanja obradnog sistema.

#### 4. Umesto zaključka

Primena integralnog dinamičko-tehnološkog parametra zahteva u daljim radovima:

-Detaljniju teorijsku razradu uz uvodjenje statističke teorije i automatizacijom dobijanja parametara,

-Utvrđivanje korelacionih odnosa između definisanih parametara mirnoće rada i tehnološke mirnoće i odredjenih pokazatelja direktno u eksploataciji (napr. habanje alata), i

-Normiranje parametara uz ispitivanje većeg broja obradnih sistema.

#### Reference

- /1/ Weck, M., Werkzeugmaschinen, Band 4, Messtechnische Untersuchung und Beurteilung, VDI-Verlag GmbH, Dusseldorf (1978)
- /2/ Milačić, V., Mašine alatke I, Maš. fakultet, Beograd (1980)
- /3/ Kalajdžić, M., Dinamičko ponašanje obradnih sistema, II naučno-stručni skup, Mašinska obrada rezanjem, mašine alatke i alati - MMA '79, Novi Sad (1979) 267-275
- /4/ Kalajdžić, M., Šolaja, V., Nova dinamika obradnih sistema, Saopštenja IAMA, 25 (1978) 3475-3482
- /5/ Šolaja, V., Kalajdžić, M., Albijanić, R., On a New Comparative Index of Machine-Tool Working Performance, Annals of the CIRP Vol. 25/1/1976, 277-280.

XIV SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE,  
ČAČAK, 24 - 26. septembra 1980.

---

O. Peković\*)

MOGUĆNOSTI TIPIZACIJE TEHNOLOŠKIH PROCESA U USLOVIMA  
GRUPNE OBRADJE DETALJA

1. Uvod

Za povećanje efikasnosti proizvodnje, skraćenje rokova stvaranja i osvajanja nove tehnike, bolji kvalitet i racionalnije upravljanje proizvodnim procesima, poseban značaj ima tehnološka priprema proizvodnje, kao funkcija koja je zadužena za uvođenje novih ili usavršavanje postojećih tehnoloških procesa, uz korištenje savremenih metoda za njihovo projektovanje, konstruisanje i izradu cjelokupne potrebne tehnološke opreme, naprava i alata.

Medjutim i sada se najčešće susreću zastarjeli sistemi tehnološke pripreme proizvodnje bazirani na razradi i primjeni individualnih tehnoloških procesa, projektovanju i izradi opreme, koja se u vezi s neprekidnim lansiranjem i osvajanjem novih proizvoda, pokazala kratkotrajnom i povlači se iz proizvodnje mnogo prije njene stvarne istrošenosti. Sve to uskraćuje stvaranje podesnih uslova za opsežno sprovedjenje radova mehanizacije i automatizacije, kako samog proizvodnog procesa, tako i poslova obluživanja i upravljanja proizvodnjom, tj. ne rješavaju se osnovna pitanja naučne organizacije rada.

Ispravan put koji omogućuje znatno smanjenje vremena tehnološke pripreme proizvodnje i podizanje iste na viši organizaciono-tehnološki nivo, uz manje gubitke rada, vremena, materijala i novčanih sredstava, nalazi se u sprovedjenju tehnološke unifikacije. Pri tome se kao njena baza javljaju tipizacija tehnoloških procesa i grupni metod obrade dijelova, zasnovani na konstruktivno-tehnološkoj klasifikaciji dijelova, predloženoj i razradjenoj od strane sovjetskog naučnika A.P. Sokolovskog. Iako su ova dva prilaza međusobno nezavisna (kod tipizacije tehnoloških procesa, osnovna obilje-

---

\*) Obrad B. Peković, dipl.inž., asistent Mašinskog fakulteta u Sarajevu, Sarajevo, Omladinsko šetalište bb

Žja klasifikacije su konstruktivna svojstva detalja, a za grupni metod obrade karakteristično jedinstvo tehnološke opreme potrebne za pojedine operacije ili za cjelokupnu izradu dijelova), ipak oni omogućuju u raznim uslovima riješiti jedan opšti problem normalizacije tehnoloških procesa dopunjujući jedan drugog.

Pored toga, tehnološka unifikacija otkriva široke mogućnosti primjene kompjutera u rješavanju kako tehnoloških (klasifikacija detalja, izbor optimalne varijante tehnološkog procesa, izbor optimalne konstrukcije opreme, naprava i pribora i sl.), tako i problema normiranja, operativnog planiranja i terminiranja, te zadataka vezanih za oformljenje tehnološke, planske i drugih oblika dokumentacije, neophodnih za pripremu proizvodnih procesa i upravljanja istim.

Automatizacijom tehnološke pripreme proizvodnje moguće je projektovati organizaciju elastičnih, racionalnih i brzo promjenljivih proizvodnih linija, koje su kao takve sposobne da u kratkom roku i sa najmanje gubitaka osvoje izradu proizvoda većeg kvaliteta.

Polazeći od pretpostavke da su izložene činjenice neosporne i dovoljno ubjedljivi razlozi za ubrzano ostvarivanje kvalitativnih promjena u tehnološkoj pripremi proizvodnje, to se u ovom radu nastoji biti uvjerljiv, da u uslovima grupne obrade detalja treba stalno voditi računa o mogućnostima tipizacije njihovih tehnoloških procesa.

## 2. Metodologija klasifikacije detalja i grupne tehnološke operacije

Odredjena razmišljanja u ovom pravcu izložena su na primjeru izrade grupe dijelova tipa puškica, jednim grupnim udešavanjem na revolver strugu, s vanjskim prečnikom od 20 do 32 mm (primjer pozajmljen od prof.S.P.Mitrofanova, /4/ str. 28). Ta grupa dijelova data je na sl. 1. Kao polufabrikat upotrebljavale su se valjane šipke i cijevi, a kao zajednički pribor za stezanje, koristila se stezna čaura. Prikazana grupa detalja govori u prilog tome da prije postavljanja tehnološke klasifikacione šeme, treba sprovesti konstrukcionu klasifikaciju detalja sa analizom svih elemenata koji

definišu oblik i tehničke uslove (osim termičke obrade) u toku izrade detalja, postižući tako normalizaciju i unifikaciju u njihovoj konstrukciji. Takvi elementi kao što su kvalitet obradjene površine, prisutnost ili odsutnost žljebova, skošenih ivica i kanala čine osnovu za razlikovanje detalja koji pripadaju različitim tipovima. Očito je da ovakva komparacija konstruktivno sličnih tipova na račun unifikacije pojedinih elemenata konstrukcije, doprinosi redukciji njihove nomenklature, ali i povećava interval primjenljivih dimenzija. Pri tome se za detalje istog tipa podrazumijevaju detalji potpuno jednaki po konstrukciji, a međusobno različiti po veličini dimenzija. Narednom etapom, konstrukciono tehnološke klasifikacije, javlja se definisanje tipskih predstavnika polufabrikata. Pri izboru polufabrikata treba težiti za onima koji se dobivaju obradom bez skidanja strugotine, jer se znatno smanjuju rashodi materijala, a u većini slučajeva i broj operacija u toku izrade, što znatno utiče na smanjenje tehnološkog ciklusa proizvodnje i cijene proizvoda. Razlike u dimenzijama detalja unutar podklase ili polufabrikata unutar grupe, trebaju da budu u relativno malim granicama, jer kod obrade rezanja uslijed podešavanja držača noževa i reznih alata, prema polufabrikatu sa najvećim prečnikom u grupi, zna često doći do zamjene pojedinih reznih i steznih alata u slučaju prelaska na obradu detalja manjih dimenzija. U formiranju grupa i tipova ne treba zaboraviti ni na serijnost, kao kriterij koji definiše izbor varijante tehnološkog procesa u izradi polufabrikata ili detalja i vrstu grupnih reznih, steznih i mjernih alata i pristroja.

Za usvojeni primjer šema klasifikacije bi izgledala kao na sl. 2. S druge strane, klasificirajući detalje na ovaj način, otkriva se mogućnost primjene grupnog metoda i kod izrade njihovih polufabrikata, korištenjem grupnih blok-alata (matrica, kalupa i sl.), sa izmjenjivim umecima, čime se omogućuje izrada polufabrikata raznih oblika i dimenzija.

U zavisnosti od tipa polufabrikata, tražene tačnosti i kvaliteta obradjivanih površina, načina određivanja tehnoloških baza i učvršćivanja detalja u datoj operaciji, prelazi se na tipizaciju grupnih tehnoloških operacija. Kao kriterij tehnološkog zajedništva detalja, ovdje se pojavljuju tehnološke faze (prelazi, zahvati)

ostvarene zajedničkim metodama, koje se dijele u slijedeće dvije kategorije:

- faze koje se ostvaruju uzdužnim pomjeranjem alata i njihovih nosaca: uzdužno struganje, bušenje, proširivanje, razvrtanje, narezivanje navoja, valjanje navoja i sl.,
- faze koje se ostvaruju poprečnim pomjeranjem suporta: poravnavanje čela, struganje žljebova ili kanala, skidanje ivica, fazoniranje i sl.

Razradjen i projektovan tehnološki proces za kompleksni dio (dio koji uključuje sve geometrijske elemente detalja formirane grupe), može se primijeniti prilikom izrade bilo kojeg detalja te grupe, tj. za svaki tipski detalj u grupi postignuti su svi principi grupne obrade:

- potpuna izrada svakog detalja ostvaruje se u istom broju operacija,
- pri obradi svakog od detalja veliki dio tehnoloških baza se javlja opštom i ispunjava se u istoj uzastopnosti s primjenom jednih te istih reznih alata
- povratno okretanje revolver-glave i nosača noževa se ne pojavljuje
- koriste se ne samo univerzalni i normalni, nego i specijalni i kombinovani visokoproduktivni grupni pribori, uređjaji i alati,
- za tipske i normalizovane detalje može se postići grupno podešavanje.

Ipak, u većini slučajeva, uslijed tehnološke neophodnosti, definitivno grupisanje detalja i unifikacija dimenzija detalja i polufabrikata, ostvaruje se u samom periodu projektovanja grupnih tehnoloških procesa i naprava, kao i u toku izrade detalja. Pri tome se mora tačno utvrditi neophodan komplet (garnitura) i konstrukcija svih mogućih naprava: držači noževa, nosači noževa, upori (graničnici) i sl.

Završnom etapom razrade grupnih tehnoloških operacija javlja se sastavljanje i sredjivanje formi dokumenata i metoda koje

skraćuju njihovu razradu. To se praktično postiže unifikacijom oblika i sastava dokumenata uključivanjem u tehnološku dokumentaciju kompleta tipskih operaciono-tehnoloških listi, čime se olakšava rad tehnologa u pripremi proizvodnje i unošenje promjene u toku radnog procesa, smanjuje se vrijeme razrade i projektovanja tehnoloških procesa, broj dokumenata i ukupan ciklus tehnološke pripreme proizvodnje. Izgled jedne takve krate dat je na sl. 3. Tek ovakav prilaz osigurava standardizaciju informacija i unifikaciju razmjertaja istih u formama dokumenata, te korištenje računске i umnožavajuće tehnike tokom pripreme i obrade dokumentacije.

### 3. Zaključak

Na osnovu izloženog iočava se da je za korjenito unapredjenje maloserijske i serijske nomenklaturne proizvodnje, neophodno provesti temeljitu unifikaciju, kako konstruktivnu tako i tehnološku, s razradom grupne tehnologije na osnovu korištenja napredne tehnologije, racionalne dokumentacije i savremene računске tehnike. Tipizacija tehnoloških procesa u uslovima grupne obrade detalja, može biti primjenjena u svakom slučaju kada je imenovan odgovarajući broj srodnih detalja i kada je moguće formirati kompleksan dio i primjeniti grupnu, specijalizovanu opremu i pristroje za njihovu izradu.

Sagledavanjem čitavog kompleksa problema koje treba da riješi tehnološka priprema proizvodnje i brz tempo razvoja industrije, neminovno se nameće potreba za standardizacijom automatizovanih metoda rješavanja zadataka tehnološke pripreme proizvodnje, projektovanjem jedinstvenog sistema tehnološke pripreme proizvodnje, koji bi trebao biti izgrađen tako da njegovi osnovni dijelovi (metode, jezici, tehnička sredstva i sl.) budu ostvareni na nivou standardnih rješenja, što garantuje njegovu visoku kontinuiranost, operativnost i gipkost.

Dalju teoretsku i praktičnu razradu grupnog metoda i tipskih tehnoloških procesa treba usmjeravati ka dostizanju visokog tehničkog savršenstva, ritmičkog ponavljanja, stabilnosti, protočnosti i neprekidnosti proizvodnih linija na osnovu maksimalne unifikacije



svih sastavnih dijelova proizvodnog procesa (tehnoloških i netehnoloških operacija, osnovnih i pomoćnih aktivnosti i sl.) u svim fazama (pripremnoj, radnoj i montažnoj) i parametrima (količini, prostoru i vremenu).

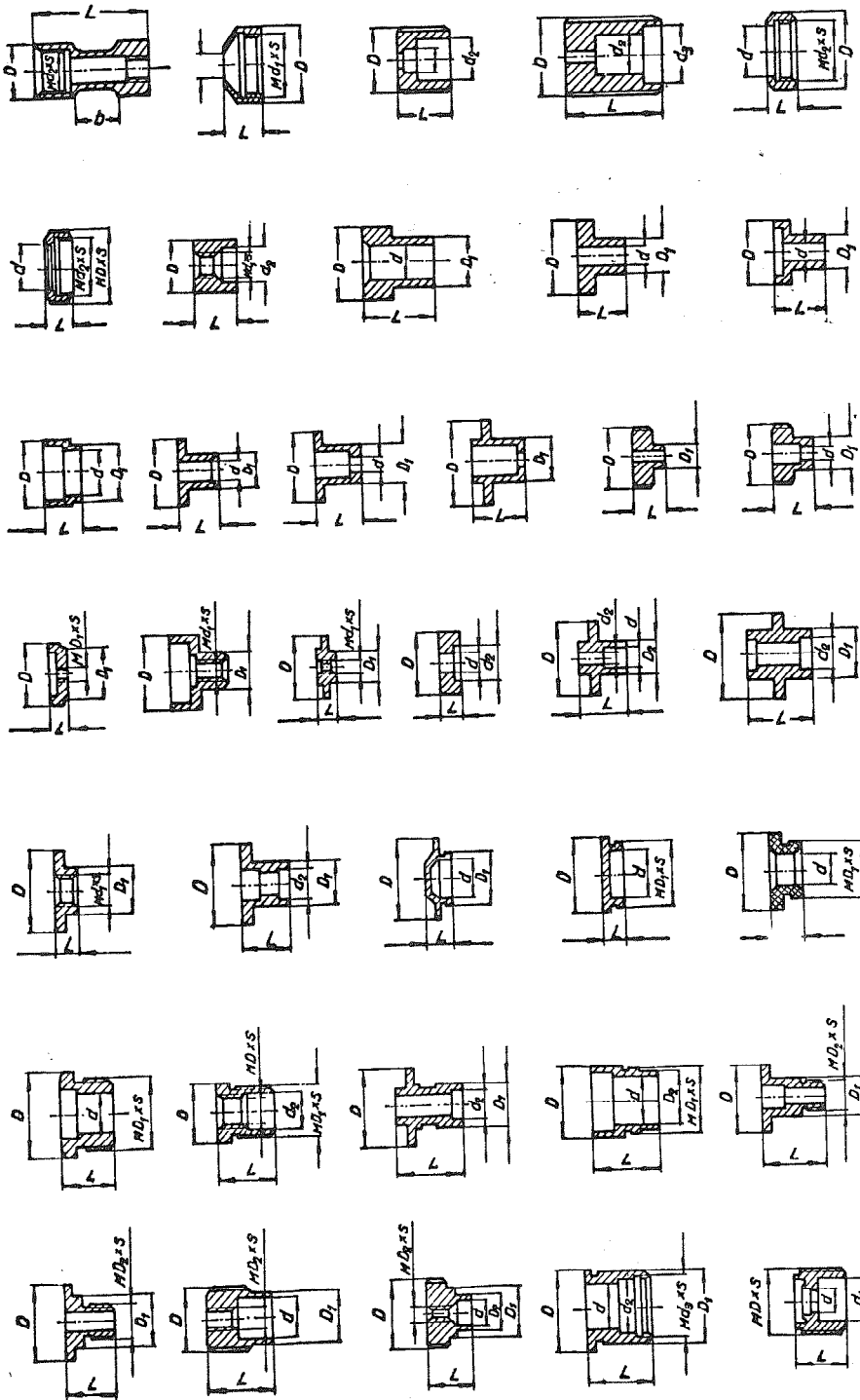
#### 4. Literatura

- /1/ Gruppovaja obrabotka detalej, Mašinstroitel No 2, Mašgiz, Moskva (1959)
- /2/ Gruppovaja tehnologija v mašinstroenii i priborostroenii, pod redakciej S.P.Mitrofanova, Mašgiz, Moskva (1960)
- /3/ Mitrofanov S.P.: Naučnie osnovi tehnologičeskoj podgotovki grupovogo proizvodstva. Mašinstroenie, Moskva - Leningrad (1965)
- /4/ Mitrofanov S.P.: Naučnie osnovi grupovoj tehnologii. Lenizdat, Leningrad (1959)
- /5/ Mitrofanov S.P.: Naučnaja organizacija mašinstroitel'nogo proizvodstva. Mašinstroenie, Leningrad (1976)
- /6/ Peković O.: Matematičko modeliranje redoslijeda izrade n- elemenata na m- mašina u svrhu optimizacije i automatizacije operativnog upravljanja serijskom proizvodnjom, magistarski rad, Sarajevo (1978)
- /7/ Smirnov V.K.: Universalnaja tehnologičeskaja osnastka v melko-serijnom proizvodstva. Mašinstroenije, Moskva (1973).
- /8/ Trudi Leningradskoj konferencii po tipizaciji tehnologičeskih procesov, pod obščej redakciej prof. A.P. Sokolovskogo. NKTM - SSSR, Leningrad - Moskva (1940).

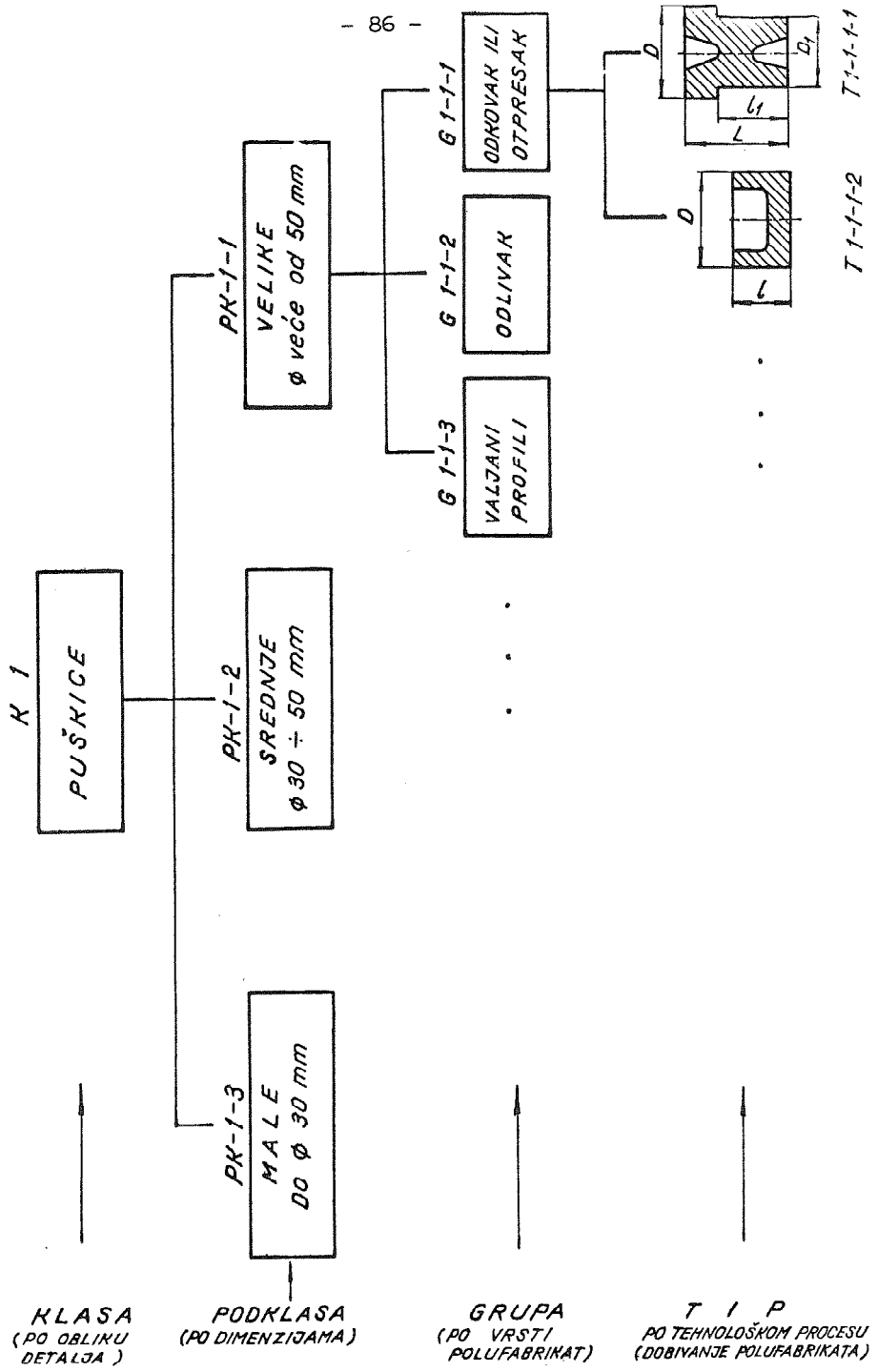
#### O. Peković

##### POSSIBILITIES OF CLASSIFYING TECHNOLOGICAL PROCESSES UNDER THE CONDITIONS OF GROUP PROCESSING OF DATA

This paper sets out a methodology for classifying technological processes under the conditions of group processing of data, which discards to a certain extent the shortcomings associated with previous classifications and systematisations of data, whilst basing itself on their specific and known principles.

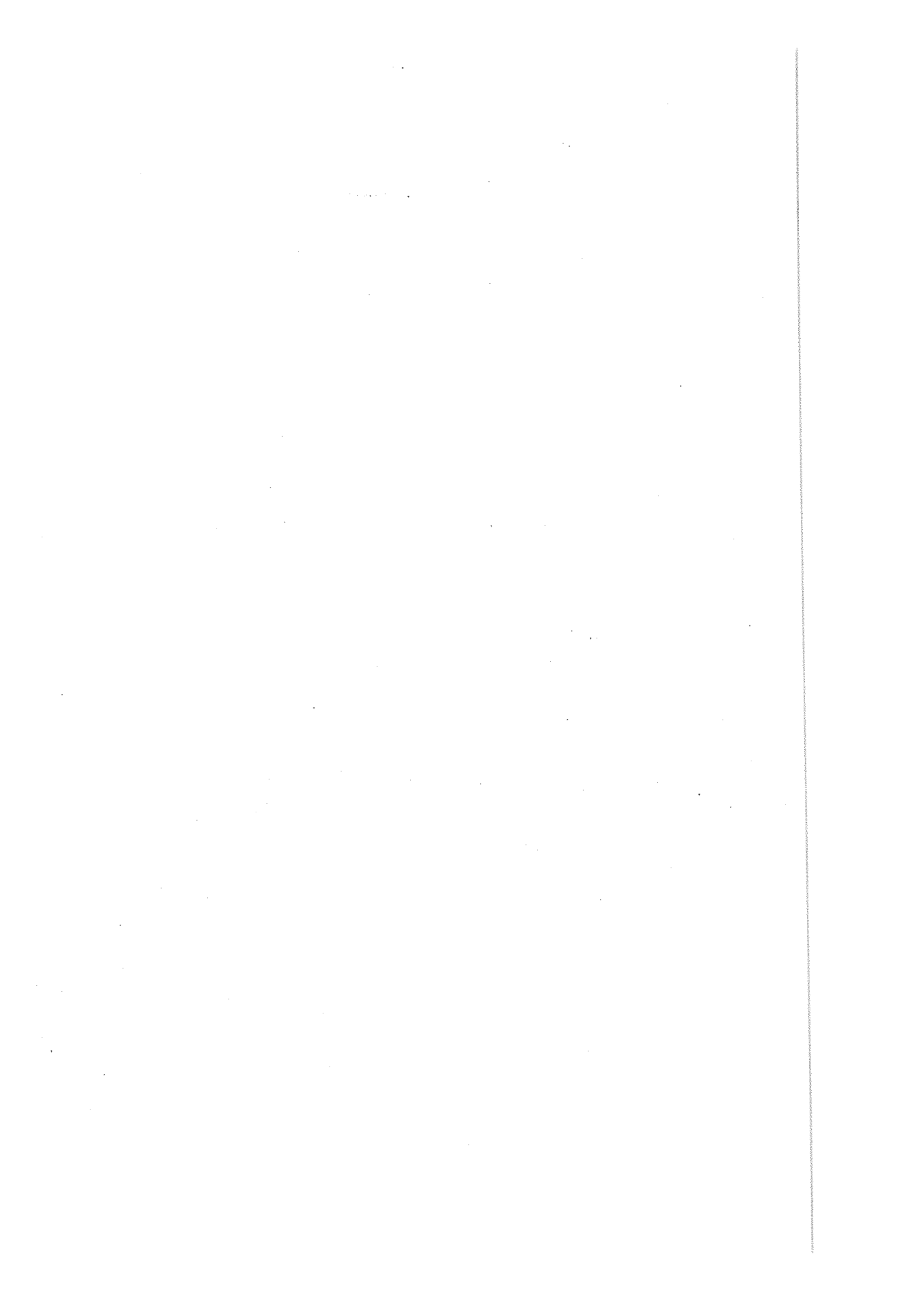


51.1



K L A S I F I K A C I J A

Mašinski fakultet Sarajevo		TIPSKI OPERACIONO-TEHNOLOŠKI LIST		Proizvodna linija	Klasa	Tip	Grupa			
Red.broj operacije	Naziv i skica operacije	D E T A L J								
		Br.detalja u proizvod.	№ detalja	Dimenzije	Materijal	Težina				
P O L U F A B R I K A T										
Br.komada iz poluf.		Dimenzije	Materij.	Tvrdoća	Težina					
O P R E M A ( R A D N O M J E S T O )										
Naziv	Model	Oznaka	Inv. br.	Snaga						
P R I S T R O J I I P O M O Ć N I U R E D J A J I										
N a z i v						Šifra				
Broj istovremeno obradj. komada		Veličina serije	Kategorije rada	Cijena u din.						
Red. broj faze	SADRŽAJ FAZE (ZAHVATA)	A L A T I			G A B A R I T I		R E Ž I M I O B R A D E		V R L J E M E O B R A D E	
		Stezni	Rezni	Mjerni	Prečnik ili širina	Dužina	$n$ [obr/min]	$s$ [mm/obr]	$f$ [mm]	broj pres. $z$
Vremenska norma za operaciju u min.				Pripremno završno vrijeme( $t_{pz}$ )		Izmjene i sa-držaj izmjena		Potpis		
Tehnološko ( $t_t$ )	Pomoćno ( $t_p$ )	Dodatno ( $t_d$ )	Komadno ( $t_k$ )							
NAPOMENA:				Razradio:						
				Normirao:						



#### XIV SA VETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980

J. Peklenik, J. Grum \*)

##### RAČUNALNIŠKO KLASIFICIRANJE OBDELOVANECV V PROIZVODNEM STROJNIŠTVU

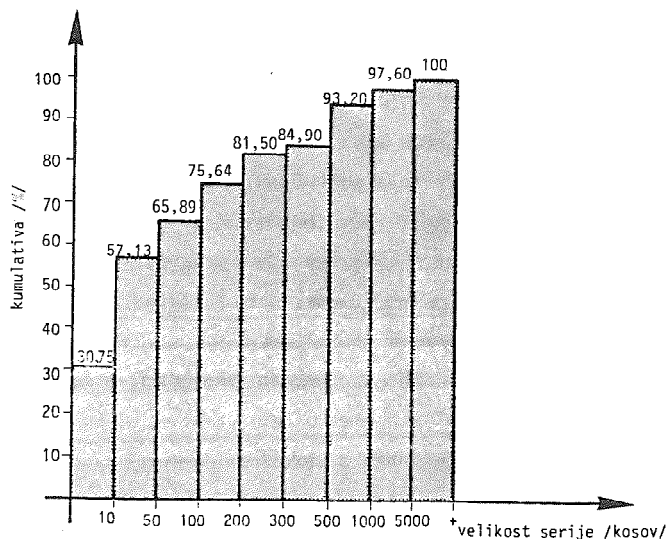
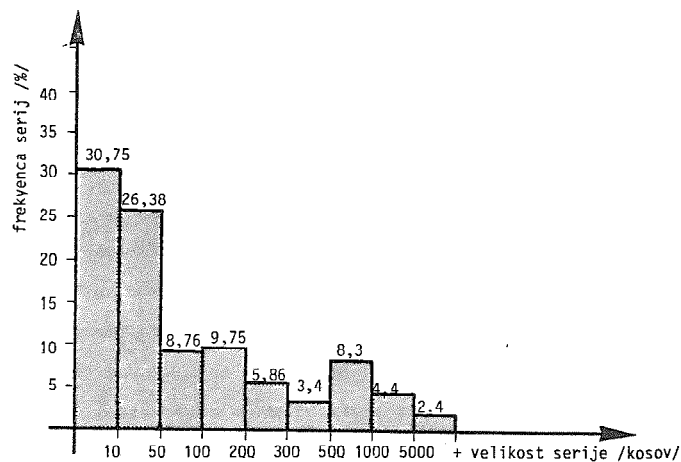
### 1. Uvod

V velikoserijski proizvodnji so bili v zadnjih dveh desetletjih doseženi veliki uspehi pri povečanju produktivnosti, predvsem zaradi povečanja mehanizacije in avtomatizacije proizvodnih procesov. Težje pa je to dosegljivo v posamični in maloserijski proizvodnji, ki jo zajema pretežni del strojne in elektroindustrije v svetu in tudi pri nas. Posamična in maloserijska proizvodnja zahteva zaradi svoje raznolikosti proizvodov tudi neprimerno večji predelani in posredovalni volumen podatkov, kot v velikoserijski proizvodnji. Zato težimo k zmanjšanju volumna informacij in s tem tudi k preglednejšemu ter poenostavljenemu pretoku informacij.

Na sliki 1 imamo prikazan histogram in kumulativno funkcijo v odvisnosti velikosti serij posameznih izdelkov. Ocene posameznih velikosti serij so izražene v procentih, ki seveda lahko nihajo okoli teh srednjih vrednosti. Popolna analiza stanja proizvodnih sistemov je nakazala nova pota v prirejanju vseh informacij po principu grupne tehnologije. Ta pa pogojuje zelo fleksibilne delovne sisteme, ki omogočajo hitro preorientacijo proizvodnega programa. Iz omenjenega lahko zaključimo, da so informacije izrednega pomena za industrijski razvoj. Zaradi tega je bilo potrebno razviti najrazličnejše teoretične metode za obravnavanje, analizo, sintezo in prenos informacij najrazličnejših vrst in oblik. Z razvojem računalniške in mikrofilmske tehnike so bile ustvarjene možnosti za vedno boljše in učinkovitejšo izgradnjo informacijskega sistema. Na sliki 2 je prikazan blokovni diagram kibernetičnega koncepta

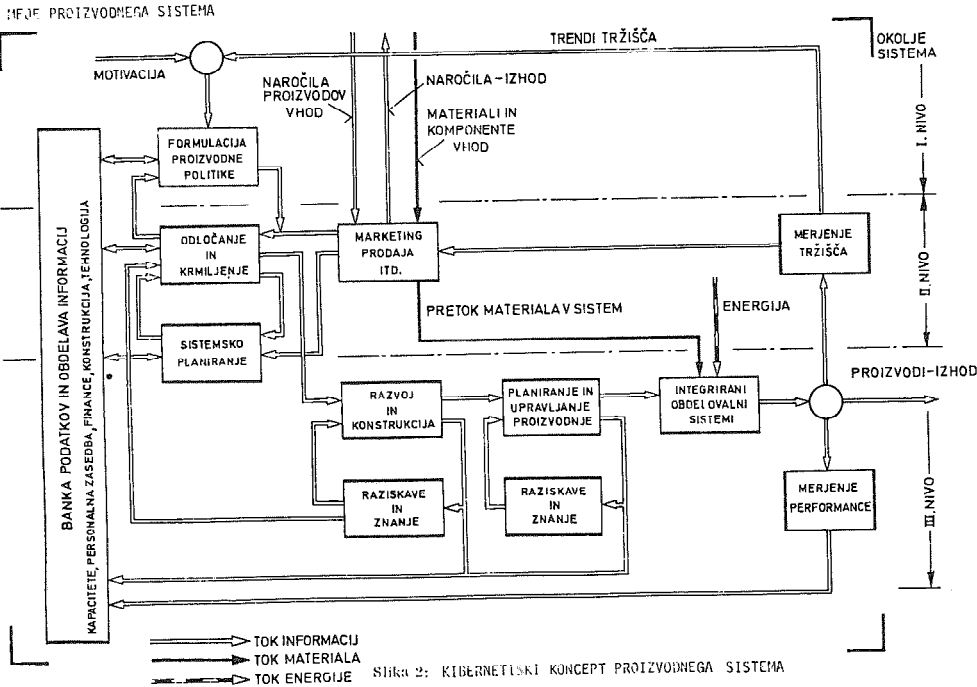
---

\*) Peklenik Janez, akademik, dr.-o. l. ing., profesor Fakultete za strojništvo, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Murnikova 2, Ljubljana  
Grum Janez, dr. dipl. ing., docent Fakultete za strojništvo, Univerza Edvarda Kardelja, Ljubljana, Murnikova 2, Ljubljana.



Slika 1 Relativna porazdelitev in kumulativa velikosti serij

produktivnega sistema s posameznimi podsistemi in krmilni nivoji vključno s pretokom informacij med njimi. Kot vhod v proizvodni sistem služi napovedovanje tržišča kot naključnim pojavom in predstavlja začetno motivacijo in preokupacijo delovnega kolektiva. Oba elementa sta bistvena za formulacijo krmiljenja proizvodne politike na prvem nivoju. Pri odločitvah se poslužujemo banke podatkov, ki omogoča



Shema 2: KIBERNETIŠKI KONCEPT PROIZVODNEGA SISTEMA

kvantificirati proizvodnjo z ozirom na kapacitete, personalne zasedbe, obstoječega kapitala, stanje sredstev in tehnologije v proizvodnem sistemu. Po izgotovljenih začetnih analizah se prenesejo informacije v II. krmilni nivo, kjer se odloča o strategiji, prioritetah, investicijah in drugih vprašanih pomembnih za uspešno delovanje proizvodnega sistema. Med obema blokoma pa obstaja povratna zveza, ki omogoča smiselne korekture v nadrejenem podsistemu. Vse potrebne informacije se nahajajo v banki podatkov, ter v podsistemu marketinga, prodaje in nabave, ki posredujejo pretekle in žive informacije potrebne za odločanje o proizvodnji. Marketing pa je povezan tudi s podsistemom strateškega planiranja, katerega naloga je izdelati grobe proizvodne plane za daljše obdobje (letno, dvoletno, petletno), plan investicij, plan kadrov in s tem vpliva na razvoj celotnega proizvodnega sistema. Odločanje o proizvodnji se nato posreduje na III. krmilni nivo v obliki primernih informacij za podsistem razvoja in konstrukcije. Zaključeno zanko tvorijo raziskave in znanje ter



konstruiranje za proizvodnjo v povezavi z banko geometrijskih in tehnoloških podatkov in v končni fazi tudi z blokom odločanja in krmiljenja. V tem podsistemu se izdelajo konstrukcijske risbe proizvodov, ki predstavljajo geometrijske ali konstrukcijske informacije. Te informacije so lahko na risbi ali mikrofilmskih karticah in se v takšni obliki posredujejo podsistemu planiranja in priprave proizvodnje. Posamezni podsistemi so povezani s konstrukcijsko-tehnoloških informacijskim sistemom, ki vsebuje vse potrebne datoteke namenjene za razvijalce, projektante oziroma konstrukterje, tehnologe in planerje proizvodnje.

Za konstrukcijski proces potrebujemo potrebne informacije, ki vsebujejo algoritme za konstruiranje z računalnikom, odgovarjajoče programe za izračun posameznih komponent, variant, optimiranje konstrukcij ipd. Na III.nivoju se izvaja fino planiranje izdelave posameznih komponent, določajo se alternativni tehnološki postopki, zaporedje operacij, obdelovalni stroji, orodja, vpenjala, merila ipd. Ker je naša razprava omejena na tehnične in tehnološke aspekte proizvodnje, nismo poudarili posebne pozornosti finančnemu podsistemu, ki predstavlja del zaključenega kroga v koncipiranju proizvodne politike ter odločanja in krmiljenja celotnega proizvodnega sistema. Računalniku pripada tako v proizvodnem strojništvu izjemen pomen saj omogoča razvoj informacijskega sistema in banke podatkov, krmilne in obdelovalne tehnologije, delovnih, transportnih, merilnih in montažnih sredstev, kar pa vodi k fleksibilni avtomatizaciji. Banka podatkov bo s pomočjo centralnega procesorja zaživela šele takrat, ko bodo vse vstopajoče informacije v proizvodni sistem primerno in enoznačno kodirane. Glavno vodilo pri snovanju banke podatkov je uvažanje grupno tehnoloških principov, ki naj se odražajo na različnih nivojih proizvodnega sistema a največji prihranek je na III.krmilnem nivoju. Znižanje lastne cene oziroma zvečanje dohodka je vezano na poenotenje surovin in polizdelkov, poenotenje oblik in izmer, poenotenje funkcijskih elementov in lastnosti izdelkov, uvažanje segmentnega principa konstruiranja, poenotenje kontrolnih in tehnoloških operacij, uvažanje skupinskih vpenjalnih in merilnih pripomočkov itd. Ti racionalizacijski ukrepi pa zmanjšujejo volumen informacij, poenostavljajo pretok informacij oboje pa omogoča boljši pregled nad proizvodnjo.

## 2. Razvoj grupne tehnologije

Prvi poskusi uvažanja grupne tehnologije segajo v leto 1937, ko je prof. Sokolovski predložil metodo tehnološke klasifikacije. Bistvo te klasifikacije je v tem,

da se zbirajo obdelovanci v skupine z ozirom na tehnološko podobnost. Na osnovi tega je izdelal shemo za razvrščanje proizvodov na razrede, podrazrede, grupe in tipske skupine. Sokolovski je definiral tipsko skupino z množico delov, ki imajo skupne tehnološke operacije. Klasifikator ima 14 razredov in sicer osi, cilindre, diske, ..., navojna vretena in polže. Ta klasifikacija je bila uporabljena v pretežni meri za velikoserijsko in masovno proizvodnjo, medtem ko za maloserijsko in srednjoserijsko proizvodnjo ni bil dovolj elastičen.

Nadaljnji razvoj je šel v smeri tipske tehnologije procesov in sicer z ozirom na tehnološko in kasneje na geometrijsko podobnost. Zadnji pristop, ki je najinteresantnejši pa zajema geometrijske in tehnološke informacije. Ti sistemi so bolj komplicirani in se njihove uporabe ne more zamisliti brez elektronskega računalnika. Najbolje se je v industrijski praksi uveljavila metodologija grupne tehnologije, ki jo je predložil S.P. Mitrofanov. Pri tej metodi se tvorijo grupe obdelovancev na osnovi zbira G in T informacij. Za vsako grupo obdelovancev se projektira realni ali namišljeni kompleksni del, ki vsebuje vse geometrijske in tehnološke elemente posameznih predstavnikov. Zanj se projektira tehnološki postopek, izdelajo se prirejena vpenjalna in merilna sredstva itd. Glavni namen te klasifikacije je posamično, maloserijsko in srednjoserijsko proizvodnjo pretvoriti na aditivno velikoserijsko proizvodnjo, s tem pa poboljšamo kvaliteto informacij, poenostavimo in skrajšamo tok informacij, skrajšamo neproduktivne čase, pocenimo pomožno opremo, itd., kar pa vpliva na končno ceno izdelka.

Delo Mitrofanova je vzpodbudilo veliko novih idej in pristopov pri organizaciji banke G in T informacij predvsem v Evropi in na Japonskem. V Nemčiji je pionirsko delo opravil prof. H. Opitz s svojimi sodelavci od študijskih analiz do najrazličnejših aplikacij v industrijsko življenje. V NDR deluje na novi sistematiki večja skupina v Karl-Marx-Stadtu, Dresdenu in Jeni. Pomembni pa so tudi uspehi doseženi v ČSSR, kjer dela večja skupina na inštitutu za obdelovalne stroje VOUSO in tovarni vodnih strojev ČKD Blansko. Različni teoretični in aplikativni poskusi so bili izvedeni tudi v Angliji, Poznane so realizacije GT pristopa v industrijo ventilov (Serk Audes), proizvodnji feročnih oblog (Ferodo), proizvodnji obdelovalnih strojev (Herbert Machine Tools), proizvodnji tekstilnih strojev, črpalk, elektromotorjev (Mather & Platt Ltd.), itd. /1-15/. Grupno tehnološka sistematika se je močno uveljavila tudi v našem celotnem prostoru, o čemer pričajo različna poročila

/16, 17/.

Iz omenjenega pregleda lahko povzamemo, da imajo klasifikacijski sistemi vključene G in T informacije prirejene za opisovanje rotacijskih in nerotacijskih obdelovancev. Karakteristično pa je, da so vsi klasifikacijski sistemi oblikovani na empirični osnovi, tako v določevanju dolžine klasifikacijske številke, kot v opisovanju G in T informacij, pomembnih za definicijo skupin. Odločanje o posameznih klasifikacijskih mestih prevzame delavec, ki po svoji presoji transformira G in T informacije o obdelovancih v številčni zapis. Kot se je izkazalo pa so takšni opisi preveč subjektivni in prepuščajo posamezniku, da presoja o pomembnosti informacij. Da bi se izognili omenjenim slabostim subjektivnega odločanja in, da bi istočasno povečali produktivnost dela ter zanesljivost ocene podobnosti G in T informacij smo iskali nove poti o čemer bomo poročali v tem sestavku.

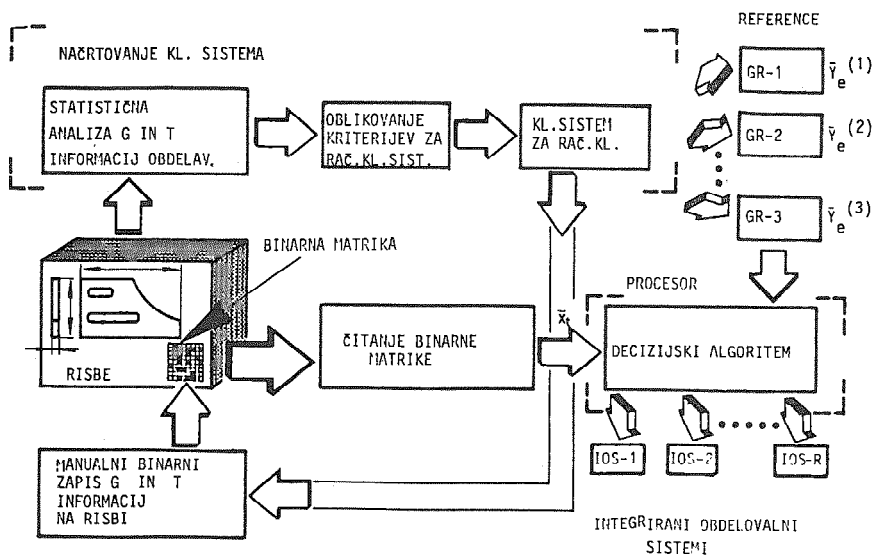
### 3. Kriteriji in metode računalniške klasifikacije

Na osnovi dosedanjih izkušenj pri projektiranju informacijskih sistemov za obdelovance na osnovi desetiških klasifikacijskih sistemov smo prišli do naslednjih kriterijev pri oblikovanju računalniške klasifikacije:

- izdelani klasifikacijski sistem za računalniško vrednotenje naj bo uporaben v celotnem III.krmilnem nivoju in naj vsebuje G in T informacije;
- nuditi mora boljše ali vsaj enake rezultate kot manualno klasificiranje;
- nov način transformacije G in T informacij o obdelovancih naj zmanjša subjektivne vplive;
- kodirane informacije naj bodo enoznačno definirane s klasifikacijskim sistemom.

Na sliki 3 imamo v shematični obliki prikazane vse glavne aktivnosti pri pripravi računalniške klasifikacije. Te so:

- statistična analiza G in T informacij na obdelovancih in oblikovanje širšega klasifikacijskega sistema;
- kodiranje delavniških risb in statistična analiza G in T informacij po širšem klasifikacijskem sistemu;
- iskanje karakterističnih obdelovancev oziroma predstavnikov posameznih skupin (reference);
- razvoj in testiranje matematičnega modela za razpoznavanje obdelovancev posredno preko matrično kodiranih zapisov.

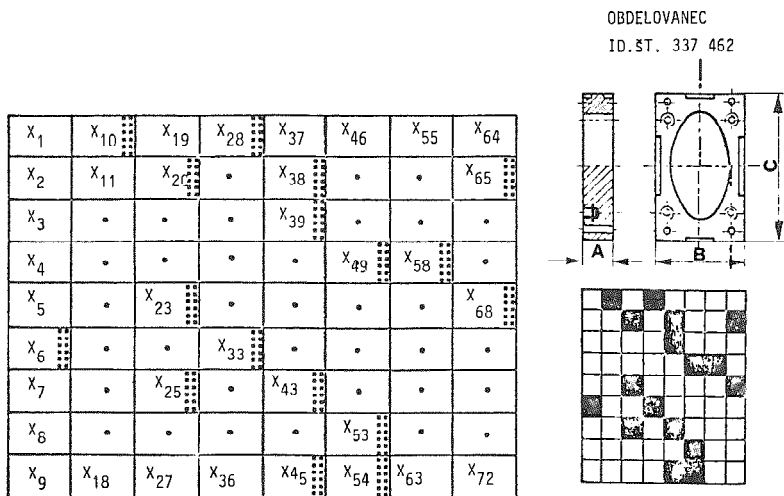


Slika 3 Računalniško klasificiranje nerotacijskih obdelovancev

Na nivoju načrtovanja klasifikacijskega sistema je potrebno najprej opraviti statistično analizo o G in T informacijah na obdelovancih. Sledila je izgradnja širšega klasifikacijskega sistema s 132 opisanimi mesti /22/. Širši klasifikacijski sistem je služil tudi kot osnova za zbiranje referenc; to so obdelovanci z najfrekventnejšimi informacijami in služijo v procesu odločanja za primerjavo s predloženimi vzorci za klasifikacijo. Z ozirom na pestrost nerotacijskih obdelovancev smo izbrali 11 referenc z namenom, da bomo lažje ocenili pravilnost izbrane metode. Rezultati tega dela raziskav so zaključeni z izdelavo 72 mestnega klasifikacijskega sistema za nerotacijske obdelovance, ki je v pisani obliki prikazan v tabeli 1. To število informacij damo skupaj z identifikacijsko številko na 80 mestno računalniško kartico. Za praktično delo pa imamo dodatno izdelan katalog z opisi in pojasnili posameznih karakteristik. Na sliki 4 imamo za določen nerotacijski obdelovanec z identifikacijsko številko 337 462 (slika 4a) izpolnjeno informacijsko matriko s črnimi in belimi polji (slika 4b). Informacijsko matriko izpolnimo na osnovi klasifikacijskega sistema po tabeli 1, in po sistematiki prikazani na sliki 4c. Binarno matriko tvori sam konstrukter tako, da vnaša v matrična polja znake 1 ali 0, oziroma označi prisotne informacije s črnimi polji, neprisotne pa z belimi polji.

1	RAZRED OBDELOVANCA	ROTACIJSKI OBDELOVANCI Z RAZMERJEM $L/D \leq 0,5$	1	
2		Z RAZMERJEM: $0,5 < L/D < 3,0$	2	
3		Z RAZMERJEM $L/D \geq 3,0$	3	
4		Z ODSTOPKI IN RAZMERJEM $L/D \leq 2,0$	4	
5		Z ODSTOPKI IN RAZMERJEM $L/D > 2,0$	5	
6		NEROTACIJSKI OBDELOVANCI PLOŠČATI Z RAZMERJEM $A/B \leq 3,0$ $A/C \geq 4$	6	
7		DOLGI Z RAZMERJEM $A/B > 3,0$	7	
8		KUBIČNI Z RAZMERJEM $A/B \leq 3,0$ $A/C < 4$	8	
9		SPECIJNI DELI	9	
10		PREHED GLAVNA OBL. ZDVAJ	PRAVOKOTNE ALI KVADRATNE OBLIKE	10
11	TRIKOTNE OBLIKE		11	
12	OVALNE ALI KROŽNE OBLIKE		12	
13	DOLJUBNA OBLIKA		13	
14	ZAVITI ALI UKRIVLJENI DELI V ENI RAVNINI		14	
15	V DVEH RAVNINAH		15	
16	V TREH RAVNINAH		16	
17	STOPNICE V ENI SMERI		17	
18	STOPNICE V DVEH SMEREH		18	
19	STOPNICE IZMENIČNE		19	
20	ČISTNI TIPOVI	ZLEBOVI ALI UTOPI	20	
21		VELIKA POSNETJA	21	
22		KROŽNI ALI OSTALI OBLIKOVNI ELEMENTI	22	
23		BREZ NAVOJEV	23	
24		PRIKTRDILNI ALI GIBALNI NAVOJ	24	
25		BREZ OZOBJA	25	
26		Z OZOBJEM	26	
27		BREZ OBLIKOVNIH ELEMENTOV	27	
28		SLEDA IZVRTINA V ENI ALI VEČ SMEREH, GLADKA IZVRTINA	28	
29		ENOSTRANSKO STOPNIČASTA IZVRTINA	29	
30	DVOSTRANSKO STOPNIČASTA IZVRTINA	30		
31	IZMENIČNO STOPNIČASTA IZVRTINA	31		
32	EL. ZAVOJNI	OKROGLE IZVRTINE	32	
33		OSTALE OBLIKE IZVRTIN	33	
34		ZLEBOVI ALI UTOPI	34	
35		VELIKA POSNETJA	35	
36		KROŽNI ALI OSTALI OBLIKOVNI ELEMENTI	36	
37		BREZ NAVOJEV	37	
38		PRIKTRDILNI ALI GIBALNI NAVOJ	38	
39		BREZ OZOBJA	39	
40		Z OZOBJEM	40	
41		EL. ZNORNA	BREZ OBDELAVE ČELNIH PLOŠKEV	41
42	NAGNjeno OBDELANA ČELNA PLOŠKEV, MAJHNI SKOKI		42	
43	ZAREZE IN UTOPI NA ČELNI PLOŠKI		43	
44	POSEBNA OBDELAVA ČELNE PLOŠKVE		44	
45	BREZ OZOBJA		45	
46	Z OZOBJEM		46	
47	BREZ POMOŽNIH IZVRTIN		47	
48	AKSIJALNE IZVRTINE BREZ DELITVE		48	
49	RADIALNE IZVRTINE Z DELITVIJO		49	
50	RADIALNE IZVRTINE BREZ DELITVE		50	
51	RADIALNE IZVRTINE Z DELITVIJO	51		
52	IZVRTINE POD POLIURNIM KOTOM	52		
53	POMOŽNE IZVRTINE	NAJVEČJA DIMENZIJA POD 30 mm	53	
54		NAJVEČJA DIMENZIJA OD 50 - 250 mm	54	
55		OD 250 - 500 mm	55	
56		OD 500 - 1000 mm	56	
57	DIMEZIJE	OD 1000 mm NAVZGOR	57	
58		GRU PA JEKEL	01 ... 25	
59		GRU PA SIVIH, TRDIH TEMPRANIH LITIN	26 ... 30	
60		GRU PA JEKELNIH LITIN	31 ... 32	
61		GRU PA NEŽELEZNIH KOTNI IN NIHI ZLITIN	33 ... 66	
62		GRU PA NEKOVINSKIH MATERIALOV	67 ... 79	
63		GRU PA SINTRANIH MATERIALOV	80 ... 83	
64		BREZ POSEBNIH ZAHTEV O NATANČNOSTI	IT16 ... IT12	
65		SREDNJA NATANČNOST	IT11 ... IT8	
66		POVEČANA NATANČNOST	IT8 ... IT4	
67	NATANČNOSTI	VALJANA, VLEČENA PALICA, CEVI	67	
68		PLOČEVINA, TRAKOVI, PLOŠČE	68	
69		LITI SUROVCI	69	
70		KOVANI SUROVCI	70	
71		SESTAVIENE NELOČLJIVE ZVEZE	71	
72		OSTALO	72	
73		MATERIALE		73
74				74
75				75
76				76
77			77	
78			78	
79			79	
80			80	
81			81	
82			82	

Tabela 1: Klasifikacijski sistem za nerotacijske obdelovance



Slika 4 Postopek nastajanja informacijskih matrik za nerotacijske obdelovance

Za izbrani predmet sprejmejo naslednja polja vrednost 1 (črna polja);  $x_6$ ,  $x_{10}$ ,  $x_{20}$ ,  $x_{23}$ ,  $x_{25}$ ,  $x_{28}$ ,  $x_{33}$ ,  $x_{38}$ ,  $x_{39}$ ,  $x_{43}$ ,  $x_{45}$ ,  $x_{49}$ ,  $x_{53}$ ,  $x_{54}$ ,  $x_{58}$ ,  $x_{65}$ ,  $x_{67}$ . Informacijsko matriko izpolnjujemo na delavniških risbah, ki jo v celoti prenesemo s pomočjo čitalne naprave v računalnik ali pa posredno preko prepisa teh informacij na računalniške formularje za podatke. Ti podatki se kasneje vnesejo v spominsko enoto za nadaljnje procesiranje oziroma grupiranje.

#### 4. Potencialne funkcije v procesu odločanja

Na osnovi praktičnih izkušenj lahko ugotovimo, da empirično klasificiranje in grupiranje G in T informacij pripelje do težav predvsem zaradi neprimernih referenčnih kriterijev. Ta problematika je prisotna tudi na drugih področjih kot so medicina, biologija, geologija itd., kjer se prav tako pojavijo različne geometrijske oblike, ki jih je potrebno razvrščati v skupine. Vzorce je potrebno s pomočjo matematičnih metod primerno popisati in nato definirati njihovo stopnjo podobnosti. S pomočjo teorije razpoznavanja vzorcev so bili razviti različni kriteriji za ocenjevanje podobnosti najrazličnejših vzorcev. Uvodne raziskave so pokazale, da je teorija potencialnih funkcij, ki so jo razvili in testirali na različnih tipih vzorcev, zelo primerna za računalniško razpoznavanje vzorcev /18-20/.

Klasifikacijo izvedemo na osnovi primerjanja posameznih matričnih kodnih zapisov obdelovancev  $\bar{X}_t$  in referenc  $\bar{Y}_e^{(r)}$  z metodo potencialnih funkcij. Obdelovance, ki jih predložimo za klasifikacijo označimo z  $q$ - dimenzionalnimi vektorji  $\bar{X}_t = (x_{t1}, x_{t2}, \dots, x_{tq})$ , s katerimi popišemo  $G$  in  $T$  karakteristike na celotni množici  $t = 1, \dots, m$ . Reference ali karakteristični predstavniki skupin so namišljeni ali realni obdelovanci, ki jih definiramo na osnovi statistične analize. Reference popišemo prav tako z  $G$  in  $T$  karakteristikami na celotni množici  $r = 1, \dots, R$  z  $q$ - dimenzionalnimi vektorji  $\bar{Y}_e^{(r)} = (y_{e1}^{(r)}, y_{e2}^{(r)}, \dots, y_{eq}^{(r)})$ .

Na sliki 5 je prikazana metodologija računalniške klasifikacije in poteka po naslednji poti:

- čitanje binarnih matrik  $\bar{Y}_e^{(r)}$  in prenos signala 1 in 0 v računalnik;
- čitanje binarnih matrik  $\bar{X}_t$  in prenos signala 1 in 0 v računalnik;
- računalniško primerjanje po metodi potencialnih funkcij in izračun karakteristik vrednosti;
- normalizacija karakterističnih vrednosti med 1 in 0 ter razvrščanje v skupine.

V delu /25/ so bile testirane različne oblike potencialnih funkcij z namenom, da bi odgovorili na vprašanje, katera bi bila ugodnejša. Funkcija mora zadostiti naslednjim zahtevam:

- funkcija naj bo v celotnem intervalu pozitivna;
- funkcija naj bo simetrična in enakomerno zvezna;
- naj bo odvisna samo od razdalje  $\delta$ ;
- naj sprejme maksimalno vrednost, ko je razdalja  $\delta = 0$ .

Potencialna funkcija, ki zadošča gornjim pogojem in je tudi uporabljena v raziskavi in ima naslednjo obliko:

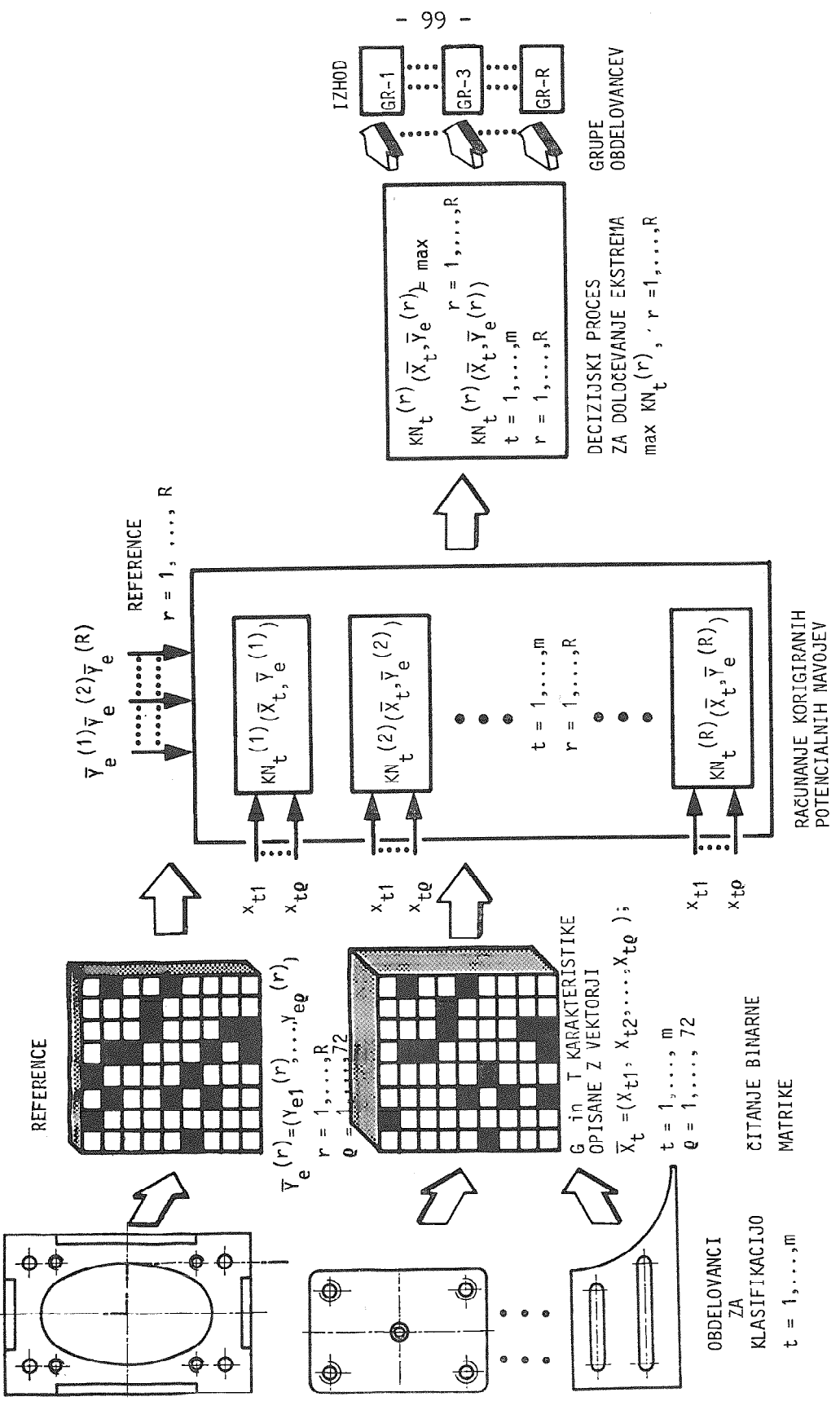
$$K = \frac{1}{1 + \alpha \delta^2(x_{ti1}, y_{ei2}^{(r)})} \quad (1)$$

ali krajše

$$K(\delta) = K(x_{ti1}, y_{ei2}^{(r)}) \quad (2)$$

$\alpha$  - parameter, ki definira obliko potencialne funkcije. Najugodnejše rezultate razpoznavanja dobimo, če izberemo  $\alpha = 0,5$ ;

$\delta = \delta(x_{ti1}, y_{ei2}^{(r)})$  - razdalja med točko izvora potenciala na referenci  $y_{ei2}^{(r)}$  in odziva na vzorce predložene za klasifikacijo  $x_{ti1}$ .



Slika 5 Metodologija računalniške klasifikacije nerotacijskih obdelovancev

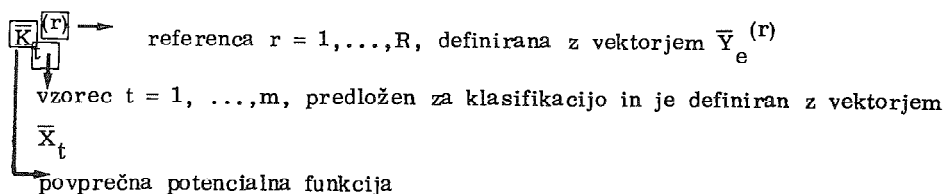


#### 4.1. Izračun povprečne potencialne funkcije

V teoriji razpoznavanja vzorcev izvedemo računanje potencialnih funkcij med komponentami vektorja  $x_{ti1}$ ;  $t = 1, \dots, m$ ;  $i_1 = 1, \dots, \varrho$ ; predloženega za klasifikacijo in komponentami vektorja reference  $y_{ei2}$ ,  $r = 1, \dots, R$ ;  $i_2 = 1, \dots, \varrho$ ; kot sledi:

$$K_t^{*(r)} = \sum_{i_1=1}^{\varrho} \sum_{i_2=1}^{\varrho} \frac{x_{ti1} \cdot y_{ei2}^{(r)}}{1 + a \delta^2(x_{ti1}, y_{ei2}^{(r)})} \quad (3)$$

Da preprečimo vpliv različnega števila informacij med vzorci predloženimi za klasifikacijo  $\bar{X}_t$  in referencami  $\bar{Y}_e^{(r)}$  izračunamo povprečno potencialno funkcijo  $\bar{K}_t^{(r)}$ , ker nam omogoča ugotavljanje realne stopnje podobnosti.



$$\bar{K}_t^{(r)} = \frac{1}{M_t \cdot M_r} \sum_{i_1=1}^{\varrho} \sum_{i_2=1}^{\varrho} \frac{x_{ti1} \cdot y_{ei2}^{(r)}}{1 + a \delta^2(x_{ti1}, y_{ei2}^{(r)})} \quad (4)$$

kjer je

$$M_t = \sum_{i_1=1}^{\varrho} x_{ti1} \quad (5)$$

$$M_r = \sum_{i_2=1}^{\varrho} y_{ei2}^{(r)} \quad (6)$$

Iz izraza (4) lahko zaključimo, da moramo najprej določiti vse povprečne potencialne funkcije  $\bar{K}_t^{(r)}$  med vsemi referencami  $r = 1, \dots, R$  in predloženim vzorcem za klasifikacijo. Tako dobimo:

$$\bar{K}_t^{(1)}; \bar{K}_t^{(2)}; \dots, \bar{K}_t^{(R)} \quad (7)$$

Decizijski proces izvedemo z iskanjem ekstrema (maksimuma) povprečne potencialne funkcije in nam pove, v katero skupino  $r = 1, \dots, R$  pripada naš obdelovanec predložen za klasifikacijo  $\bar{X}_t$ .

$$\bar{K}_t^{(r)} = \bar{K}(\bar{X}_t, \bar{Y}_e^{(r)}) = \max_{r=1, \dots, R} \frac{1}{M_t \cdot M_r} \sum_{i_1=1}^{\varrho} \sum_{i_2=1}^{\varrho} \frac{x_{ti1} \cdot y_{ei2}^{(r)}}{1 + a \delta^2(x_{ti1}, y_{ei2}^{(r)})} \quad (8)$$

#### 4.2. Izračun potencialnih nivojev

Po enačbi (8) dobimo povprečne potencialne funkcije  $\bar{K}_t^{(r)}$ , ki jih zelo težko med seboj primerjamo. Za poboljšano ocenjevanje podobnosti dobljenih rezultatov izvedemo normiranje. Potencialni nivo  $N_t^{(r)}$  je definiran s kvocientom med povprečno potencialno funkcijo  $\bar{K}_t^{(r)}$  in maksimalno povprečno potencialno funkcijo  $\bar{K}_e^{(r)}$ , ki jo dobimo, če reference  $\bar{Y}_e^{(r)}$  primerjamo med seboj.

$$N_t^{(r)} = \frac{\bar{K}_t^{(r)}}{\bar{K}_e^{(r)}} \quad (9)$$

$$\bar{K}_e^{(r)} > \bar{K}_t^{(r)} \quad \text{sledi} \quad N_t^{(r)} > 1 \quad (10)$$

$$\bar{K}_e^{(r)} = \bar{K}_t^{(r)} \quad \text{če je} \quad \bar{X}_t = \bar{Y}_e^{(r)} \quad (11)$$

potem sledi

$$N_t^{(r)} = N_e^{(r)} = 1 \quad (12)$$

$$\bar{K}_t^{(r)} = \frac{1}{M_r \cdot M_t} \cdot \sum_{i_1=1}^q \sum_{i_2=1}^q \frac{x_{ti1} \cdot y_{ei2}^{(r)}}{1 + \alpha \delta^2(x_{ti1}, y_{ei2}^{(r)})} \quad (13)$$

$$\bar{K}_e^{(r)} = \frac{1}{M_r \cdot M_r} \sum_{i_1=1}^q \sum_{i_2=1}^q \frac{y_{ei1}^{(r)} \cdot y_{ei2}^{(r)}}{1 + \alpha \delta^2(x_{ti1}, y_{ei2}^{(r)})} \quad (14)$$

Iz izraza (13) in (14) sledijo potencialni nivoji med referencami  $\bar{Y}_e^{(r)}$  in vzorci predloženi za klasifikacijo  $\bar{X}_t$  in dobimo:

$$N_t^{(1)}; N_t^{(2)}; \dots; N_t^{(R)}; \quad (15)$$

Decizijski proces izvedemo z iskanjem ekstremnega (maksimalnega) potencialnega nivoja in nam pove, v katero skupino  $r = 1, \dots, R$  pripada naš vzorec za klasifikacijo  $\bar{X}_t$ .

$$N_t^{(r)} = \max_{r=1, \dots, R} \frac{\bar{K}_t^{(r)}}{\bar{K}_e^{(r)}} \quad (16)$$

#### 4.3. Korigirani potencialni nivo

V delu /25/ so bili analizirani in realizirani različni pristopi razpoznavanja vzorcev na osnovi potencialnih funkcij. Izkazalo se je, da nam korekcije, ki jih uvedemo, še nekoliko poboljšamo rezultate. Najugodnejše rezultate smo dobili s korekcijskim faktorjem  $\varphi$ , predvsem zaradi enakomerno padajočih vrednost nivojev, če pada podobnost med referenco in vzorcem za klasifikacijo. Vrednosti se gibljejo

od 0,20 ... 1,00, pri čemer dobimo pri pogoju  $\bar{X}_t = \bar{Y}_e^{(r)}$  vrednosti 1,00, z zmanjševanjem podobnosti pa le-ta pada.

Korigirano povprečno potencialno funkcijo  $\bar{K}_t^{(r)}$  kot merilo podobnosti izračunamo po naslednji enačbi:

$$\bar{K}_t^{(r)} = \frac{\varphi_t^{(r)}}{M_t \cdot M_r} \sum_{i_1=1}^{\varrho} \sum_{i_2=1}^{\varrho} \frac{x_{ti1} \cdot y_{ei2}^{(r)}}{1 + \alpha \delta^2(x_{ti1}, y_{ei2}^{(r)})} \quad (17)$$

$$t = 1, \dots, m$$

$$i_1 = 1, \dots, \varrho$$

$$i_2 = 1, \dots, \varrho$$

V primeru, da računamo korigirani potencialni nivo  $KN_t^{(r)}$  moramo vpeljati poleg korekcijskega faktorja  $\varphi_t^{(r)}$  še faktor  $\varphi_e^{(r)}$  in izračunati

$$\bar{K}_e^{(r)} = \frac{\varphi_e^{(r)}}{M_r \cdot M_r} \sum_{i_1=1}^{\varrho} \sum_{i_2=1}^{\varrho} \frac{y_{ei1}^{(r)} \cdot y_{ei2}^{(r)}}{1 + \alpha \delta^2(y_{ei1}^{(r)}, y_{ei2}^{(r)})} \quad (18)$$

Iz izraza (17) in (18) pa sledi korigirani potencialni nivo

$$KN_t^{(r)} = \frac{\varphi_t^{(r)}}{\varphi_e^{(r)}} N_t^{(r)} = \lambda_t^{(r)} N_t^{(r)} \quad (19)$$

Tudi v tem primeru lahko ugotovimo, da so vrednosti  $KN_t^{(r)}$  vedno manjše od 1 ali v izjemnem primeru enake 1. Enakost velja pri pogoju, ko je  $\bar{X}_t = \bar{Y}_e^{(r)}$ . Po enačbi (19) izračunamo vse korigirane potencialne nivoje med vzorcem predloženemu za klasifikacijo  $\bar{X}_t$  in referencami  $\bar{Y}_e^{(r)}$ ;  $r = 1, \dots, R$ , kot sledi:

$$KN_t^{(1)} ; KN_t^{(2)} ; \dots ; KN_t^{(R)} \quad (20)$$

V splošnem lahko zapišemo, da predloženi vzorec za klasifikacijo  $\bar{X}_t$  uvrstimo v tisti razred  $r = 1, \dots, R$  za katerega dobimo maksimalno korigirani potencialni nivo:

$$KN_t^{(r)} = \max_{r=1, \dots, R} \frac{\varphi_t^{(r)}}{\varphi_e^{(r)}} N_t^{(r)} = \max_{r=1, \dots, R} \lambda_t^{(r)} N_t^{(r)} \quad (21)$$

#### 4.4. Določitev korekcijskih faktorjev

Korekcijski faktorji podajajo povezavo med vzorcem  $\bar{X}_t$  in referenco  $\bar{Y}_e^{(r)}$ . Za izračun je potrebno vpeljati nove vektorje  $\dot{\bar{X}}_t$  in  $\dot{\bar{Y}}_e^{(r)}$  po naslednjem pravilu:

$$\bar{X}_t \cdot \dot{\bar{X}}_t = 0 \quad \text{in} \quad \bar{Y}_e^{(r)} \cdot \dot{\bar{Y}}_e^{(r)} = 0 \quad (22)$$

To pomeni, da vektorja  $\dot{\bar{X}}_t$  in  $\dot{\bar{Y}}_e^{(r)}$  prejmeta ravno nasprotno linearne znake kot jih imata vektorja  $\bar{X}_t$  in  $\bar{Y}_e^{(r)}$ .

Vpeljemo naslednje skalarne produkte:

$$\begin{aligned} A &= \bar{X}_t \cdot \bar{Y}_e^{(r)} & E &= \bar{Y}_e^{(r)} \cdot \bar{Y}_e^{(r)} \\ B &= \bar{X}_t \cdot \dot{\bar{Y}}_e^{(r)} & F &= \dot{\bar{X}}_t \cdot \dot{\bar{X}}_t \\ C &= \dot{\bar{X}}_t \cdot \bar{Y}_e^{(r)} & G &= \dot{\bar{Y}}_e^{(r)} \cdot \dot{\bar{Y}}_e^{(r)} \\ D &= \bar{X}_t \cdot \dot{\bar{X}}_t & H &= \dot{\bar{X}}_t \cdot \dot{\bar{Y}}_e^{(r)} \end{aligned} \quad (23)$$

Definiramo posplošeno število istoležnih komponent (K) med vektorjem  $\bar{X}_t$  in  $\bar{Y}_e^{(r)}$ , ki sprejmeta enake binarne znake

$$K = A + H = \bar{X}_t \cdot \bar{Y}_e^{(r)} + \dot{\bar{X}}_t \cdot \dot{\bar{Y}}_e^{(r)} \quad (24)$$

Na enak način definiramo tudi posplošeno število istoležnih komponent (L), ki sprejmeta različne binarne znake

$$L = C + B = \dot{\bar{X}}_t \cdot \bar{Y}_e^{(r)} + \bar{X}_t \cdot \dot{\bar{Y}}_e^{(r)} \quad (25)$$

Potem lahko izračunamo korekcijski faktor med vektorjem  $\bar{X}_t$  in  $\bar{Y}_e^{(r)}$ , in sicer:

$$\varphi_t^{(r)} = \frac{A}{A + K + L} \quad (26)$$

in

$$\varphi_e^{(r)} = \frac{E}{2E + H + G} \quad (27)$$

Iz izrazov (26) in (27) pa lahko izračunamo korekcijo  $\lambda_t^{(r)}$

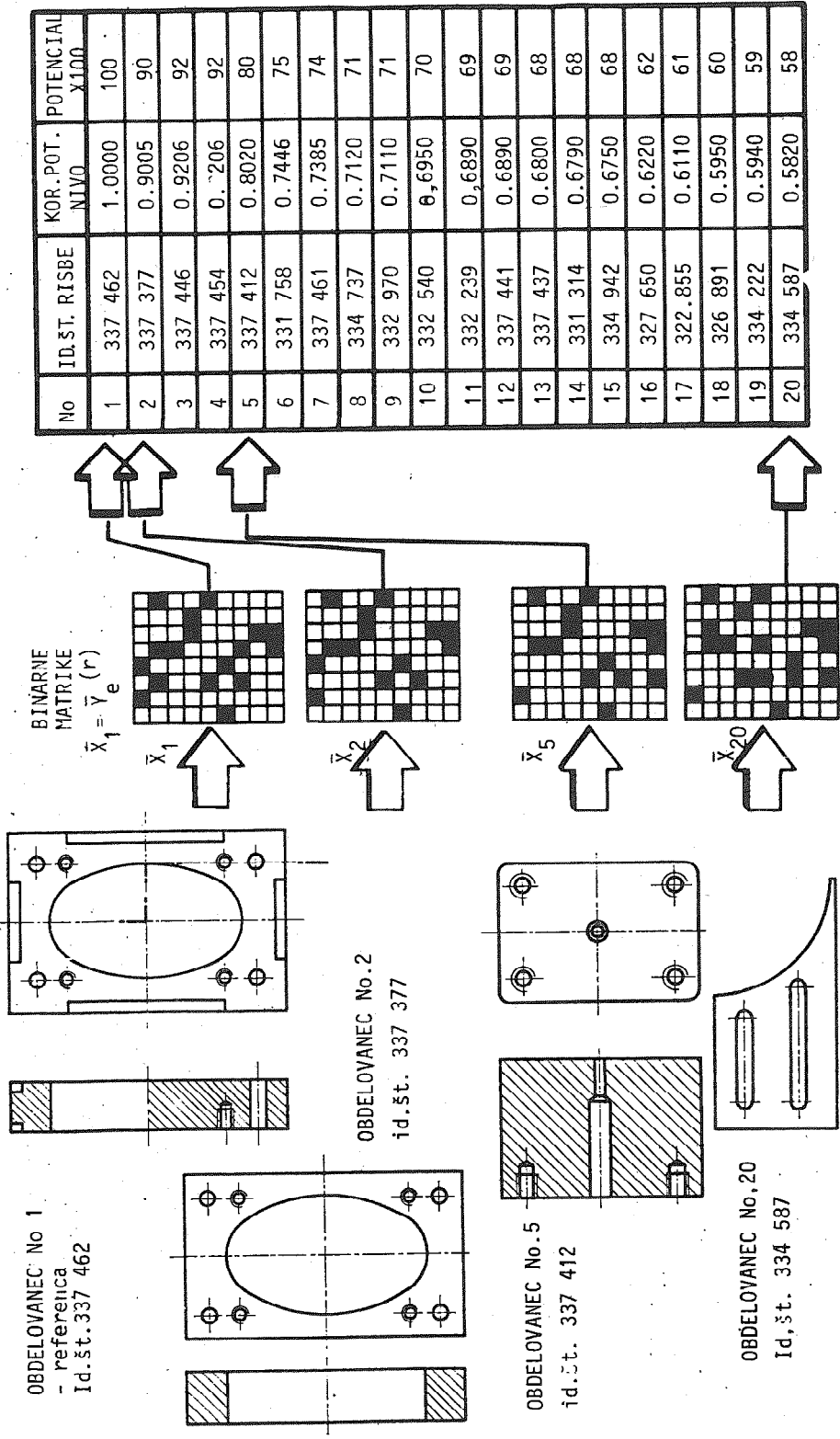
$$\lambda_t^{(r)} = \frac{\varphi_t^{(r)}}{\varphi_e^{(r)}} = \frac{A(2E + H + G)}{E(A + K + L)} \quad (28)$$

## 5. Rezultati raziskav računalniške klasifikacije

S prikazanimi metodami analitičnega popisovanja G in T informacij na obdelovancih s pomočjo teorije potencialnih funkcij so bile izvedene obširne raziskave o uporabnosti in zanesljivosti razvite računalniške klasifikacijske metode. Kot primer za klasifikacijski postopek naj navedemo sliko 6 s karakterističnimi obdelovanci No.1, No.2, No.5, No.20 in informacijskimi matrikami v sredini. Informa-

OBDELOVANCI ZA KLASIFIKACIJO

REZULTATI RACUNALNIŠKEGA KLASIFICIRANJA



No	ID.ŠT. RISBE	KOR.POT. NIVU	POTENCIAL $\times 100$
1	337 462	1.0000	100
2	337 377	0.9005	90
3	337 446	0.9206	92
4	337 454	0.206	92
5	337 412	0.8020	80
6	331 758	0.7446	75
7	337 461	0.7385	74
8	334 737	0.7120	71
9	332 970	0.7110	71
10	332 540	0.6950	70
11	332 239	0.6890	69
12	337 441	0.6890	69
13	337 437	0.6800	68
14	331 314	0.6790	68
15	334 942	0.6750	68
16	327 650	0.6220	62
17	322.855	0.6110	61
18	326 891	0.5950	60
19	334 222	0.5940	59
20	334 587	0.5820	58

Slika 6 Nerotacijski obdelovanci, binarne matrice in rezultati računalniške klasifikacije

cijske matrike izpolni konstrukter s črnimi polji za prisotne informacije po katalogu G in T informacij, medtem ko odločitev prepusti računalniku. Obdelovanec No.1 služi kot referenca  $\bar{Y}_e^{(r)}$  z identifikacijsko številko 337 462, proti kateremu primerjamo vse ostale obdelovance No.2, No.5, No.20.

Testiranje smo opravili na večji skupini rotacijskih in nerotacijskih obdelovancev. Rezultati računalniškega razpoznavanja vzorcev so prikazani v referenci J.Peklenik in J.Grum /22, 23, 24/.

Slika 6 na desni strani prikazuje primer rezultatov klasifikacije množice obdelovancev z izpisanimi vrednostmi korigiranih potencialnih nivojev. Postopek izračunavanja smo izvedli po enačbi (19) in sledi pregled za obdelovance No.1, No.2, ..., No.20:

- obdelovanec No.1 z ident.št. 337 462 predstavlja referenco  $\bar{Y}_e^{(r)}$  in zanj velja  $\bar{X}_t = \bar{X}_1 = \bar{Y}_e^{(r)}$ . Korigirani potencialni nivo  $KN_t^{(r)} = KN_e^{(r)} = KN_1^{(r)} = 1$ ;
- obdelovancev No.2 z ident. št. 337 377 ima popisane G in T informacije z vektorjem  $\bar{X}_2$  in ga primerjamo z referenco  $\bar{Y}_e^{(r)} = \bar{X}_1$  z ident.št. 337 462. Korigirani potencialni nivo  $KN_t^{(r)} = KN_2^{(r)} = 0,9120$ ;
- obdelovanec No.5 z ident.št. 337 412 ima popisane G in T informacije z vektorjem  $\bar{X}_5$  in ga primerjamo z referenco  $\bar{Y}_e^{(r)} = \bar{X}_1$  z ident. št.337 462. Korigirani potencialni nivo  $KN_t^{(r)} = KN_5^{(r)} = 0,7882$ ;
- obdelovanec No.20 z ident.št. 334 587 ima popisane G in T informacije z vektorjem  $\bar{X}_{20}$  in ga primerjamo z referenco  $\bar{Y}_e^{(r)} = \bar{X}_1$  z ident.št. 337 462. Korigirani potencialni nivo  $KN_t^{(r)} = KN_{20}^{(r)} = 0,3095$ ;

Da poenostavimo neprimerni numerični zapis za  $KN_t^{(r)}$ , ki je izraženo s štirimi decimalnimi mesti lahko pišemo množeno vrednost s 100. To pomeni, če je vzorec  $\bar{X}_1$  enak referenci  $\bar{Y}_e^{(r)}$ , potem bo  $KN_1^{(r)} = 100$  za vse ostale pa sledi  $KN_2^{(r)} = 91$ ;  $KN_5^{(r)} = 79$ ;  $KN_{20} = 0,31$ .

Vrednosti za  $KN_t^{(r)}$  so dvo- ali trimestna števila in se gibljejo med 20 in 100. Skupine podobnih obdelovancev lahko določimo po dveh kriterijih in sicer:

- z maksimalnim  $KN_t^{(r)}$  definiramo, da predloženi obdelovanec pripada v skupino r;
  - pripadnost skupini r lahko določimo tudi z mejno vrednostjo, npr.  $KN_t^{(r)} = 0,70$ .
- Pri tem kriteriju se lahko zgodi, da se isti obdelovanec lahko uvrsti v dve skupini, kar pa pogostokrat po geometriji in tehnologiji celo ustreza.

Zanesljivost obravnavane metode razpoznavanja, vzorcev, osnovane na teoriji potencialnih funkcij se giblje med 92 - 98 %. To zanesljivost lahko ugotovimo s paralelnim zasledovanjem računalniškega razvrščanja in vizualnega pregleda obdelovancev. V kolikor se pojavi odstopanje smo obravnavani vzorec prišteli k napačno klasificiranim, sicer pravilno.

## 6. Zaključek

Razvita in testirana računalniška metoda predstavlja nov pristop k ugotavljanju podobnosti obdelovancev oziroma omogoča nov način formiranja skupin za GT. Enostavnost, jasnost in enoznačnost klasifikacijskega sistema za računalniško vrednotenje, konstrukterju omogoča kodiranje takoj po končani konstrukciji na delavniški risbi. Pomembnejša ugotovitev pa je zmanjševanje subjektivnih vplivov v procesu odločanja, saj vse nadaljnje delo opravi računalnik, ki izračuna potencialne nivoje med vzorci in referencami ter tvori skupine.

Z ozirom na to, da v vsaki delovni organizaciji predstavlja kodiranje in grupiranje obdelovancev ozko grlo, omogoča novi pristop avtomatizacije te dejavnosti povečano produktivnost na tem področju.

## Reference

- /1/ Peklenik, J.: Application and Developments in Systems Eng. Related to Manufacturing Technology, Proc. of the Intern. Conf. on Production Technology, National Conference Publication, No. 74/3, 340-348.
- /2/ Mitrofanov, S. P.: Naučne osnovy gruppovoj tehnologii, Linzdat 1959, Moscow.
- /3/ Opitz, H.: Klassifizierungssystem, Industrie Anzeiger, 87, 1965.
- /4/ Williamson, D. T. N.: System 24 - A New Concept of Manufacture, Proc. 8th Intr. MTDR Conference, University of Manchester, Pergamon Press, 1967, 327-376.
- /5/ Koloc, J., Preisler, J., Vymer, J.: A Contribution to the Manufacturing - Systems Concept in Production Engineering Research, Annals of the CIRP, Vol. XIV., 1966.
- /6/ Remmerswaal, J. L., Schilperoort, B. A.: An Evaluation of Existing Classification Systems in Production Engineering, Metaalinstituut TNO, 1971.
- /7/ Allen, C.: The Formation and Operation of a Cell System, Proc. of the 14th Int. MTDR Conf., Manchester, 1973.

- /8/ Edwards, G.A.B, Fazakerley, G.M.: The Cell System of Production Embraces Group Technology and also Concerns Management, Technical and Social Change, Proc. of the 14th Int. MTDR Conf., Manchester, 1973.
- /9/ Gibson, T.M., Thornley, R.H.: Variety Control of a Semi-Finished Product Within a Group Technology Manufacturing System, Proc. of the 14th Int. MTDR Conf., Manchester, 1973.
- /10/ Bennett, D., Macconnell, W.: Management Motivation to Apply Group Technology, Proc. of the 14th Int. MTDR Conf., Manchester, 1973.
- /11/ Lewis, F.A.: Some Factors Affecting the Design of Production Systems in Batch Manufacture, Proc. of the 14th MTDR Int. Conf, Manchester, 1973.
- /12/ Candwell, F.W.: The improvement of Manufacturing Controls in a Medium-Heavy Engineering Company, Proc. of the 14th MTDR Int. Conf., Manchester, 1973.
- /13/ Craven, F.W.: Some Constraints, Fallacies and Solutions in GT Applications, Proc. of the 14th MTDR Int. Conf., Manchester, 1973.
- /14/ Malik, M.Y., Connolly, R., Sabberwal, A.J.P.: Considerations for the Formation of Cells in Group Manufacture, Proc. of the 14th MTDR Conf., Manchester, 1973.
- /15/ Connolly, R., Middle G., Thorneley, R.H.: Group Technology-Some Economic and Design Considerations, Proc. of the 10th Int. MTDR Conf. Manchester, 1969.
- /16/ Urošević, S.M.: Tipska i grupna tehnologija u metalnoj industriji, Priručnici IAMA, br.1, Institut za alatne mašine i alate, Beograd, 1967.
- /17/ Avtorski kolektiv: Uvajanje grupne tehnologije in klasifikacijskih sistemov z mikrofilmom v kovinski in elektroindustriji SRS, Poročilo Sklada Borisa Kidriča.
- /18/ Aizerman, M.A., Braverman, E.M., Rozonoer, L.I.: The Method of Potential Functions for the Problem of Restoring the Characteristic of Function Converter from Randomly Observed Points, Automation and Remote Control, 12, 1964.
- /19/ Aizerman, M.A., Braverman, E.M., Rozonoer, L.I.: Theoretical Function of the Potential Function Method in Pattern Recognition Learning, Automation and Remote Control, 6, 1964.
- /20/ Aizerman, M.A., Braverman, E.M., Rozonoer, L.I.: The Robins Monro Process and the Method of Potential Functions, Automation and Remote Control, 11, 1965.
- /21/ Peklenik, J.: Tehnologija strojne obdelave in njeni organizacijski prijemi - uvodni referat, VIII. Posvetovanje proizvodnega strojništva, Ljubljana, 1973.
- /22/ Peklenik, J., Grum, J.: Prispevek k avtomatizaciji klasificiranja geometričnih informacij v proizvodnji, VIII Simpozijum Upravljanje proizvodnjom u industriji prerade metala, Beograd, 1978.
- /23/ Peklenik, J.; Grum, J.: A New Development to Part Classification for Group Technology, Intern. Conf. on Manufacturing Technology, Melbourne, Australia 1980.



/24/ Peklenik, J., Grum, J.: Investigation of the Computer Aided Classification of Parts. General Assembly of CIRP, Melbourne, 1980.

/25/ Grum, J.: Avtomatsko klasificiranje obdelovancev v proizvodnem strojništvu, Disertacija, Ljubljana, 1977.

J. Peklenik, J. Grum

#### INVESTIGATION OF THE COMPUTER AIDED CLASSIFICATION OF PARTS

The paper reports on a new development of computer aided part classification based on the pattern recognition theory. The investigation is focused on the selection of relevant geometrical and technological information in the parts, their binary representation and data acquisition from the drawings, and the methods of assessment of parts similarity using the theory of potential functions. The new computer aided classification method has been verified in numerous tests on nonrotational and rotational parts. Some results are shown for the illustration. The investigation shows that an empirical part classification system with the fixed number of digits is not required.

XIV SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980

A. Polajnar <sup>\*)</sup>

VPLIV ORGANIZACIJSKIH, TEHNOLOŠKIH IN DRUGIH FAKTORJEV NA  
NC-PROIZVODNJO

1. Uvod

Vključevanje NC-strojev v proizvodne obrate delovnih organizacij je prav gotovo tako kvaliteten skok v obdelovalni tehniki, da zahteva od uporabnikov maksimalno angažiranost na vseh področjih, po drugi strani pa nam ravno zaradi tega prinaša velike uspehe.

Namen tega sestavka je, da prikažemo, kateri so najpomembnejši organizacijski in tehnološki prijemi, ki nam zagotavljajo smotrno izkoriščanje teh dragih naprav.

2. Naloga, namen in metoda dela

Struktura in obseg kovinsko predelovalne industrije pri nas kaže precejšen zaostanek v kvaliteti in proizvodnosti v primerjavi z industrijsko razvitimi državami.

---

\*) mag. Andrej Polajnar, dipl.ing., prof.v.š. na Visoki tehniški šoli v Mariboru, Smetanova 17;

\*\*) Referat je del obsežnejše raziskovalne naloge OBLIKOVANJE OPTIMALNE OCENE VKLJUČEVANJA NC-STROJEV V PROIZVODNJO, ki jo financira RSS in delovne organizacije.

Največja razlika se kaže ravno v individualni in maloserijski proizvodnji. S tem delom hočemo pokazati, da ni dovolj samo nabaviti NC-stroje, ampak da je pred nami čas skokovitega povečanja rabe NC-strojov, ki zahtevajo dobro organizacijo dela in dobro informiranost uporabnikov v dosežkih na področju obdelovalne tehnike.

Sam problem smo obdelali po naslednjem zaporedju akcij:

- a) najprej smo iz literature, ki se bavi s problemi izkoriščanja NC-strojov, zbrali tiste vplivne veličine, ki vplivajo na smotrno izkoriščanje NC-strojov,
- b) na osnovi zbranih informacij iz literature smo sestavili vprašalnik, s katerim smo anketirali osem delovnih organizacij v severovzhodnem delu Slovenije, ki imajo skupno 24 različnih NC-strojov,
- c) v tretji fazi smo analizirali izbrane veličine s statistično metodo cluster analysis in s pomočjo povprečne vrednosti,
- d) na osnovi analize smo izdelali predlog o najbolj primernih organizacijskih shemah v NC-proizvodnji.

### 3. Rezultati

Z metodo hierarhičnega določanja skupin organizacijskih spremenljivk smo dobili naslednje rezultate (glej tudi sliko 1):

#### 1. GRUPA

Nagrajevanje 10, vpenjanje 25, proizvodnja 20, normativi 8, predobdelava 30.

#### 2. GRUPA

Kontrola 17, operater 27, krmilje 26, programiranje 9, računalnik 12.

### 3. GRUPA

Izobraževanje 2, rezalni pogoji 24, vzdrževanje 18, informacijski sistem 13, sistematizacija 15, NC-team 1, programiranje 28, organizacija tehnološke priprave 3, grupiranje 4.

### 4. GRUPA

Skladišče in transport 19, layout 21, zveza med programerjem in operaterjem 29, izbira obdelovancev 5, operativna priprava dela 11, konstrukcija 16, kalkulacije 7, orodje 22, elastičnost 14, dokumentacija 6, prednastavljanje orodja 23.

Značilnosti teh grup so:

V prvi skupini so združene spremenljivke, ki so odvisne od neposredne proizvodnje. Izkazalo se je, da je nagrajevanje delavca pomembno kljub omejenem vplivu, da posreduje v tehnološki proces. Pozitiven vpliv se kaže v prizadevanju za čim večjim izkoristkom stroja. Problem izdelave časovnih normativov bi bil eliminiran s kvalitetno predobdelavo surovcev in to predvsem z večjo dimenzijsko izenačenostjo odlitkov in odkovkov in pa seveda z izenačenostjo materiala surovcev.

V drugi skupini so združene spremenljivke, ki so v zvezi z izdelavo programov obdelave. Iz dendrograma (slika 1) se vidi zelo močna povezava med programiranjem in računalnikom. To pomeni, da ročno programiranje postaja utrudljivo in prepočasno in se vse bolj zamenjuje s polstrojnim ali celo strojnim, saj se iz analiz vidi, da polstrojno programiranje v vse večji meri prihaja v uporabo. Ta način programiranja pa je nujno vezan na uporabo računalnika. Pri tem pa se je izkazalo kot zelo pomembno poenotenje krmilja v strojnem parku, ki omogoča poenotenje programskih operacij in manjšo obremenitev programerjev s seznanjanjem različnih sistemov, kar tudi delno zmanjšuje možnost napak pri programiranju. V tej skupini je zajet tudi operater, saj je praksa pokazala, da operater še mnogokrat deluje kot drugi programer.

\*\*\* C.L.U.S.E. - HIERARCHICAL CLUSTERING METHODS - WARD SCALE ( .003 ) PAGE - 6  
 HIERARHIČNO DoločANJE SKUPIN ORGANIZACIJSKIH SPREMEHLJKV DATE - 01/14/80

```

.404 NAG 10 -----
.407 VPEN 25 -----
.683 PRO 20 -----
.505 NOR 8 -----
1.262 POBD 30 -----
.351 KONT 17 -----
.452 OPER 27 -----
1.011 KRMIL 26 -----
.169 PRG 9 -----
1.567 RAC 12 -----
.371 IZO 2 -----
.435 REZP 24 -----
.659 VZDRZ 18 -----
.496 INFS 13 -----
1.093 SIST 15 -----
.275 NCT 1 -----
.824 PROG 28 -----
.400 OTP 3 -----
2.649 GRP 4 -----
.320 SKL 19 -----
.439 LAY 21 -----
.549 ZVEZA 29 -----
.609 IZBO 5 -----
.314 OPN 11 -----
.724 KONST 16 -----
.379 KAL 7 -----
.497 ORCU 22 -----
.985 ELAS 14 -----
.631 DOK 6 -----
  
```

Slika 1: Hierarhično določanje skupin organizacijskih spremenljivk

Še vedno ima možnost poseganja v obdelovalni proces, kar takoj zahteva večji obseg kontrole med obdelavo in to kot kontrola medfaznega kontrolorja ali pa kot avtokontrola, ki jo vrši operater sam.

V tretji skupini so spremenljivke, ki izhajajo iz neposrednega dela NC-teama in programerja, značilno močna je povezava med NC-teamom in programerjem. Torej je faktor programerja eden od takšnih veličin, na katero mora NC-team še posebej paziti pri izbiri programerja. Zelo močno je izpostavljena vloga izobraževanja, ki ga mora organizirati NC-team. Neposredna posledica takšnega izobraževanja pa je tudi delo na področju sistematizacije, kar se kaže v izdelavi katalogov in grupiranja obdelovancev, ker se tudi v NC tehnologiji lahko grupirajo tehnološko podobni izdelki, katerih programe bi lahko ekonomsko uporabljivo optimirali. Seveda pa sta tu vključeni tudi spremenljivki, ki sta nujno povezani, saj z dobrim informacijskim sistemom lahko sledimo modernim dognanjem v svetu.

V dendrogramu lahko tudi najdemo podobnosti med temi tremi skupinami, vendar so povezave še zelo šibke (na visokem nivoju), zato te lastnosti morda niso splošno veljavne.

Kot precej samostojna pa se pojavlja 4. skupina. V njej se z visoko povezanostjo kažejo dokumentacija, orodje, prednastavljanje in elastičnost. Močna je povezava med skladiščem in namestitvijo strojev, ki kaže, da je treba organizacijo skladišča prilagoditi zahtevam po hitrem in močnem pretoku materiala. Izkazalo pa se je, da sta povezana izbira obdelovancev in kalkulacije, kar pomeni, da se ponekod že izvajajo ekonomske primerjave, ki odločajo o načinu obdelave. Potrdilo pa se je dejstvo, da je zelo slabo sodelovanje konstrukcije s spremenljivkami v 3. skupini, kjer bi lahko dosegli večji učinek.

S pomočjo večrazsežnostnega lestvičenja po WARD-u smo dobili skupine variabel, ki se podobno ponašajo v celotni organizaciji NC-tehnologije, vendar pa nam ta metoda ni dala absolutne vrednosti vpliva na celotno organizacijo, ampak nam kaže relativni odnos med posameznimi veličinami.

Za določitev absolutne vrednosti vpliva je primerna metoda z izračunom povprečne vrednosti številčnih uteži, ki smo jih določili na osnovi odgovorov po vprašalniku. Uteži imajo vrednosti od nič do devet, pri čemer pomeni devet najmočnejši vpliv.

Na osnovi rezultatov (tabela 1) sledi, da je najpomembnejši faktor programer in to v vseh delovnih organizacijah z relativno zelo majhno standardno deviacijo. Kajti od programerja je odvisna ekonomičnost obdelave. Razlog, da je programer tako pomemben, je v tem, da je v praksi zelo razširjeno ročno programiranje in ima programer najpomembnejšo vlogo pri določitvi tehnološkega postopka. Od tod seveda takoj izhajajo kot zelo pomembni izobraževanje kadra in rezalni pogoji, ki jih morajo programerji določiti na osnovi lastnih izkušenj.

Absolutno zelo visoko je tudi orodje, toda z zelo veliko standardno deviacijo, kar kaže na to, da se problem orodja da odpraviti, čim so zagotovljene zadostne zaloge od kvalitetnih dobaviteljev.

Prav tako se z zelo močnim vplivom pojavlja operater na stroju in to z zelo majhno standardno deviacijo, kar pomeni, da je treba tudi za operaterje izbirati izkušene ljudi z določeno predhodno prakso v konvencionalni proizvodnji.

Visok in stabilen vpliv rezalnih pogojev kaže, da je treba rezalne pogoje določiti optimalno. Podobno močan vpliv ima prednastavljanje orodja, ki zmanjša pripravno zaključne čase na minimum.

Sledi skupina faktorjev, ki imajo precejšen vpliv. To so programiranje in računalnik. Način programiranja se v naši proizvodnji zaradi manjšega strojnega parka ne kaže v vsej svoji pomembnosti.

Tabela 1: Absolutne vrednosti vpliva posameznih veličin na NC-proizvodnjo

Zap.št.	Spremenljivka	$\bar{x}$	G	$V = \frac{G}{\bar{x}}$
1	NC team	3,125	1,96	0,627
2	izobraževanje	6,75	2,68	0,397
3	teh.priprava proizvodnje	5,375	0,912	0,170
4	grupiranje	1,125	2,315	2,058
5	izbira obdelovancev	5,125	1,269	0,248
6	dokumentacija	4,75	1,20	0,253
7	kalkulacije	3,125	3,40	1,088
8	normativj	5,125	1,90	0,371
9	programiranje	5,75	2,54	0,442
10	nagrajevanje	2,75	1,838	0,668
11	operat. prip. dela	2,875	1,499	0,521
12	računalnik	5	3,12	0,624
13	inf. sistem	3,625	1,547	0,427
14	elastičnost	6,375	2,117	0,332
15	sistematizacija	5,375	1,218	0,227
16	konstrukcija	1,75	2,106	1,203
17	kontrola	2,75	1,56	0,567
18	vzdrževanje	2,625	1,727	0,658
19	skladiščenje	1	0,866	0,866
20	proizvodnja	5	2,121	0,424
21	namestitev - layout	5,125	5,515	1,076
22	orodje	7,875	1,691	0,215
23	prednastavljanje	6,625	1,996	0,301
24	rez.pogoji	6,375	1,786	0,280
25	vpenjanje	3,5	2,915	0,833
26	krmilje	5,5	1,658	0,301
27	operater	6,625	1,495	0,226
28	programer	7,625	0,983	0,129
29	zveza	2,25	3,897	1,732
30	predpriprava obd.	6	2,061	0,344



Vendar pa ob njem že nastopa računalnik, kar kaže na nadaljnjo usmeritev načina programiranja, saj je ročno programiranje zamudno in dopušča preveč subjektivnih vplivov. Že zdaj pa se kaže povečano delo na področju sistematizacije, ki je tudi ena od osnovnih komponent za prehod na višjo stopnjo programiranja.

Tehnološka dokumentacija je v NC tehnologiji zelo pomembna. Zahteva se dokumentacija vseh ukazov stroju v obliki luknjanega traku in poleg tega izpis programa za operaterja ter poseben orodni list za nastavljalca orodja.

Preseneča šibek vpliv NC - teama v fazi priprav na NC proizvodnjo, kar pomeni, da je pripravljalna faza zelo slabo načrtovana.

Problem vpenjanja obdelovalcev je v NC obdelavi manjši in so tu mogoči precejšnji prihranki na vpenjalnih napravah.

Zaradi kompliciranosti enot stroja je tudi lastno vzdrževanje slabo razvito in se v glavnem poslužujejo servisa proizvajalcev.

Glede na to, da je kader za programerja in operaterja zelo izkušen, se nam ne zdi primerno uvajati posrednika med njima, saj mora biti tehnološki postopek natančno določen.

Služba kontrole kvalitete se še ni prilagodila novim zahtevam. Zavedati se mora, da ni kontrola tista, ki zagotavlja kvaliteto, ampak jo samo ugotavlja. Za takšno nalogo pa bi bila zadostna kontrola prvega kosa in nato statistična kontrola nadaljnje proizvodnje. Za kvaliteto sta zadolžena operater in programer, ki bi na osnovi informacij kontrole primerno ukrepala. Za takšno aktivnost pa je potrebna dobra organizacija informacijskega sistema.

Zelo slabo sodeluje konstrukcija v smislu tehnoložnosti konstrukcij. Vzrok je najbrž v tem, da so konstrukterji slabo informirani o zmožnostih in zahtevah NC tehnologije, zato bi v prihodnje bilo potrebno organizirati tečaje o NC

tehnologiji, prirejene za konstrukterje.

Zmanjšan je tudi problem skladiščenja in transporta zaradi tega, ker se večina operacij opravi na enem mestu in so tako skrajšane transportne poti in površine za medfazna skladišča.

#### 4. Predlog za doseg rezultata

Za doseg čim boljše organizacijske sheme moramo najprej v fazi nabave novega stroja izdelati ekonomske primerjave med konvencionalno in NC proizvodnjo. Poleg tega mora NC team že prej izbrati programerje in operaterje, ki bodo zadolženi za stroj. Obvezno je izobraževanje pri proizvajalcu, kajti izkušnje kažejo, da ob uvajanju stroja nastopajo velike težave zaradi slabega poznavanja lastnosti stroja in krmilja. Prav tako je naloga NC teama, da izdelata globalni razvojni program NC tehnologije. V njem naj se odloči o vrstah strojev in krmilij, ki pridejo pri nabavi v poštev. To pa zaradi tega, ker je v prihodnosti nujno treba misliti na prehod na strojno programiranje z računalnikom, ki bi ob raznolikosti strojnega parka zahteval ravno toliko različnih postprocesorjev, kar bi podražilo programiranje.

Naloga NC teama je tudi, da razvija službo sistematizacije, ki mora delo organizirati tako, da bo možen takojšen prehod na strojno obdelavo ob uvedbi računalnika. Tu mislimo predvsem na način zbiranja, hranjenja in dostopa do podatkov. Seveda mora biti tudi doseženo sodelovanje na nivoju delovne organizacije ali še višje, da ne bi prišlo do ozkih rešitev izključno za NC tehnologijo.

Pri povezovanju med programerjem in operaterjem se nam ne zdi smiselno vpeljevati še vmesni člen, kajti priporočljivo je, da pri testiranju novih programov sodeluje tudi programer, če je to potrebno zaradi kompliciranosti izdelkov, kasnejše intervencije pa so zelo redke in zato ni treba posebnih kadrov.

Kar se tiče organizacijske sheme TPP, je primernejša organizacija, ki je integrirana s konvencionalno proizvodnjo zaradi lažjega sodelovanja in tudi zaradi lažjega dostopa do informacij, ki naj bodo shranjene na enem mestu.

Poleg tega pa je lahko poenotena služba za izdelavo normativov in kalkulacij za NC in konvencionalno proizvodnjo, saj je podoben. Službi operativne priprave dela zaenkrat ni treba spreminjati organizacijske sheme za avtomatske obdelovalne stroje.

Nujna pa bodo večja vlaganja v službo vzdrževanja. Nevzdržano bo namreč vedno se zanašati na servis proizvajalca, še zlasti pri povečanem številu strojev. Tu predvsem mislimo na izobraževanje vzdrževalcev elektronike, ki je občutljivejši del stroja in seveda, imeti moramo na zalogi optimalno količino rezervnih delov, kar spet govori v prid poenotenja krmilij.

Služba kontrole kvalitete trenutno porabi preveč časa za kontrolo NC proizvodnje in se premalo bavi z analizo dobljenih rezultatov. Nujen je prehod na statistično kontrolo.

Trenutno se nam zdi primerna namestitvev NC strojev v liniji, kajti pred vrati je masovno povečanje NC strojev v proizvodnjo, kar bi zmanjšalo preglednost v pretoku obdelovancev, orodja in priprav.

Skladišče orodja in prednastavljanje naj bo izvedeno centralno. S tem se zmanjša število delavcev in naprav in poveča njihova izkoriščenost, poleg tega pa nam tak način zagotavlja vedno večjo izurjenost delavcev v prednastavljanju.

Trenutno sodelovanje med konstrukcijo in NC proizvodnjo je zelo slabo. Na področju prilagajanja konstrukcije zahtevam NC tehnologije je bilo praktično zelo malo storjeno in tu bi v prihodnosti bilo nujno potrebno izobraziti konstrukterje o zmožnostih in zahtevah NC tehnologije.

Naloga NC teama pa je tudi, da sodeluje v grupi, ki načrtuje uvajanje računalnika v tehnologijo, kajti težko je pričakovati, da bi kupili računalnik z večjim spominom izključno za NC tehnologijo, ampak mora NC team proučiti možnost izkoriščanja centralnega računalnika, ki ponavadi že obstoja v delovni organizaciji, za uporabo v NC tehnologiji.

Pri tem mora NC team seveda tudi razvijati način programiranja v smislu priprav na strojno programiranje. NC team pa mora tudi biti povezan z razvojno službo, ki spremlja moderne tehnološke dosežke v svetu in jih naj čimprej optimalno izkorišča na lastnih strojih.

## 5. Zaključek

Na osnovi opravljene analize v delovnih organizacijah vidimo, da je na področju NC-strojev še veliko stvari, ki jih moramo natančno analizirati. Vidimo, da NC-stroji s hitrimi koraki vstopajo v našo proizvodnjo, da pa vse spremljajoče službe razvoja ne dohitevajo. Ker je pred vrati prava ekspanzija NC-strojev, je nujno, da se v delovnih organizacijah sistematično lotijo reševanja vseh problemov, ki se pojavljajo ob takih novostih. Nujno moramo spoznati, da ni dovolj samo opremiti proizvodnjo z modernimi stroji, ampak da ti zahtevajo tudi trdo in funkcionalno organizacijsko shemo, ki zagotavlja racionalni izkoristek strojev. Lahko trdimo, da v delovnih organizacijah z boljšo organizacijo v konvencionalni proizvodnji tudi hitreje najdejo ugodne rešitve za izkoriščanje NC-strojev. Zavedati se moramo dejstva, da NC-stroji zahtevajo dobro pripravo dela in da ne dopuščajo improvizacij med samim tehnološkim postopkom, kar se v konvencionalni proizvodnji žal često pojavlja ravno zaradi slabe organizacije dela.

### Referen ce

- /1/ A. Polajnar, Organizacijske i privredne mogućnosti uvođenja NC-strojeva u mariborskom industrijskom bazenu, magistrski rad Zagreb 1976.
- /2/ A. Šostar, Organizacija priprave proizvodnje NC-tehnologije, Maribor VTŠ 1977
- /3/ F. Freudhofer, Optimaler organisatorischer Einsatz von NC Maschinen, Graz 1973
- /4/ Peklenik, Seljak, Uvajanje NC tehnologije v industrijo, Ljubljana 1976.

A. Polajnar

DER EINFLUSS ORGANISATORISCHER, TECHNOLOGISCHER UND ANDERER FAKTOREN  
AUF DIE NC-PRODUKTION.

Die Problematik der zweckmässigen Nutzung von NC-Maschinen ist sehr umfangreich. Zu dieser Problematik gehören organisatorische und technologische Faktoren, mit denen wir uns in diesem Referat befasst haben. Die Daten, die in Unternehmen für verschiedene organisatorische Grössen gewonnen wurden, wurden dann statistisch verarbeitet. So wurde der Einfluss für die wichtigsten organisatorischen und technologischen Faktoren gewonnen und aus diesen Erkenntnissen wurde ein Vorschlag für ein geeignetes organisatorisches Schema für die NC-Produktion in Slowenien oder auch in Jugoslawien ausgearbeitet.

XIV SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980.

M.Radulović\*

KINETIKA STRUKTURNIH TRANSFORMACIJA U POGRANIČNOM  
SLOJU BRZGREZNIH ČELIKA U PROCESU BRUŠENJA\*\*

1. Uvod

Pojava faznih i mikrostrukturnih transformacija u pograničnom sloju delova koji se bruse, povezano je sa odgovarajućim termo-hemijskim i zapreminskim promenama, koje su funkcionalno zavisne od visine kontaktne temperature u temperaturnom polju pri brušenju.

Medjutim, analiziranjem uslova nastajanja pograničnog sloja, uticajem generisanja i razmene toplotne energije, kao i zakonitosti promene temperature po dubini sloja, uz istovremeno sagledavanje mogućnosti pojave površinskih defekata, nužno nameće međuzavisnost uticajnih faktora [14], kao što su:

- a.- mašina i uređaj za brušenje;
- b.- priroda, polazno stanje delova i podobnost čelika za brušenje;
- c.- karakteristike brusnih ploča i parametri režima brušenja;
- d.- način brušenja, uz korišćenje ili bez korišćenja SHP+++ i uticaj generisane toplotne energije na mikrostrukturne probražaje u pograničnom sloju.

Stepen uticajnosti pojedinih parametara režima brušenja na stvaranje pograničnog sloja zavisi od opsega i visine njihovog učešća, čija se međuzavisnost odražava u dva smera:

---

\* Dr Miodrag J.Radulović, dipl.ing., Institut "Kirilo Savić" Beograd, Direktor Instituta za istraživanje, izgradnju, konsalting i ergonomiju, IKER u Čačku, ul. Karadžordjeva br. 19

\*\* Rad je proistekao iz poslovno-tehničke saradnje sa CUR-a, metalopreradivačkog kompleksa Čačka

+++ SHP - sredstvo za hladjenje i podmazivanje

- i.- ona, koja dovodi do termo-hemijskih i mikrostrukturnih promena u pograničnom sloju, čija dubina zavisi od parametara režima brušenja i kreće se u granicama od 0,02 - 0,2 mm [1], i
- ii.- ona, koja utiče na mikro i makro neravnine brušene površine, a koja je uslovljena geometrijskim faktorima, plastičnom deformacijom površine radnog predmeta i vibracionim sistemom uređaja za brušenje, tj. od odnosa našina - brusna ploča - radni predmet [3].

Cilj ovog rada nije da tretira problematiku vezanu za geometrijske promene, već onu koja zahvata prvu grupu problema i odnosi se na promenu mikro-komponenti u pograničnom sloju radnog predmeta pod uticajem generisane toplotne energije pri brušenju.

Utrošeni rad na savladjivanje otpora čelika u procesu brušenja, naročito kod termički obradjenog stanja visoko-legiranih čelika, uslovljava povećana opterećenja abrozivnih zrna. Ova pojava prouzrokuje vrlo visoke trenutne temperature, koje se približavaju temperaturi topljenja čelika, a integralno, generisana toplotna energija uzročnik je dubokog progrevanja pograničnog sloja sa odgovarajućim mikrostrukturnim transformacijama, poznatija pod nazivom sekundarna termička obrada [17].

## 2. Opseg fazne transformacije u zavisnosti od visine temperature brušenja

Kod izvodjenja opita pri brušenju delova od brzoreznog čelika, koji su termički obradjeni, generisana toplotna energija izaziva veoma visoke temperature u površinskoj zoni pograničnog sloja, koje su često daleko iznad linije prekrystalizacije  $AC_3^+$ . Pri ovakvom visoko-temperaturnom zagrevanju dolazi do promene polazne termički stabilizovane strukture, sa odgovarajućim mehaničkim svojstvima, koja se često i naziva primarna termička obrada za razliku od sekundarne termičke obrade - termičkog stanja posle završenog procesa brušenja.

---

<sup>+</sup>  $AC_3$  - linija prekrystalizacije visoko-legiranih čelika, iznad koje je osnovna struktura austenit sa uključcima nerastvorenih karbida.

Medjutim, strukturne transformacije pri brušenju su tesno povezane sa prethodnom termičkom obradom i razlikuju se dva slučaja:

- a.- brušenje delova od visoko-legiranih čelika u sirovom stanju (stanje isporuke čelika: žareno, normalizovano ili poboljšano na najbolju obradljivost), i
- b.- brušenje delova u termički obradjenom stanju, tj. posle kompletnog ciklusa termičke obrade - kaljenja i višestepenog odpuštanja.

Ispitivanjem je potvrđeno da za brušenje čelika u sirovom stanju nije bitna samo visina temperature, već i vreme dejstva toplotnog izvora da bi se ostvarile određene strukturne transformacije.

Pošto je vreme generisanja toplotne energije, u procesu brušenja, povezano sa radom pojedinih abrazivnih zrna, koje je vrlo kratko, odnosno trenutno - ne prelazi  $9 \times 10^{-7}$  sec. [6], a što nije dovoljno i za obavljanje faznih preobražaja, to pri brušenju čelika u sirovom stanju, mikrostruktura pograničnog sloja obično se ne menja i ostaje sa neznatnim promenama vrednosti mehaničkih svojstava.

U prilog ove konstatacije u procesu brušenja, može se istaći i primer ograničene primene indukcionog zagrevanja u tehnologiji termičke obrade alata od brzoreznog čelika i ako se postiže vrlo visoka površinska temperatura, ali u vrlo kratkom vremenu.

Otuda i pokušaj, da se tehnologija termičke obrade alata od brzoreznog čelika u ~~sonim~~ rastopima, zameni sa indukcionim postupkom nije zadovoljio, upravo zbog kratkoće vremena zagrevanja neophodnog za rastvaranje slobodnih karbida odgovarajućih legirajućih elemenata.

Analiziranjem kinetike zagrevanja, za navedene režime, mogu se sagledati uzroci i posledice, jer kod termičke obrade u sonim rastopima brzina zagrevanja je  $10^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ , dok kod indukcionog postupka do  $1000^{\circ}\text{C}/\text{sec}$  [4].

Medjutim, kod brušenja čeličnih predmeta, prema [12], brzina zagrevanja na dubini graničnog sloja od 0,07 mm iznosi  $10\ 000^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ , a brzina hladjenja  $600^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ , pri rezanju zone



$\delta_i = 0,002$  mm/hodu. Ako se zona za brušenje poveća na  $\delta_i = 0,25$  mm/hodu, a temperaturna promena meri na dubini graničnog sloja  $0,05$  mm, brzina zagrevanja se povećava na  $80\ 000^\circ\text{C}/\text{sec}$ , a brzina hladjenja na  $12\ 500^\circ\text{C}/\text{sec}$ .

Ovakvo zagrevanje površinskih zona u procesu brušenja povezano sa plastičnom deformacijom i naglim temperaturnim promenama ne obezbeđuje potpunu austenizaciju, što se odražava na kvalitet pograničnog sloja.

Generisana toplota, koja nastaje u momentu trenutnog bljeska, odnosno svetlosnog snopa, uslovljava visoku temperaturu u površinskoj zoni, koja se postupno prenosi u dublje zone metala i stvara nekakvu opštu temperatutu pograničnog sloja, koja izaziva odgovarajuće fazne promene.

Brušenje izvršeno posle kaljenja i odpuštanja poboljšava svojstva površinskog sloja [4], jer povišava postojanost alata. Medjutim, izazitiije toplotno dejstvo na površinsku zonu pograničnog sloja, koji je nastao pri brušenju, u izvesnim uslovima ne poboljšava, već pogoršava njegova svojstva.

Ove promene mogu biti posebno značajne kod termički obradjenog brzoreznog čelika, a povezane su sa sledećim pojavama:

- a.- temperatura pograničnog sloja, pri brušenju dostiže  $500 - 1.000^\circ\text{C}$  [15], u izvesnim uslovima  $1.000 - 1.200^\circ\text{C}$  [6], prema nekim autorima do  $1.500^\circ\text{C}$  [7], [9], dok sopstveni eksperimentalni rad potvrđuje i do  $1.750^\circ\text{C}$  [42].
- b.- Toplota koja uslovljava navedenu temperaturu, nastaje skoro trenutno sa brzinom zagrevanja  $5.000 - 6.000^\circ\text{C}/\text{sec}$  [4], a po drugim  $10.000^\circ\text{C}/\text{sec}$ , pa i do  $100.000^\circ\text{C}/\text{sec}$  [7].
- c.- Trenutna toplotna energija, koja se generiše, uslovljava trenutnu temperatutu površinske zone i predaje se hladnijim zonama, koje leže u većoj dubini, takodje velikim brzinama do  $1.000^\circ\text{C}/\text{sec}$ . [4].

Prema tome, kao osnova za ocenu strukturnih promena u pograničnom sloju, pri brušenju je visina kontaktne temperature.

Medjutim, za radne predmete od termički obradjenog brzoreznog čelika režim brušenja se može obaviti na dva načina:

- a.- uz upotrebu emulzija - sredstava za hlađenje i podmazivanje, tj. mokri postupak, i
- b.- bez korišćenja sredstava za hlađenje i podmazivanje, tj. suvi postupak.

Poredjenjem ova dva postupka brušenja može se konstatovati da je produktivnost pri suvom brušenju nešto veća, a specifično kidanje metala pri određenom broju hodova je niže, nego pri korišćenju SHP. Prema tome, kapacitetna sposobnost brusne ploče biće utoliko veća, ukoliko se generisana toplotna energija pri brušenju, potpunije odvodi.

Kod suvog brušenja ulogu rashladnog sredstva preuzima strujanje vazduha, koje nastaje zbog rotacije brusne ploče. Međutim, vazduh kao rashladno sredstvo odvodi neznatnu količinu generisane toplotne energije. Tako za razliku od vazduha, pri korišćenju odgovarajućeg SHP [13], ne samo da se poboljšava odvodjenje generisane toplotne, već se istovremeno smanjuje i trenje, kako strugotine o aktivna brusna zrna, tako i aktivnih brusnih zrna o graničnu površinu radnog predmeta.

## 2.1. Promena u graničnom sloju pri brušenju uz korišćenje SHP

Proces brušenja se obavlja uz vrlo visoke trenutne temperature i značajne sile trenja, što izaziva čitav niz neželjenih posledica povezanih sa habanjem brusne ploče i kvalitetom obradjene površine [15].

Generisana toplotna energija, koja nastaje pri brušenju i izaziva "paljenje", odvodi se uglavnom u dublje zone radnog predmeta, pošto je toplotna provodljivost vazduha i abrazivnog materijala niža od toplotne provodljivosti čeličnog predmeta [9].

Dubina progrevanja graničnog sloja i površinske zone kod "paljenja" zavisi od visine kontaktne temperature i svojstava čeličnih uzoraka koji se bruse.

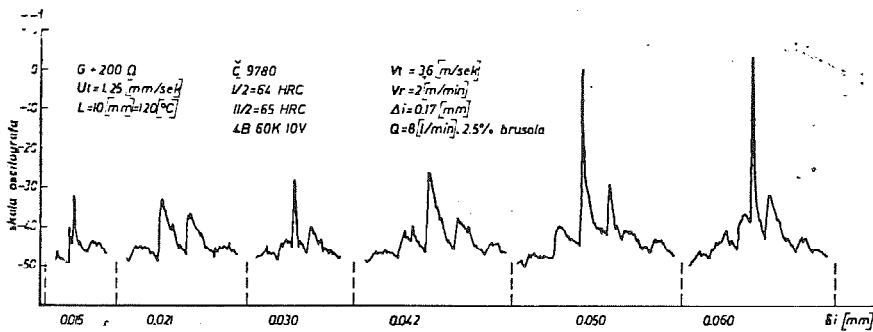
U radovima [2], [8], je pokazano da se debljina pograničnog sloja smanjuje pri dodavanju SHP u procesu brušenja u odnosu na suvo brušenje. Dalje je, takodje, konstatovano da je dubina progrevanja pograničnog sloja smanjena pri dodavanju SHP kroz pore brusne ploče u poredjenju sa dodavanjem preko mlaznice, tj. dodavanjem spolja polivanjem [7]. Međutim, da bi se iskoristila ova

tehničko-tehnološka prednost, potrebni su specifični uređjaji i alati, što otežava primenu ovog postupka.

Prema tome, u eksperimentalnom delu merenja temperature brušenja brzoreznih čelika uz korišćenje SHP, korišćeno je polivanje preko mlaznice uz odgovarajuću regulaciju protoka.

Shematski prikaz oscilograma snimljenog na svetlosnom pisaču tipa H115, razmera 0,7:1, za čelične uzorke Č 9780, termički obradjene na tvrdoću 64-65 HRC, sa parametrima režima brušenja:

- brzina rezanja  $V_t = 36$  m/sec
  - brzina pomošnog kretanja  $V_T = 2$  m/min
  - aksijalni korak nepromenjen  $S_B = 0,7$  mm/hodu
  - dubina graničnog sloja  $\delta_i = 0,17$  mm
  - protok SHP sa 2,5 % brusogrinda  $Q = 8$  l/min ,
- dat je na dijagramu (Slika 1).



Prema tome, oscilogram prikazuje promenu temperature u zavisnosti od parametara režima brušenja i dubine zone brušenja  $\delta_i = 0,015; 0,021; 0,030; 0,042; 0,050; i 0,060$  mm uz korišćenje SHP sa naznačenim protokom.

Uticao SHP na kvalitet brušenja obradivali su mnogi autori [5], [7], [8], [9] i [10], ali su podaci o količini generi-

sane toplotne energije, koja se predaje SHP-u vrlo neprecizni i kreću se do 13 % [10]. Međutim, prema radovima [15], a posebno pri analiziranju uslova i režima brušenja ističe se da kontaktna temperatura brušenja bez hladjenja varira u intervalu 500 - 1.000°C, a sa hladjenjem u intervalu od 150 - 230°C.

Na osnovu pokazatelja, a i na bazi zaključaka iz rada [15], može se uočiti vrlo veliki uticaj SHP u odvodjenju generisane toplotne energije, pa samim tim i u nastajanju pograničnog sloja, što se može utvrditi metalografski i difraktometrijski.

## 2.2. Promene u pograničnom sloju pri brušenju bez korišćenja SHP

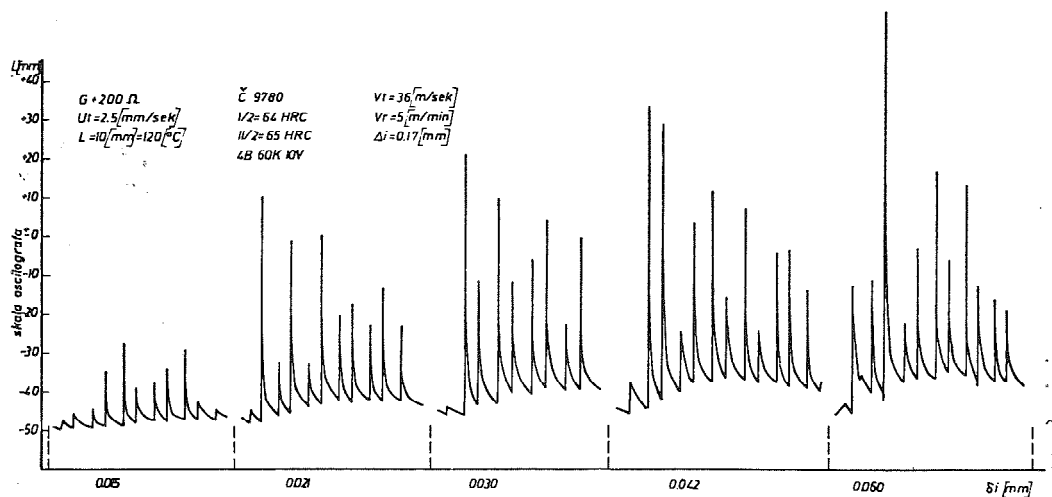
Ekperimentalnim ispitivanjem kod merenja temperature brušenja, konstatovano je da u kontaktnoj zoni pod uticajem aktivnih brusnih zrna nastaju lokalne visoke temperature reda topljenja metala, koji se brusi. Lokalno zagrevanje površinske zone je vrlo kratkotrajno, nekoliko hiljaditih od sec., što ne prelazi vreme kontakta abrazivnog zrna sa radnom površinom, a što utiče i na porast plastičnosti metala, koji se brusi. Suma toplotnih efekata aktivnih abrazivnih zrna čini generisanu toplotnu energiju, koja se praktično trenutno predaje masi predmeta, koji se brusi, a temperatura koja zaostaje u kontaktnoj zoni abrazivnih zrna relativno je niska [14].

Temperaturni gradijent i plastična deformacija pri rezanju u procesu brušenja narušavaju strukturu ne samo površinske zone pograničnog sloja, već znatno dublje, nekoliko desetih od mm.

Mikrostruktura tih zrna u pograničnom sloju suštinski se razlikuje od polazne mikrostrukture, ali funkcionalno je vezana za režim brušenja [9], [14].

U cilju sagledavanja izvesnih promena u procesu ravnog brušenja bez korišćenja SHP, izvršen je čitav niz eksperimentalnih ispitivanja i analiziran uticaj tehnoloških parametara na promenu mikrostrukture i mehaničkih svojstava pograničnog sloja.

Promena temperature u pograničnom sloju  $\Delta_i$  u zavisnosti od dubine sloja brušenja  $\delta_i = 0,015; 0,021; 0,030; 0,042$  i  $0,060$  mm, prikazana je oscilogramom poluveštačkog termosprega Alu-mel - Č 9780 [17], uz korišćenje oscilografa sa svetlosnom mrljom

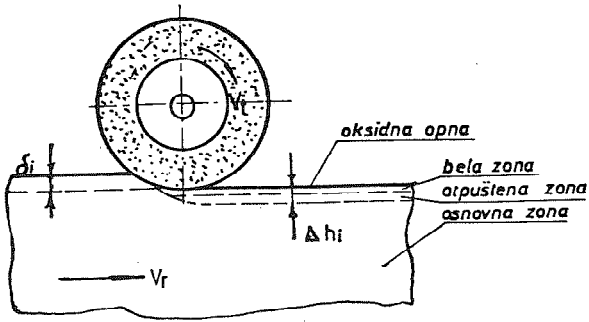


Prema tome, oscilogram prikazuje temperaturni zapis procesa brušenja sa navedenim parametrima bez korišćenja SHP.

Međutim, osnovna razlika između režima brušenja sa hlađenjem i bez hlađenja uočava se preko visine temperature brušenja, dubine progrevanja i strukturne transformacije u pograničnom sloju, zbog različite brzine hlađenja.

### 3. Termo-hemijske promene u pograničnom sloju, koje karakterišu sekundarnu termičku obradu

Intenzitet mikrostrukturnih transformacija u pograničnom sloju zavisi od visine temperature brušenja, a ova zavisi od parametara režima brušenja, kao što je prikazano na (Slici 3).



Sl. 3

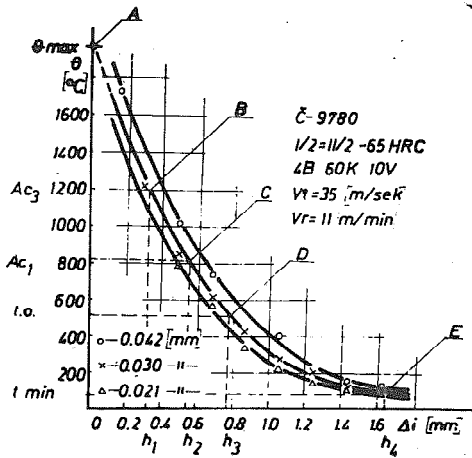
Uvažavajući dosadašnja istraživanja mnogih autora na polju merenja temperature u temperaturnom polju pri brušenju, ipak se može konstatovati nedostatak egzaktnih analitičko-termo-dinamičkih zavisnosti za promenu temperature po dubini pograničnog sloja, pa se najčešće pribegava eksperimentalnom određivanju uz korišćenje metoda sa opštim promenljivim, kao što je i ovim radom prikazano:

$$e_k = f(\Delta_i) \dots \dots \dots (1)$$

Osnovni cilj određivanja kontaktne temperature ( $e_k$ ) u pograničnom sloju ( $\Delta_i$ ), za različite dubine rezanja ( $\delta_i$ ), bio je registrovanje karakterističnih tačaka prekrystalizacije na osnovu kojih su uočavane zone sa odgovarajućim strukturnim preobražajima, koji i karakterišu sekundarnu termičku obradu [18].

Radi ilustrovanja navedenih preobražaja, prikazuju se eksperimentalne krive promene temperature po dubini pograničnog sloja za dubine rezanja:  $\delta_i = 0,042; 0,030$  i  $0,021$  mm/hodu, kao što prikazuje (Slika 4).

Posmatrana temperaturaa promena u pograničnom sloju je trenutna [12], tako da ne dolazi do topljenja pojedinih komponentata, ali su zbog visoke temperature ostvareni uslovi za prekrystalizaciju i sekundarnu termičku obradu.



Polazeći od dobijenih rezultata, proizilazi da se analiza uticaja temperature u pograničnom sloju može sagledati preko variranja parametara režima brušenja, a definiše se proširenim izrazom za kontaktnu temperaturu ( $\Theta_k$ ), koji ima konačan oblik:

Sl. 4

$$\Theta_k = C_e \cdot V_t^x \cdot \delta_i^y \cdot V_r^z \cdot K_h \cdot K_a \quad \dots \quad (2)$$

gde su:

$C_e$ ,  $x$ ,  $y$  i  $z$  - konstante, koje zavise od brusne ploče, radnog predmeta i drugih uslova mikrorezanja;

$K_h$  i  $K_a$  - popravni faktori, koji zavise od brusne ploče, radnog predmeta i aksijalnog koraka.

Vrednosti konstante  $C_e$  i eksponenata  $x$ ,  $y$  i  $z$ , kao i popravni faktora  $K_h$  i  $K_a$ , moguće je odrediti merenjem kontaktne temperature uz korišćenje statističkih metoda obrade rezultata.

Nestacionaran režim prenošenja generisane toplotne energije, po dubini pograničnog sloja, uzrok je termo-hemijskih reakcija i mehanizama prekrystalizacije, koji se mogu povezati sa karakterističnim temperaturnim tačkama na krivoj ABCDE, prema sl. 4, koja čini osnovu sekundarne termičke obrade [18] :

Površinska zona pograničnog sloja, čija je dubina  $\Delta h < h_1$ , u procesu brušenja zagreva se iznad  $AC_3$  do  $\Theta_{max}$ , a hlađenjem daje "sekundarno kaljenu zonu". Dubina ove zone zavisi od generisane toplotne energije, odnosno od dubine rezanja i odgova-

jućeg režima brušenja.

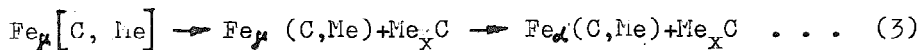
Novija ispitivanja [4], pokazuju da površinska zona graničnog sloja kod brzoreznog čelika, može sadržati i do 90 % sekundarnog austenita, koji zadržava vrlo veliku tvrdoću (65-67 HRC).

Nedjutom, mišljenja mnogih istraživača u vezi navedene pojave su podjeljena, ali preovladalo je, da površinsku zonu sačinjavaju: sekundarni austenit, zaostali austenit, od primarne termičke obfadi, karbidi (primarni i sekundarni) sa izrazito velikom tvrdoćom. Na suprot ovome, ispitivanja [9] potvrđuju da "belu zonu" ne sačinjavaju modifikacije austenita i karbida, već stuktura sekundarnog martenzita, koja u osnovi ima rešetku željeza bez karbida, što ukazuje na mogućnost površinskog razugljeničenja.

Prema tome, sekundarne kaljena zona-martenzit, nastao pri brušenju, koji se razlikuje od martenzita normalnog kaljenja i sekundarni austenit, koji se slabo nagriza u nitalu, uslovi li su naziv "bela zona".

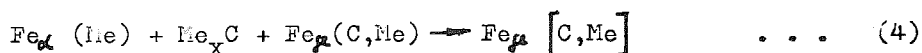
Na osnovu navedene analize, poreklo "bele zone" u pograničnom sloju u temperaturnom intervalu  $AC_3 + \Theta_{\max}$  [17], može se tumačiti na dva načina:

- a.- Transformacijom zaostalog legiranog austenita  $Fe_{\mu}[C, Me]$  uz izdvajanje ugljenika, odnosno specijalnih karbida  $Me_xC$  i osiromašenog austenita  $Fe_{\mu}(C, Me)$ , koji se hladjenjem transformiše u sekundarni martenzit  $Fe(C, Me)$ , prema termojednačini (3):



Ova transformacija mikrokonstituenata prema jednačini (3) obavlja se uz povećanje tvrdoće, što čini suštinu "sekundarne termičke obrade".

- b.- Reaustelitizacijom i ponovnim kaljenjem primarno termički obradjenih alata, čiju mikrostrukturu čine: odpušteni martenzit  $Fe_{\alpha}(Me)$ , specijalni karbidi  $Me_xC$  i zaostali legirani austenit  $Fe_{\mu}(C, Me)$ , intenzivnim zagrevanjem u pograničnoj zoni, pri brušenju, koji se transformiše u legirani austenit  $Fe_{\mu}[C, Me]$ , prema termojednačini (4):



Novonastali legirani austenit, prema jednačini (4), hladjenjem u pograničnom sloju ponovno prekrystalise prema zakonitostima jednačine (3) uz navedene promene stanja.



Kao dokaz ove teorije o pojavi "bele zone" u pograničnom sloju, može se iskoristiti KREINER-ov parametar kaljenja (P) i dopunjena zavisnost Hollomon-a i Jaff-a [16] prema jednačini (5):

$$P = T - (C - \log \tau) \quad \dots \quad (5)$$

gde je:

T - temperatura sekundarne termičke obrade [ $^{\circ}\text{K}$ ]

P - parametar tvrdoće, koji iznosi za vrednosti primarne termičke obrade brzoreznog čelika 56.000 + 59.000

C - konstanta, zavisi od čelika i prethodne termičke obrade

$\tau_A$  - vreme trajanja prekrystalizacije sec

Ako se ovi uslovi primene na površinsku zonu pograničnog sloja, dobijenog brušenjem uzoraka tvrdoće HRC = 64-65, a izmerena temperatura u temperaturnom polju pri brušenju

$\Theta_K$  1.400 $^{\circ}\text{C}$ , dobija se sledeće:

$\Theta_K = 1.400^{\circ}\text{C}$  leži u intervalu  $AC_3 + \Theta_{\text{max}}$ ;  $T = 1673^{\circ}\text{K}$

P = parametar tvrdoće 59.000

$\tau_A$  - vreme prekrystalizacije mikrokomponenti u pograničnom sloju

$$\log \tau = \frac{59.000 - 1673 \cdot 37}{1673}$$

$$\tau_A = 1 \times 10^{-3} \text{ sec}$$

Polazeći od toga da generisanje toplotne energije u sled elementarnog rada abrazivnog zrna ne prelazi  $9 \times 10^{-7}$  (sec), to da bi se mogle registrovati navedene promene u ovako kratkom vremenu, odzivno vreme instrumenta mora biti još kraće, što znači, navedene promene služe kao kriterijum za osetljivost registratora.

Prelazna zona graničnog sloja -  $\Delta h$ , čija je debljina sloja  $\Delta h = h_1 + h_2$ , zagreva se od  $AC_1 + AC_3$ , znači nepotpuna austenitizacija, što u procesu brzog hladjenja ne obezbeđuje potpunu prekrystalizaciju, tj. nepotpuno sekundarno kaljenje.

Interfazni položaj ove zone u graničnom sloju funkcionalno je zavistan od obavljenih termoreakcija, sekundarno kaljenje površinske i sekundarno otpuštene dubinske zone [17], uz karakteristično prisustvo mikrokonstituenata graničnih zona.

Dublja zona graničnog sloja -  $\Delta h$ , koja se kreće

$\Delta h = h_2 + h_3$ , zagreva se od  $(t_0) + AC_1$  i uslovljava nešto sporije hladjenje čime se izaziva raspadanje primarnog martenzita, a što u suštini predstavlja sekundarno otpuštanje.

Intenzitet sekundarnog otpuštanja je uslovljen visinom temperature  $\Theta > t_0$ , jer je toplotna postojanost brzoreznog čelika zavisna od  $(t_0)$ , kao završne operacije primarne termičke obrade.

Pojava dopunskih faznih transformacija mikrokonstituenata, primarne termičke obrade, dovodi do pada tvrdoće "sekundarno otpuštene zone" i ispod 50 HRC, a pri nagrizanju nitalom uočava se u vidu "tamne zone", odkuda joj i potiče naziv.

Sekundarno otpuštena zona, koja se nalazi ispod sekundarno kaljene zone, trpi velike mikrostrukturne i zapreminske promene, koje su uzrok zatežućih naprezanja, a ova izazivaju brusne prskotine i to posle brušenja, a ne u toku samog procesa.

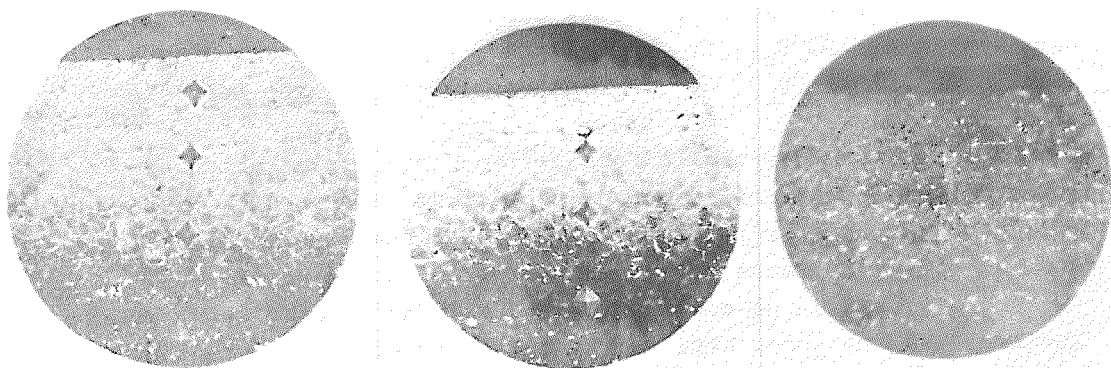
Mikrostrukturu pograničnih slojeva delova od Č.9780 termički obradjenih, posle brušenja različitim režimima sa istom brusnom pločom 4B60K 10V<sup>+</sup>, prikazuje slika 5a,b,c:

- a.-  $V_t = 35$  m/sec,  $V_R = 2$  m/min,  $S_B = 6$  mm/hodu,  $\delta_i = 0,12$  mm/hodu sa SHP, intenzivno izražena sekundarno kaljena "bela zona", a ispod ove otpuštena "tamna zona".
- b.- Parametri režima brušenja isti kao kod (a), samo bez SHP, "bela zona" nešto plića, a "tamna" dublja, i
- c.- nepromenjeni režim samo sloj brušenja  $\delta_i = 0,050$  mm/hodu, nema pojave "bele zone", već samo "tamna", što je potvrda nepromenjenog kvaliteta.

Komparacija mikrostrukture pograničnih slojeva ( $\Delta_i$ ) na slici 5a,b,c, jasno potvrđuje medjuzavisnost dubine sloja rezanja ( $\delta_i$ ) i visine temperature brušenja ( $\Theta$ ), što je već uočeno na dijagramu (sl. 4) i to:

---

+ Čanska brusna ploča proizvodnje Swaty.



5 %  $\text{MnC}_3$  a. 500:1

b. 500:1

c. Č.9780

Sl. 5 a, b, c

- i.- U površinskoj zoni  $\Delta h < h_1$  transformiše se martenzit u sekundarni austenit iznad 50 %, tako da su strukturne komponente "bele zone": sekundarni austenit, zaostali austenit, netransformisani martenzit i karbidi (primarni i sekundarni).
- ii.- Bela zona ima mikrotvrdoću oko 1160 HV, za razliku od osnove oko 790 HV, koju uglavnom sačinjava netransformisani martenzit, a što i jeste uzrok pojave površinskih naprezanja.
- iii.- U prelaznoj zoni  $h_1 < \Delta h < h_2$  prisutne su strukturne komponente kao i u površinskoj zoni, samo što je osnova martenzitna, a pošto je  $V_{H_1} > V_A$  to uslovljava pojavu brusnih prskotina.
- iv.- Pri brušenju sloja  $\delta_i < 0,050$  mm, u površinskoj zoni "raničnog" sloja ne pojavljuje se tvrda "bela zona".

v.- U dubljim zonama  $h_2 < \Delta h < h_3$  usled sporog zagrevanja i hlađenja dolazi do sekundarnog otpuštanja, pri čemu mikrotvrdća pada i ispod 800 HV, a struktura se sa nitalom "tamno nagriza".

#### 4. Zaključna razmatranja

Na osnovu obradjenih podataka dobivenih eksperimentalnim radom, mogu se istaći sledeći zaključci:

- i.- Registrovanjem transformacija strukturalnih mikrokomponenti u pograničnom sloju, mogu se odabrati parametri režima brušenja, i obrnuto, predstavlja poseban kriterijum optimizacije brušenja.
- ii.- Sekundarno kaljereći sloj, koji se uočava kao "bela zona", može nastati pri brušenju sirovog i termički obradjenog stanja brzoreznih čelika, samo sa velikom razlikom u dubini sloja i sadržaju zaostalog austenita, u korist drugog stanja.
- iii.- Sekundarni austenit u pograničnom sloju, koji nastaje pri brušenju, uzročnik je vrlo velikih unutrašnjih naprezanja, koja često dovode do pojave brusnih prskotina.
- iv.- Izrazito velika tvrdoća i velika krtoš sekundarnog austenita u "beloj zoni" može se objasniti posebno velikim mikrodeformacijama kristalnih rešetki, koje nastaju u nestacionarnom procesu naglih temperaturnih promena.
- v.- Registrovanje zaostalog austenita u sekundarno termički obradjenoj zoni pograničnog sloja, može se koristiti i kao kriterijum za ocenu sposobnosti brušenja različitih čelika.
- vi.- Na temelju navedenih ispitivanja strukturalnih preobražaja, mogu se definisati funkcionalne zavisnosti između dubine pograničnog sloja, u kome se uočavaju efekti sekundarne termičke obrade i prisustva sekundarnog austenita, kod istog čelika sa različitim polaznom strukturom, kao i kod različitih čelika sa istom polaznom strukturom, što ima veliki uticaj na eksploatacione karakteristike.

Sumiranjem rezultata istraživanja o uticajnosti promene mikrostrukture u pograničnom sloju, proizilazi:

- 1.- Pri rentabilnom poslovanju sa intezivnijim režimima obrade promene su neizbežne, a to se odražava na postojanost proizvoda u eksploatacionom periodu, i
- 2.- Onemogućavanjem strukturnih transformacija u pograničnom sloju poboljšava se kvalitet proizvoda, ali gubi se u ekonomicnosti i produktivnosti.

Očigledno da za ovako oprečne pojave nužno je tražiti optimalna rešenja, što podrazumeva dalje angažovanje i dalja društvena ulaganja na ovoj problematici.

#### 5.- Literatura

- [1] Bobrov V.F., Reznikov A.N. i dr.-Kolektiv autorov - Razvitie nauki o rezanii, Moskva, 1967.
- [2] Bokučava G.V., Temperatura rezanija pri šlifovanju. Vestnik Mašinstroenija, 1963. Nr. 11
- [3] Cokur A.K., Vlijanije uslovij šlifovanija na termičeski režim poverhnostnyh sloev, Izvestija VUZ, Mašinstroenie, 1973.
- [4] Celler A.J. Instrumental'nye stali, Metallurgija, Moskva, '68.
- [5] Ippolitov G.M. Abrazivno-almaznaja obrabotka, Moskva, 1969.
- [6] Isaev A.I., S.S. Silin, Metodika rasčeta temperatur pri šlifovanii, Vestnik mašinstroenija, 1959., Nr. 5, s. 54-59
- [7] Jaščericin P.I., Karaim I.P., Šlifovanie metallov, Belarus Minsk, 1970.
- [8] Lur'e G.B., Šlifovanie metallov, Mašinstroenie, Moskva, 1960
- [9] Maslov E.N., Teorija šlifovanija materialov, Mašinstroenije, Moskva, 1974.
- [10] Popov A.S., Dibner L.G., Zatočka režuščego instrumenta
- [11] Rigvall B., Wirtschaftliche Grobbearbeitung durch Schleifen Werkstatt und Betrieb 103, 1970, Nr 1, s. 67-71
- [12] Sauvaiet C, Les Phenomenes d'usure au contact de la piece et de l'outil formation de la couche blanche en rektification. Rev. franc. mec., 1966, Nr 18-19, 31-49
- [13] Stade G., Technologie des Schleifens. Carl Hanser Verlag, München, 1962
- [14] Vil'ner S.S., Vlijanie uslovij šlifovanija na strukturu i ostatočnye napraženiija obrabotannyh poverhnostej. Režuščie instrumenty, 1969, Nr. 12, s. 1-15

- [15] Vul'f A.M., Rezanie metalov iud II-go, Ilašinostoenie, Leni-  
ngrad, 1973.
- [16] Novosel M., Kinetika strukturnih pretvorbi ledeburitnih a-  
latnih čelika sa 12% Cr pri popuštanju, doktorska diserta-  
cija, branjena na Sveučilištu u Zagrebu, 1974.
- [17] Radulović M., Promjene kvalitete toplinski obradjenih ala-  
ta od brzoreznih čelika utjecajem topline pri brušenju, do-  
ktorska disertacija branjena na Sveučilištu u Zagrebu, 1976.
- [18] Radulović M., Sekundarna termička obrada brzoreznog čelika,  
kao posledica generisane toplotne energije u procesu bruše-  
nja, II naučno-stručni skup, IMA '79, Novi Sad

M. Radulović

KINETICS OF STRUCTURAL TRANSFORMATIONS IN THE  
BOUNDARY LAYER OF HIGH SPEED STEELS IN THE  
PROCESS OF GRINDING

In this work is treated influence of generated heat energy, caused by grinding, to forming of boundary layer of the working piece, with great structural transformations. Scope of phase and structural conversion is dependent on transformation of mechanical energy of micro-cutting into heat energy and on height and change of temperature by depth of boundary layer, which is cause of secondary heat treatment.

Generated heat energy in the contact zone, during grinding, is dependent on parameter of manner of grinding, that is: speed of cutting, speed of auxiliary movement, depth of cutting and relation between hardness of working piece and grinding wheel.



XIV, SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK 1980.

F. Roethel, M. Dobovšek\*)

IZBIRA SISTEMOV ZA ELEKTROEROZIJSKO OBDELAVO ORODIJ ZA PREOBLIKOVANJE\*\*)

## 1. Uvod

V zadnjih letih dobimo na našem tržišču vrsto elektroerozijskih naprav, ki pa so žal vse uvožene. Zaradi sorazmerno velike ponudbe je investitorju težko izbrati najprimernejšo novo napravo. Naprave se razlikujejo med seboj po zmogljivosti (t.j. hitrosti odvzema materiala ( $V_w$ )), po kakovosti izdelka (t.j. točnosti oblike izdelka in najmanjši dosegljivi hrapavosti površine), po načinu delovanja naprave (EDM naprave za grezenje ali rezanje s krmiljeno žico), po velikosti in nosilnosti delovne mize in pinole, po sistemu za oblikovanje EDM impulzov v generatorju in po ceni. Izbira načina delovanja, velikosti in točnosti naprave je vezana predvsem na vrsto, velikost in zahtevnost izdelkov, ki jih bomo na taki napravi izdelovali. Čas izdelave in kvaliteta površine, ki jo bomo z obdelavo dosegli sta odvisna predvsem od vrste generatorja, servosistema in krmiljenja naprave.

## 2. Kriteriji za izbiro EDM naprave

Glavni kriteriji za izbiro obdelovalnega postopka so bili v naši literaturi že obravnavani /1/. To so sposobnost transformacije izdelka, zagotovitev kvalitete in rentabilnost procesa. Kaj lahko naredimo z EDM grezenjem ali rezanjem z žico že vemo /2/. Tudi vplivi naprav na izdelavo željene površine so iz dosedanjih domačih /3, 4, 5, 6, 7/ in tujih objav že znani. Najpomembnejši

---

\*) Franc Roethel, dr.mag.ing., prof. Fakultete za strojništvo v Ljubljani, Ljubljana, Murnikova 2  
Marjan Dobovšek, dipl.ing., asistent Fakultete za strojništvo v Ljubljani, Ljubljana, Murnikova 2

\*\*\*) Izdelano na Fakulteti za strojništvo, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Murnikova 2. Delo je finansiral Sklad Borisa Kidriča v Ljubljani in slovenska industrija, predvsem Železarna Ravne na Koroškem in Zlatarna Celje.

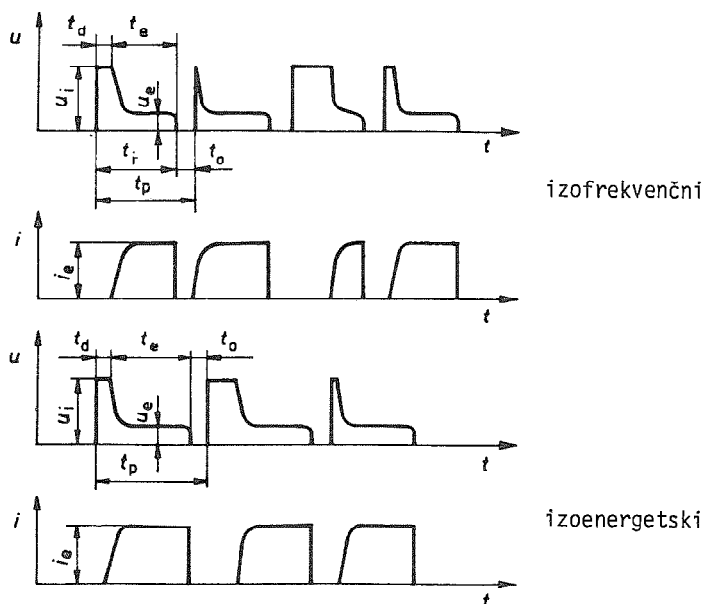


kriterij pri izbiri naprave pa je zanesljivo gospodarnost procesa in s tem naprave. Glavni parametri gospodarnosti so: nabavna cena naprave, časovna izkoriščenost naprave, stroški surovca, stroški orodja, stroški dodatnih sredstev (dielektrik, mazanje, čiščenje itd.), stroški vzdrževanja naprave, potrebni obdelovalni pripomočki, kvalifikacija delavca pri napravi, hitrost obdelave, mrtvi in obdelovalni čas, velikost serije izdelkov in sposobnost servisa, ki mora ukrepati v primeru okvare. Vse te parametre si lahko sami izračunamo /1/. Večji problem nastane, ko se je potrebno odločiti ali bomo uporabili (kupili) izofrekventni ali izoenergetski generator. Enake obdelovance iz orodnega jekla pri zelo podobnih nastavnih parametrih različnih naprav so že skušali primerjati /8/. Vendar drugje teh analiz niso več opravili. Zato smo opravili primerjalno raziskavo na domači karbidni trdini G-2.

### 3. Karakteristike primerjanih EDM generatorjev

Za EDM uporabljamo različne vrste generatorjev, ki se med seboj razlikujejo po načinu krmiljenja. Primerjavo elektroerozivne obdelovalnosti smo opravili na dveh osnovnih tipih, ki sta pri nas najbolj v uporabi. Na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani smo imeli na razpolago napravo AGIETRON 600AB z izofrekventnim generatorjem AGIEPULS 45K in v podjetju ISKRA napravo CHARMILLES D20 z izoenergetskim generatorjem ISOPULS P50. Pri izofrekventnem generatorju si sledijo impulzi s konstantno frekvenco ( $s_1, 1$ ), čas razelektritve ( $t_e$ ) v posameznih impulzih se spreminja in je odvisen od zakasnitve vžiga ( $t_d$ ). Pri izoenergetskem generatorju pa je čas razelektritve ( $t_e$ ) konstanten pri spreminjajoči se frekvenci impulzov ( $f_p$ ). Frekvenca je pri njem odvisna od zakasnitve vžiga ( $t_d$ ). V ugodnejših delovnih okoliščinah bi lahko izbrali primernejše objekte preskusov, ki bi dali natančnejše primerjave in rezultate. Tako pa smo opravili le teste za našo industrijo, ki jih je nujno potrebovala. V tabeli navajamo osnovne značilnosti testiranih elektroerozivnih naprav.

G E N E R A T O R	Način delovanja			IZOFREKVENTNI	IZOENERGETSKI
	Prosta napetost	$u_i$	V	100	80
Povp. razel. tok	$\bar{i}_e$	A	5 - 75	1,1 - 72	
Čas impulza	$t_i$	$\mu s$	3 - 2000	2 - 1600	
Čas intervala	$t_o$	$\mu s$	7 - 2000	2 - 1600	
Impulzni faktor	$\tau$	-	0,065 - 0,94	0,02 - 0,97	
SERVO SYSTEM	Servosistem			Elektromehanski	Elektrohidrav.
	Hitr. reak. servo			Hz	20



Slika 1 Tokovne in napetostne karakteristike impulzov na izofrekventnem in izoenergetskem generatorju /8/

#### 4. Meritve obdelovalnosti

Teste smo delali na osnovi nastavnih parametrov, ki jih je uporabljal tudi CIRP "E" tehnični komite za kooperativne raziskave med evropskimi inštituti. Za primerjavo torej lahko dopuščamo do 20 % odstopkov. Izbrali smo čas impulza  $t_i = 3, 10, 30, 100 \mu s$  ter razelektritveni tok  $i_e = 10$  in  $25 A$  pri negativni polariteti in impulzni faktor  $\tau = 0,5$  pri prosti napetosti  $u_i = 100 V$  in pretoku dielektrika  $q = 0,3 \text{ cm}^3/s$ . Pri izofrekventnem generatorju smo z logičnim analizatorjem /10/ določili impulzno frekvenco ( $f_p$ ) in impulzni faktor ( $\tau$ ). Servosistema sta bila nastavljena na optimalne pogoje obdelave. Z elektrodama iz elektrolitskega bakra (ECu) in volframbakra (WCu) s premerom 15 mm in izvrtino 3 mm smo obdelovali karbidno trdino G-2.

Pri meritvah na EDM napravi z izofrekventnim generatorjem smo uporabljali "logični" analizator EDM impulzov, ki je omogočil meritve vsote števila posameznih tipov impulzov med testom (število prostih impulzov  $N_s$ , število učinkovitih razelektritev  $N_e$ , števila abnormalnih razelektritev  $N_{ea}$ , število kratkih stikov  $N_s$ ) in ustreznih relativnih parametrov ( $\lambda_i, \lambda_e, \lambda_{ea}, \lambda_s, \Phi$ ) /9/.

Pri meritvah na EDM napravi z izoenergetskim generatorjem logičnega analizatorja zaradi tehničnih težav nismo uporabljali. Pri krmiljenju EDM procesa na izoenergetskem generatorju smo delali z Monitronom, ki operaterja opozori na pojav abnormalnih razelektritev in kratkih stikov; ne omogoča pa štetja posameznih tipov impulzov in meritev relativnih parametrov. Vsoto časov smo izračunali.

Pri meritvah z izofrekventnim generatorjem smo imeli relativni čas razelektritve  $\Phi = t_e/t_i = 0,85$ , Razlika med  $t_e$  in  $t_i$  ni presegala 20 %. Zato smo rezultate meritev obdelovalnosti na obeh generatorjih lahko med seboj primerjali (sl. 2 in 3).

Meritve oziroma izračun vsote časov razelektritev ( $\Sigma t_e$ ) so omogočile izračun hitrosti odvzema materiala na čas razelektritve ( $V_{wt_e}$ ) in hitrosti obrabe elektrode na čas razelektritve ( $V_E t_e$ ) (sl. 4, 5).

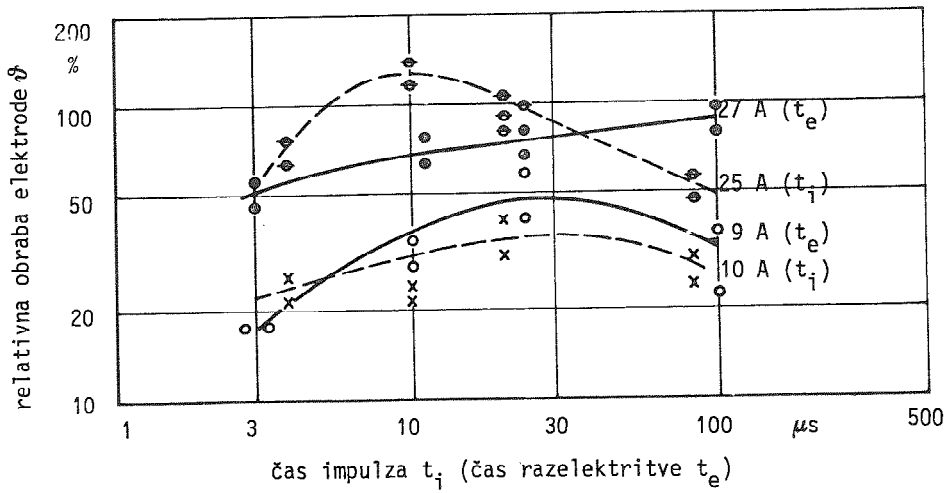
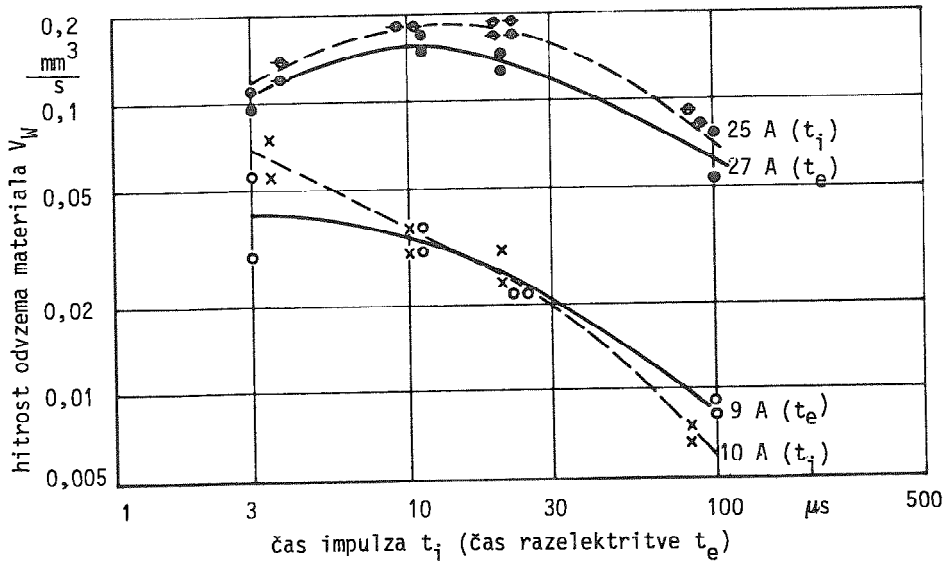
Razlike v  $V_{wt_e}$  so manjše predvsem v območju stabilnejšega poteka EDM procesa na obeh napravah, kjer je verjetnost pojava kratkih stikov in abnormalnih razelektritev manjša. V tem področju dela je manjša tudi napaka pri izračunu  $\Sigma t_e$  na izoenergetskem generatorju.

Meritve hrapavosti površin  $R_a$  in  $R_{max}$  so pokazale, da tudi v hrapavosti površin pri uporabi obeh generatorjev ni večjih razlik.

## 5. Sklep

Iz navedenega in meritev lahko sklenemo:

1. raztros rezultatov meritev na izofrekventnem in izoenergetskem generatorju je velikostnega reda raztrosa rezultatov posameznega istovrstnega generatorja;
2. obe vrsti procesa tudi pri karbidni trdini ne kažeta večjih razlik kot pri obdelavi orodnega jekla /8/;
3. na učinkovitost procesa ima večji vpliv operater (sl. 2/4 ali sl. 3/5) kot vrsta generatorja - zato se izplača operaterja primerno izobraziti;
4. za nadzor procesa (in krmiljenje) uporabljajmo nove dobre merilne sisteme, ki bodo omogočili operaterju nadzor nad procesom;
5. vpliv generatorjev na razlike v hrapavosti površin ni bistven;
6. pri nabavi se odločajmo z ozirom na druge primerjalne parametre kot so cena, servis itd.



PREIZKUSEVALNI POGOJI:

Elektroda : Ecu  $\phi 15/3$  (-)  
 Obdelovanec: G-2  
 $q=0,3 \text{ cm}^3/\text{s}$

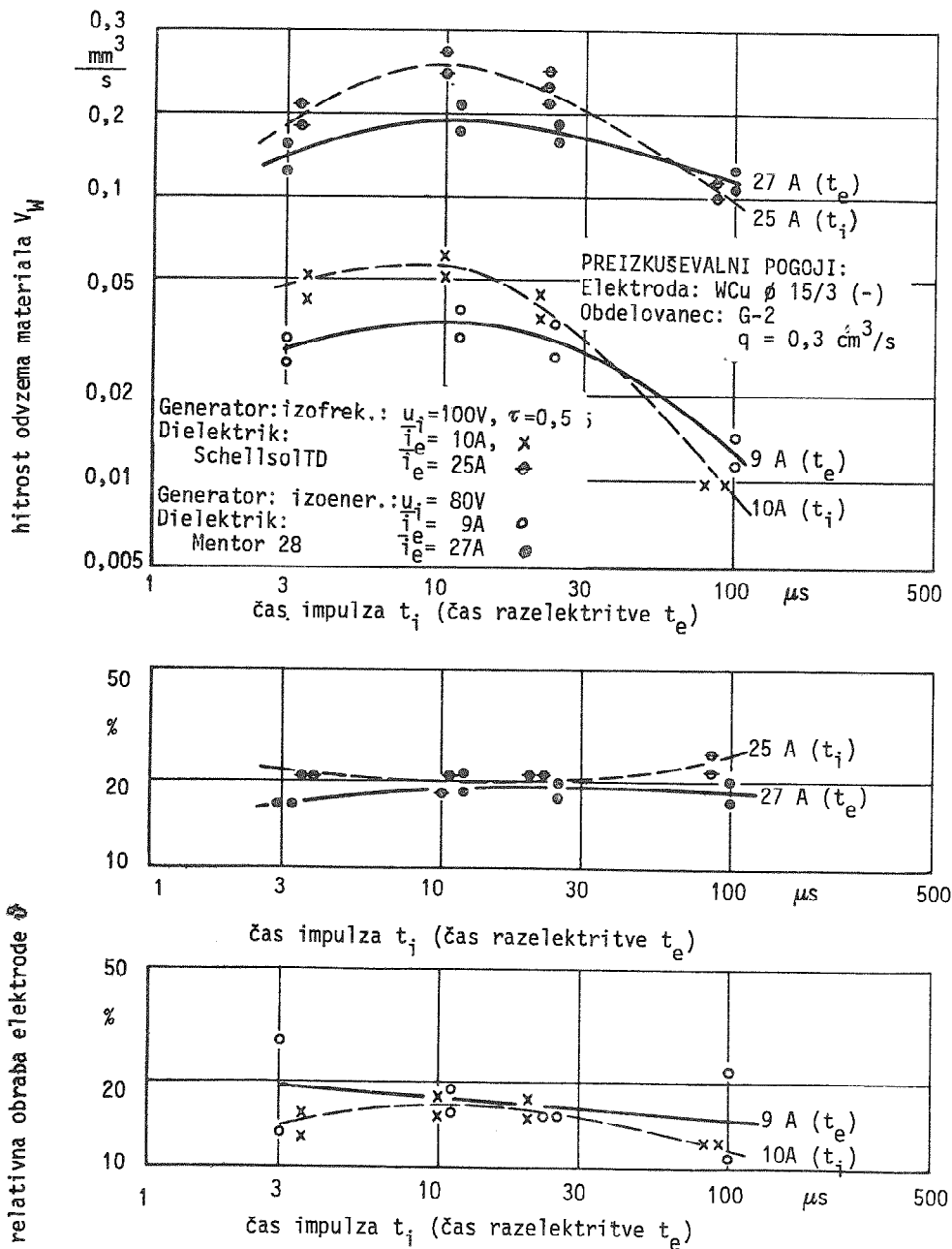
Generator: izofrek.  $u_i = 100 \text{ V}$ ,  $\tau = 0,5$

Dielektrik:  $\bar{i}_e = 10 \text{ A}$  x  
 Schellsol TD  $\bar{i}_e = 25 \text{ A}$  ◆

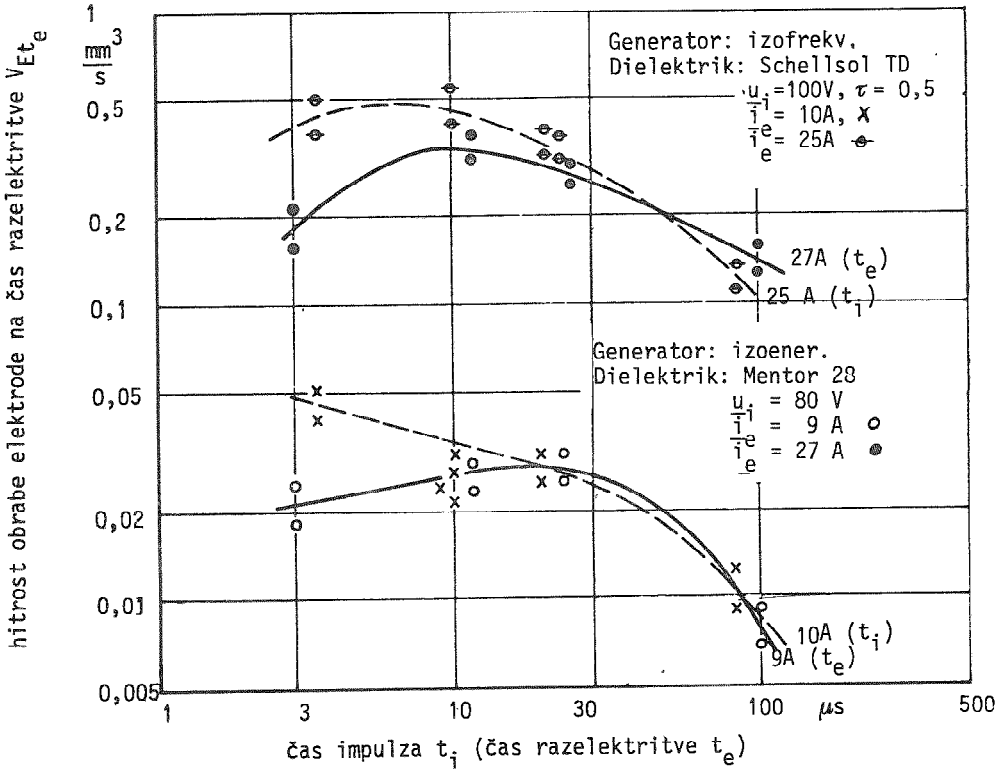
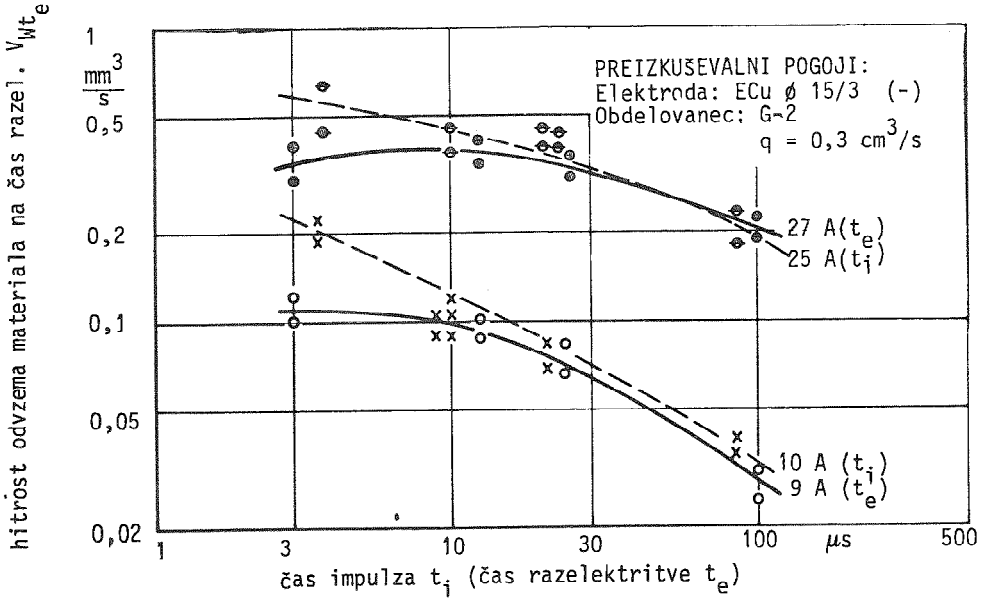
Generator: izoener.  $u_i = 80 \text{ V}$

Dielektrik:  $\bar{i}_c = 9 \text{ A}$  ●  
 Mentor 28  $\bar{i}_e = 27 \text{ A}$  ●

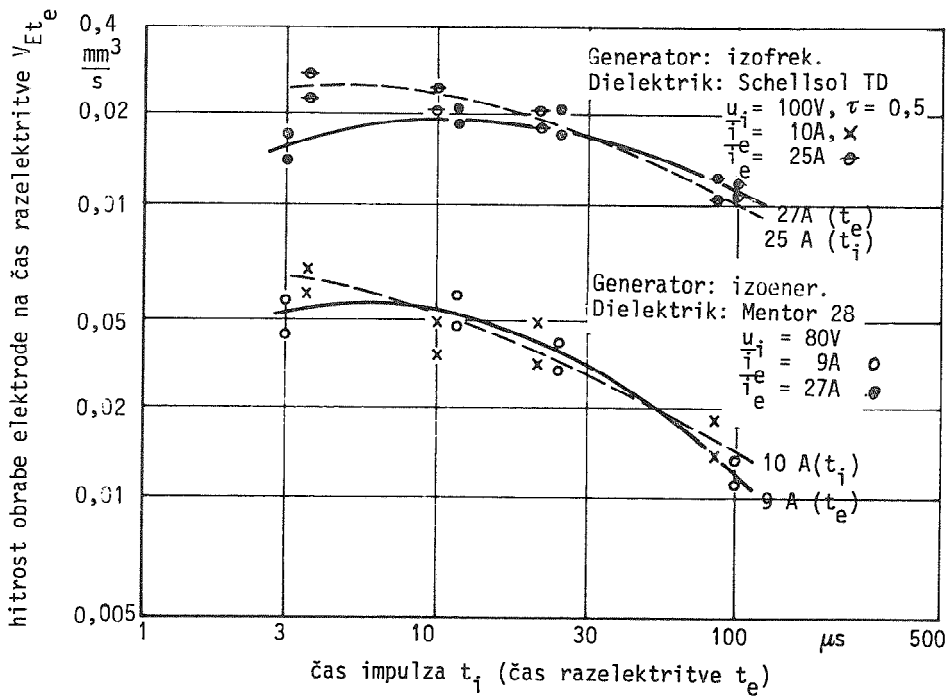
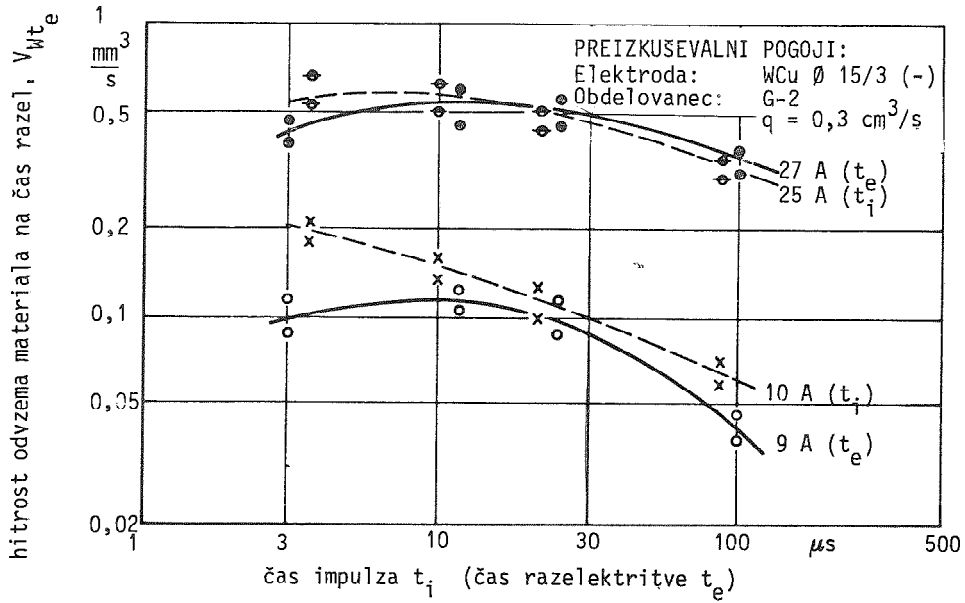
Slika 2 Odvisnost hitrosti odvzema materiala in relativne obrabe elektrode od časa impulza (časa razelektritve)



Slika 3 Odvisnost hitrosti odvzema materiala in relative obrabe elektrode od časa impulza (časa razelektritve)



Slika 4 Odvisnost hitrosti odvzema materiala in obrabe elektrode na čas razelektritve od časa impulza (časa razelektritve)



Slika 5 Odvisnost hitrosti odvzema materiala in obrabe elektrode na čas razelektritve od časa impulza (časa razelektritve)

Reference

- /1/ Roethel, F.: Nekaj misli o izbiri posebnih tehnoloških postopkov za obdelavo; Strojniški vestnik, 1977, št. 1-2, str. 23 - 28.
- /2/ Roethel, F.: Elektroerozijska obdelava na naših tleh; Strojniški vestnik, 1976, št. 11 - 12, str. 325 - 332.
- /3/ Avtorski kolektiv: Obdelovalnost domačih materialov z elektroerozijo; poročilo LAKOS, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1977, št.194/77,40.
- /4/ Dobovšek, M., Roethel, F.: Prispevek k raziskavam obdelovalnosti po postopku EDM; 11. jugoslovensko svetovanje za proizvodstveno mašinstvo, 2, Ohrid 1977, str. 179 - 188.
- /5/ Roethel, F., Kosec, L., Garbajs, V.: Contribution to the Microanalysis of the Spark eroded Surfaces; Annals of the CIRP, Vol. 25/1/1976, s.135-140.
- /6/ Kosec, L., Roethel, F., Garbajs, V.: Kennzeichen von Randzonen beim funkenerosiven bearbeiten; Fertigung, 1978, št. 1, str. 9 - 13.
- /7/ Roethel, F.; Dobovšek, M., Garbajs, V.: Primerjava lastnosti domačega in tujega materiala za utope pri obdelavi z elektroerozijo. Zbornik objav - I, XII. jugoslovanskega posvetovanja proizvodnega strojništva, Maribor, 1978, str. 12.1 do 12.10.
- /8/ Cornelissen, H., Snoeys, R., Kruth J,P.; Technological surfaces, an objective criterion for comparing EDM-systems; CIRP Annals 1978, Vol,27/1, 1978, str. 101 - 106.
- /9/ Garbajs, V., Mikac, S., Roethel, F.: Meritve EDM parametrov; Zbornik na trudovi - 11. jugoslovensko svetovanje za proizvodstveno mašinstvo, 2, Ohrid, 1977, str. 156 - 166.

F. Roethel, M. Dobovšek

The Choice of the Systems for EDM of Forming Tools

A relatively rich choice of different EDM machines makes it difficult to the user to select the most appropriate new machine for him. Machines differ among themselves by their capacity, quality of the product, by the functioning system and by the system for the formation of EDM pulses in the generator. In this study the electro-discharge machinability of cemented carbides was analyzed on EDM machines by iso-frequency and iso-energetic generator. The investigation has shown that the operator can influence the efficiency of the EDM process more than the type of the generator. It is therefore important to make it possible to the operator to measure the efficiency of the EDM process during the machining. Only on this condition, the operator will be able to control the process in an appropriate way and to reach optimal working conditions at machining of different workpieces. The two types of the generators used in the investigation have proved to exert no essential differences as regards machinability and surface quality. The scatter of the results of particular generators of the same type is bigger than the differences between the systems.





XIV. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980.

Z. Seljak, J. Jelenc \*)

UPORABA KLASIFIKATORJEV PRI AVTOMATIZACIJI STREGE IN MONTAŽE \*\*)

### 1. Splošno o klasificiranju za strego

Ob stalnih naporih za izboljšanje učinkovitosti pri obdelavi različnih sestavnih delov strojev in naprav smo v preteklosti uvajali v industrijsko proizvodnjo načela grupne tehnologije in odgovarjajoče klasifikacijske sisteme. V tem primeru smo skušali racionalizirati predvsem obdelavo tako, da smo obdelovance zvrstili po geometrični podobnosti, kar je lahko koristilo konstrukterju pri snovanju novih elementov, ali pa po tehnološki podobnosti, da bi lahko uporabili za tehnološko podobne obdelovance enako ali podobno obdelavo.

Načela klasificiranja je možno prenesti tudi na različna orodja in naprave /1, 2/, kakor tudi na obdelovance, za katere bi radi avtomatizirali strego pri obdelavi. Za racionalno izbiro in oblikovanje strežnih naprav moramo sistematično obdelati niz vplivnih dejavnikov. Obnašanje obdelovancev je pogojeno z vsoto stanj enega ali skupine obdelovancev, na katere vplivajo zunanje sile. Pri tem odločilno vplivajo lastnosti in porazdelitev obdelovancev. Tako moramo upoštevati vse vplive in omejitve obdelovancev, da bi lahko določili optimalno rešitev strežne naprave. S premišljenim upoštevanjem lastnosti obdelovancev lahko bistveno poenostavimo njihovo strego. Lahko pa imamo tudi obdelovance, katerih oblike otežkočajo transport in dodajanje. Razna izbočenja in kljukaste oblike dovedejo do zatikanja. Za mirujoče obdelovance je interesan-

---

\*) Z. Seljak, prof.dr., dipl.ing. na Fakulteti za strojništvo, Ljubljana, Murnikova 2

J. Jelenc, dipl.ing., Iskra Železniki

\*\*) Delano na katedri za obdelovalno tehniko, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Murnikova 2

tna oporna ploskev, stabilnost in možnost smotrnega skladanja. Pri različnih vrstah gibanja v različnih položajih obdelovancev so zelo pomembne sposobnosti kotalenja in drsenja ali pa nagib pri kotalenju in drsenju. Zaradi posebnih lastnosti obdelovancev se določene funkcije dostikrat izključujejo. Tako je npr. že vnaprej izključena funkcija zalogovnika za obdelovance, ki imajo občutljivo površino, so lomljivi ali morajo ostati v določeni legi. Tudi vibracijskih dodajalnikov ne moremo uporabiti za dodajanje takih obdelovancev.

S sistematično razčlenbo splošno veljavnih lastnosti lahko tudi na področju strege pridemo od poskušanja in prilaganja na študij posameznih rešitev. Razvijamo lahko večnamenske strežne naprave, če ponudimo konstrukterju in tehnologu primerne smernice. Zato je na mestu uporaba primerne sistematike, ki olajša izbiro in konstruiranje strežnih naprav.

S kodnima sistemoma, ki sta opisana v naslednjih poglavjih želimo doseči:

- vrsto priročnika konstrukterjem pri oblikovanju obdelovancev in
- smernice konstrukterjem naprav pri izbiri strežnih naprav in obdelovalnih postopkov.

## 2. Klasifikacijski sistem za strego

Klasifikacijski sistem /3/ lahko služi konstrukterju za lažje in hitrejše oblikovanje obdelovancev tako, da jih bo mogoče avtomatično orientirati, podajati, zlagati itn. Omogočeno mora biti, da lahko s kodnim sistemom opišemo strežne karakteristike določenega dela. Tako imajo vijaki, zatiči in sorniki, za katere lahko uporabimo enake dodajalne in urejevalne naprave, tudi enake klasifikacijske številke. Ob tem navadna geometrična klasifikacija ne bi odgovarjala, ker imajo npr. vijaki in sorniki različne geometrične elemente, predstavljajo pa enak problem pri stregi. Nasprotno imajo lahko deli z geometrično podobnostjo različne urejevalne in podajalne lastnosti in s tem tudi različno klasifikacijsko številko. Npr. na valjastem delu vrežemo navoje na obeh konceh. V primeru, da sta navoja enako dolga, tudi pri orientaciji ni problema. V primeru,

SL. 1.: KODNI SISTEM MALIH DELOV ZA AVTOMATIZACIJO STREGE  
IZBIRA PRVE STEVILKE

	L/D < 0,8 (glej opomba 4)	0,8 ≤ L/D ≤ 1,5 (glej opomba 4)	L/D > 1,5 (glej opomba 4)	L/D < 0,8 (glej opomba 4)	0,8 ≤ L/D ≤ 1,5 (glej op. 4)	L/D < 1,5 (glej op. 4)	A/B ≤ 3 A/C ≥ 4 (glej opomba 5)	A/B > 3 (glej opomba 6)	A/B ≤ 3 A/C ≤ 4 (glej opomba 5)	deli, ki so zamontani in se jih ne da opredeliti v eno od zgorajjih rubrik
rotacijski deli (glej opomba 1)										
trikotni in štirikotni prizmatični deli (glej opomba 2)										
kvadrasti deli (glej opomba 3)										
mesani deli										

PRVA STEVILKA

ko dolžini navoja nista enaki, se pretvori enostaven urejevalni primer v zelo zapletenega, čeprav je geometrija tega elementa zelo podobna prejšnjemu primeru.

Klasifikacijski sistem za majhne dele je deloma prikazan na sliki 1, kjer so ilustrirani primeri stopnjevanja zapletenosti geometričnih oblik. Tako bo v tem primeru veljala za vijak, ki ima enake navoje na obeh koncih, klasifikacijska številka 200. To pomeni da ima element enake urejevalne lastnosti in zahteve kakor navaden valjasti zatič. V primeru pa, ko sta dolžini navojev neenaki, bo veljala kl. številka 281. To pomeni, da spada del v tako skupino elementov, ki se zelo težko orientirajo. Če je le mogoče, se takim delom skušamo izogniti.

Iz povedanega sledi, da nas klasifikacijski sistem in postopek klasificiranja opozori na oblikovne specifičnosti elementov glede na urejanje in strego. Kadar nam klasifikacijska številka pokaže, da je del neugoden za strego, ga lahko poskušamo rekonstruirati. Dostikrat funkcija elementa dopušča tako preoblikovanje, da je potem za strego neugoden.

### 3. Razdelitev obdelovancev na skupine obnašanja

Opisani ključ dokaj podrobno razčlenjuje elemente različnih oblik in lastnosti pri stregi. Taka nadrobna razčlenitev vedno ni potrebna in zato imamo tudi bolj preprost pristop /4, 5/, ki je prikazan na sliki 2. Obdelovance s podobnimi in enakimi lastnostmi pri različnih strežnih funkcijah bomo združili v karakteristične skupine obnašanja. V vsaki skupini izberemo reprezentanta za celotno skupino, ki predstavlja značilne lastnosti obnašanja. Tako smo uspeli skrčiti celoten asortiment na 12 različnih zastopnikov obnašanja. Že po "obliki obdelovanca" lahko porazdelimo obdelovance k posameznim skupinam obnašanja. V razpredelnici slike 2 so prikazane: možne lege mirovanja, verjetna lega pri padanju, drsenju in kotalenju, ugodna lega obdelovancev za urejeno podajanje in skladanje, kakor tudi nasuti obdelovanci v bunkerjih. Nadalje so še dodatne lastnosti, ki vplivajo na prikazano stanje. Stanje "stabilnost lege"

Tip obdelovanca	prizadete dodatne funkcije	odločilne lastnosti	Prizadete dodatne funkcije
Stanje obdelovanca			
mirujoči položaj	teža		
kotalenje	teža stabilnost položaja spesobnost skladanja občutljivost površine tesnost		
v skupini neurejen	podažanje občutljivost površine tesnost		

vpliva na možne lege mirovanja in zato ga moramo upoštevati pri razvoju podajalnih in urejevalnih naprav ter magazinov.

Ako delamo samo z 12 predstavniki, lahko zgubimo določene specifičnosti, ki jih imajo posamezni elementi. To pomankljivost je potrebno upoštevati, vendar je končni efekt le pozitiven. S podrobno študijo 12 predstavnikov nam je v znatni meri omogočeno pokriti obširno problematiko. Če nam uspe definirati splošno veljavne lastnosti obnašanja za določeno skupino obdelovancev, lahko zanje tudi definiramo primerne strežne naprave. Posebnosti, ki jih predstavljajo posamezni obdelovanci, rešimo s prilagajanjem.

Prireditvev določenega obdelovanca k odgovarjajoči skupini je relativno enostavno in zanesljivo, kadar se njegovo obnašanje lahko definira. Od primera do primera lahko pride do "nepredvidenih prireditvenih problemov". Rešujemo jih z ocenjevanjem ali z eksperimentom. Taki obdelovanci so sicer v manjšini, vendar jih moramo zvrstiti v določeno skupino obnašanja:

V skupini k a v l j a s t i h d e l o v so združeni obdelovanci najrazličnih oblik, katerih tipično obnašanje je v tem, da se lahko medsebojno zakavljajo. Ukrivljeni deli iz žice in trakov, ploščati deli z zarezi in utori, kakor tudi votli in masivni deli, ki imajo take oblikovne elemente, s katerimi se obdelovanci medsebojno zatikajo. Prireditvev k tej skupini obnašanja je razmeroma enostavna, ker se nasuti v bunkerju hitro medsebojno zveržijo. To so deli, ki so za strego zelo neugodni - varovalne podložke, batni obročki, spiralne vzmeti, ploščati deli z zakrivljenimi robovi itn.

P l o š č a t i d e l i so karakteristični po dvodimenzionalnih razmerah ( $C/A$ -razmerje:  $0 \leq C/A \leq 0,49$ ) in zato nastopajo pretežno v tej "ploščati" prednostni legi pri prostem padanju. Obdelovanci imajo lahko poljubne oblike in oblikovne elemente, prevladati morajo v vsakem primeru ploske oblike obdelovancev. Pri tem se ne smejo medsebojno spenjati ali zveržiti. Primeri: platine, priležne plošče, plošče z odprtinami itn.

Med c i l i n d r i č n e d e l e štejemo vse cilindrične obdelovance brez oblikovnih odstopkov z razmerjem med dolžino in premerom  $0,5 \leq C/A \leq 30$ . Ti obdelovanci sicer smejo imeti oblikovne odstopke, vendar ne z zakrivljenimi osmi. Primeri: gladki sorniki, gredi in palice ali isti obdelovanci z utorji, zarezi, izvrtinami itn. Primeri: ročica<sup>s</sup> prekrižanimi osmi in protiutežni, iztiskanci in izkovki.

V skupini k l a d a s t i h d e l o v so zbrani kladasti, masivni obdelovanci s prizmatično obliko. Ti obdelovanci imajo lahko oblikovne elemente, vendar ne oblikovnih odstopkov. K tem spadajo kocke, kvadri, trikotne ali štirikotne oblike z razmerji  $0 \leq C/A \leq 30$ .

V skupino s t o ž č a s t i h d e l o v spadajo obdelovanci splošne stožčaste oblike, poševni ali ravni, polni ali odrezani stožci. Obdelovanci imajo lahko oblikovne elemente, vendar ne oblikovnih odstopkov. Primeri: stožčasti valjčki, centrirni stožci, stožčasti štrclji z aksialno izvrtino in utorom ipd.

K skupini p i r a m i d a s t i h d e l o v prištevamo pravilne in splošne piramidaste oblike. Lahko imajo oblikovne elemente, ne smejo pa biti stopnjevani ali imeti drugačne oblikovne odstopke. Primeri: klini, dvojni klini, piramidasti obdelovanci.

V skupino g o b a s t i h d e l o v spadajo vsi enostavno odstavljene deli, cilindrične, prizmatične, stožčaste ali piramidaste oblike in kombinacije teh oblikovnih elementov z enostavno odstavitvijo. K tej skupini štejemo standardne dele, kot so: vijaki, kovice itn.

Tankostenski in debelostenski v o t l i d e l i , ki niso zaprti na vseh straneh in so cilindrične, prizmatične, stožčaste oblike ali iz teh oblikovnih elementov sestavljene oblike tvorijo to skupino. Ako so votli deli zaprti z vseh strani, jih obravnavamo kot masivne dele. Sem spadajo cevaste in okvirne oblike, lončasti obdelovanci, pločevinasti deli in ulita ohišja. Ti obdelovanci lahko imajo oblikovne odstopke. Primeri: pokrovi, doze, distančne tuljke itn.



Obdelovanci, ki so večkrat odstavljani, ali imajo oblikovne odstopke brez ukrivljene osi obdelovancev tvorijo skupino *s e s t a v - l j e n i h d e l o v*. Obdelovanci so lahko rotacijsko simetrični ali rotacijsko nesimetrični iz teh oblik kombinirani deli. Predvsem so tu kombinirani deli iz cilindrov, kvadrov, krogel, stožcev, prizm in podobnih oblikovanih elementov. Primeri: večkrat stopnjevane gredi, ročilne gredi, odmične gredi itn.

*N e r e g u l a r n i m a s i v n i d e l i* tvorijo skupino obdelovancev z ukrivljenimi in križajočimi osmi in predvsem masivne oblike, pri čemer so cilindrične in kvadraste oblike izpolnjene z maso do približno 1/3 do 2/3. Vsekakor ovojno telo ne karakterizira dobro to vrsto obdelovancev. V to skupino spadajo predvsem stiskani in kovani deli, kakor tudi masivni obdelovanci.

V posebno skupino štejem *k r o g l a s t e o b d e l o v a n c e*. Primeri: kroglice za kotalne ležaje, polkrogle, odrezke krogel, sestavljeni krogelni odrezki, lečasti obdelovanci in kroglasti deli z oblikovnimi elementi.

























V skupino *d o l g i d e l i* štejem polne-, ploščate - in votle profile z izmerami  $C/A < 30$  pa do materialov s kolutov. Primeri: jekleni trak s koluta, žica s svitka, palice, trakovi itn.

Iz gornjih opisov in prikaza na sliki 2 imamo dano možnost grupiranja obdelovancev po lastnostih pri stregi. Podobno bomo lahko grupirali strežne naprave in tako postopoma oblikovali katalog rešitev. Tak pristop nam omogoča veliko racionalizacijo dela pri konstruiranju strežnih naprav.

#### 4. Klasifikacijski sistemi za sestavne dele malih elektromotorjev

Za elektromotorsko proizvodnjo je značilno, da nastopajo sestavni deli rotacijskih oblik. To so sestavni deli rotorja, vležajenje, pa tudi okrovi so običajno valjaste oblike. Ploščate dele - kolute, ki imajo prvo številko "0" običajno izsekujemo iz trakov in gredo iz orodja neposredno v posebno prirejene šaržerje. Tako

Slika 3: IZBIRA PRVE ŠTEVILKE KODNEGA SISTEMA ZA SESTAVNE DELE MALIH ELEKTROMOTORJEV

ROTACIJSKI DELI	$L/D < 0,8$ koluti	0				
	$0,8 \leq L/D \leq 1,5$ kratki valji	1				
	$L/D > 1,5$ dolgi valji	2				
TRIKOTNI IN ŠTIRIKOTNI PRIZMATIČNI DELI	$L/D < 0,8$ ploščati deli	3				
	$0,8 \leq L/D \leq 1,5$ kubični deli	4				
	$L/D < 1,5$ dolgi deli	5				
KVADRASTI DELI	$A/B \leq 3; A/C > 4$ ploščati deli	6				
	$A/B > 3$ dolgi deli	7				
	$A/B \leq 3; A/C \leq 4$ kubični deli	8				
MESANI DELI	Deli, ki so zamotani in se jih ne da opredeliti v eno gornjih rubrik	9				

PRVA ŠTEVILKA

potem odpade orientiranje. Transportiranje v delovni položaj pa se običajno vrši s prijemali (slika 3).

Kratke valje, ki imajo prvo številko "1" orientiramo z lončastimi vibratorji. Pravilni delovni položaj dosežemo z ustreznimi orientacijskimi zaporami. Iz drče pa jih potem z ustreznimi prijemali transportiramo v delovno pozicijo. Isto velja tudi za rotorske gredi, vijake in kovice. Posebno pri gredeh je pogosto slučaj, da so za transportiranje z okroglimi vibratorji predolge. Zato se največkrat poslužujemo linearnih vibratorjev. Tudi pri orientaciji in transportu kubičnih delov, ki imajo prvo številko "8" se najčešče poslužujemo okroglih vibratorjev. Posebno težak problem pa predstavljajo mešani deli, ki smo jih razporedili pod številko "9". Ti se izredno radi zatikajo in sprijemajo.

Iz povedanega sledi, da nam klasifikacijski sistemi omogočajo urejanje posameznih elementov v skupine. Za skupine lahko veljajo primerne strežne naprave, ki so najustreznejše po svoji konstrukciji in funkciji. Taka izbira pri projektiranju dejansko omogoča optimalne rešitve z majhnim vlaganjem naporov in ugodnimi rezultati dela.

#### Literatura

- /1/ Z. Seljak: Optimizacija proizvodnje s klasifikacijskimi sistemi; 1. seminar. Ljubljana 1969.
- /2/ Z. Seljak: Klasifikacija orodij, naprav in strojev; 2. seminar, Ljubljana 1971.
- /3/ G. Boothroyd: Coding system for small parts for automatic handling.
- /4/ Scharf: Entwicklungssystematik für Handhabungseinrichtungen. VDI-Berichte Düsseldorf VDI-Verlag 1971, Nr. 166, S.125-128.
- /5/ E. Frank: Das Ordnungsverhalten von Werkstücken bei automatischer Handhabung. wt-Z.ing.Fertigung 62(1972) Nr. 3, s.154-160.

/6/ J. Jelenc: Avtomatizacija strežnih funkcij v proizvodnji malih elektromotorjev. Interno poročilo Iskra (rokopis) 1980.

#### Summary

#### The Use of Clasifications Systems at Automatization of Handling and Assembly

In order to increase the seriality of machining the principles of group technology have been introduced for some years now. A special problem appears at classifying of workpieces in planning of handling devices for automatic handling of workpieces from the machining process or at assembly. In the design of handling devices, the workpiece forms with respect to their classification ability and their course in the handling devices have to be taken into account.

Suitable codifying systems for workpieces can then be inserted into corresponding handbooks in order to facilitate the designer's work in the designing of particular elements for an easier handling. Further, groups of workpieces which are similar for feed and classification, can be given in handbooks. At the same time a selection of appropriate classifying or other handling devices in the machining and assembly can be prepared.



Vertical line of text or a barcode-like artifact running along the right edge of the page.

XIV. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980.

Z. Seljak, M. Pahor<sup>\*)</sup>

UPORABA KALKULATORJEV ZA IZRAČUN OPTIMALNIH OBDELOVALNIH POGOJEV<sup>\*\*)</sup>

Na področju obdelave z odrezovanjem smo v preteklosti za planiranje obdelovalnih pogojev v veliki meri uporabljali tabele, nomograme ali celo posebna logaritmična računala. Tak način ni posebno natančen, še manj pa je natančno delo po čisto intuitivni poti s takoimenovanimi "izkustvenimi vrednostmi". V zadnjem času se v večji meri uveljavljajo kalkulatorji z možnostjo programiranja in z njimi lahko določamo optimalne pogoje za posamezne obdelovalne stroje, obdelovalni material in orodje. V tem prispevku bomo prikazali možnosti, ki jih taki kalkulatorji omogočajo pri planiranju in optimiranju obdelovalnih pogojev.

Na splošno velja, da njihove zmožnosti niso dovolj izkoriščene. V največ primerih niso dovolj obdelani programi. Dodatno k temu obstoja dostikrat tudi strah pred nabavo novih računalniških naprav, češ, v teku leta se lahko pojavi izboljšana verzija računalnika oz. kalkulatorja, ki bi v celoti lahko prekosila obstoječega. Taka oklevanja niso upravičena, ker je za novitete potrebna določena sposobnost presoje in dovolj hitrega odločanja.

Spremenjeni stroškovni elementi, izboljšani orodni materiali in zahteva po izkoriščanju nadaljnih racionalizacijskih rezerv vodijo do vedno bolj temeljitega izkoriščanja gospodarsko optimalnih pogojev pri obdelavi z odrezovanjem. Kolikor bolj skušamo dovršeno preračunavati obdelovalne pogoje, tem bolj moramo pazljivo upoštevati vse vplive na obdelovalne pogoje in stroške obdelave. Upoštevanje široke palete vplivov zahteva tudi znatnih naporov, kar pa

<sup>\*)</sup> Zoran Seljak, prof.dr., dipl.ing. na Fakulteti za strojništvo, Ljubljana, Murnikova 2;

Marčelo Pahor, ing., na Fakulteti za strojništvo, Ljubljana, Murnikova 2

<sup>\*\*\*)</sup> Izdelano na katedri za obdelovalno tehniko, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Murnikova 2

je vprašljivo, če s tem tudi dosežemo zadostni učinek. Zato bomo skušali pripraviti kolikor mogoče poenostavljen postopek za zanesljivo in hitro delo na področju priprave dela.

Zamudna priprava obstojnostnih diagramov in vrednosti o rezalnih silah z merjenjem obrabe in sil pri rezanju za posamezne obdelovalne materiale je razumljiva pri velikoserijski proizvodnji. Pri srednje - in maloserijski proizvodnji lahko uporabljamo le smernice, ki se nanašajo na obdelovalni in orodni material. Za vsak posamezni obdelovalni primer žal vedno ne moremo ugotavljati optimalnih obdelovalnih vrednosti.

Pri maloserijski proizvodnji ugotavljamo dostikrat potrebne vrednosti o obstojnosti orodja šele pri obdelavi prvih obdelovancev. Na osnovi posameznih vrednosti skušamo potem ugotoviti konstante obstojnostne enačbe in optimalne obdelovalne pogoje. Vrednotenje poskusov in ugotavljanje optimalnih pogojev obdelave mora biti kolikor mogoče hitro izvedeno. Med obdelavo ne smemo delati prekinitev v proizvodnji, ker bi s tem nanесли nepotrebne stroške. Brez dvoma ima v takem primeru kalkulator z možnostjo programiranja in vnašanja določenih podatkov na magnetne kartice veliko prednost. Izračune lahko opravimo direktno ob stroju in tako odpadejo tudi čakalni časi. Čas pristopa k izračunavanju je za naslednje primere ocenjen tako: /6/

- žepni kalkulator z možnostjo programiranja 1 min
- namizni računalnik 5 do 10 min
- veliki računalnik odvisno od načina pristopa 10 do 100 min.

Iz povedanega izhaja, da majhni računalniški sistemi dajejo velike praktične možnosti in s tem tudi doprinos k znatnim prihrankom.

## 2. Računalniški programi za optimizacijo

Z razvitimi računalniškimi programi za izračun cen, časov obdelave ali programom za izračun optimalnih obdelovalnih pogojev omogočamo tehnologu pri znanih stroškovnih enotah hitro in eno-

stavno izbiro pogojev dela, ki pogojujejo minimalno ceno obdelave ali minimalni čas obdelave glede na ciljno funkcijo. Zgoraj navedeni programi so pripravljene za obdelavo na žepnem računalniku Hewlett-Packard HP 67 (prikaz rezultatov na zaslonu), vendar so direktno uporabni tudi na računalnikih HP 97 in HP 41 C, kjer imamo izpis rezultatov na termalni papir in s tem možnost priprave tehnoloških listov. Pri kalkulatorjih HP 41 C bi bilo smotrno zaradi velike zmožnosti teh kalkulatorjev (do 400 programskih korakov, 63 spominskih registrov, z moduli tudi 2000 programskih korakov, alfanumerični znaki) obstoječe programe razširiti z omejitvami obdelovalnega procesa. Pripravili pa bi lahko tudi module za posamezne ali skupne obdelave in se s tem približali vrednotenju obdelovalnih pogojev na večjih računalniških sistemih, vendar bi bil v tem primeru čas pristopa krajši. Na sliki 1 so prikazani trije predstavniki programskih žepnih računalnikov in pripomočki, ki jih uporabljamo pri pripravi programov. Z majhnimi programskimi korekturami je možno obstoječe programe uporabiti tudi na podobnem računalniku Texas Instruments TI 59. /4, 5/.

## 2.1 Model izračuna in uporaba programov

### - Izračun časa in cene obdelave

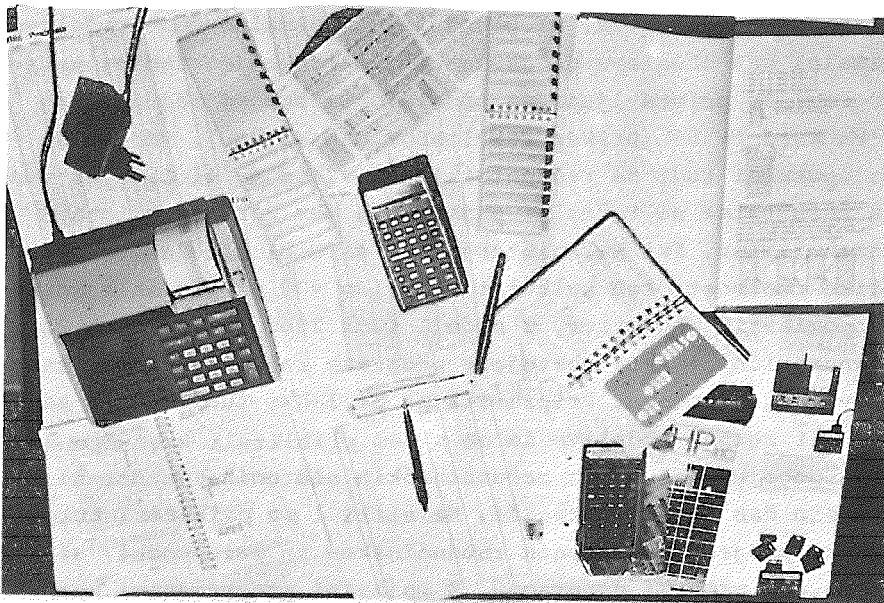
Pri struženju smo uporabili naslednji enačbi: /1, 2, 3/ za izračun časa oz. cene obdelave

$$t = \frac{\pi d (e+L_0)}{1000 \cdot s \cdot v} + \frac{2e+1+L_0}{r} + t_L + \frac{t_a}{N_L} + \frac{d \cdot L_0 \cdot \pi}{1000 \cdot s \cdot v \cdot T} \quad /min/ \quad (1)$$

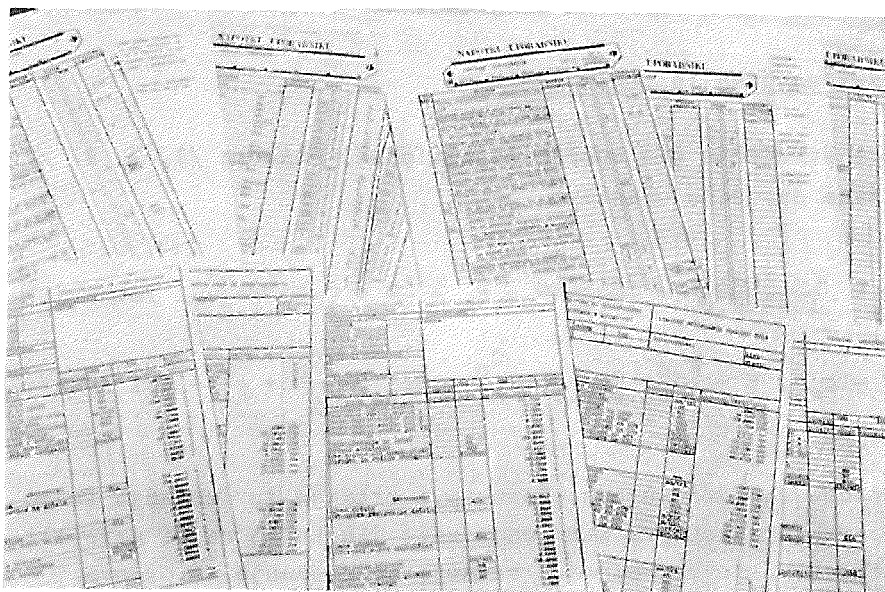
$$C = c_m \cdot t + \frac{\pi \cdot d \cdot L_0}{1000 \cdot s \cdot v \cdot T} \left( \frac{C_p}{k_1+1} Gt_s + \frac{Gt_b}{k_2} + \frac{C_c}{k_3} + C_w \right) \quad /din/ \quad (2)$$

Enačbe za izračun cen, časov pri vrtanju in frezanju imajo podobno strukturo kot pri struženju zato jih tukaj ne bi navajali /1/. Enačbe 1, 2 in ustrezne za vrtanje in freziranje so osnovni algoritem za izdelavo programa cena, čas obdelave. Potek obdelave podatkov je prikazan na sliki 3. Predviden je izračun pri različ-





Slika 1: Žepni računalniki z možnostjo programiranja  
HP 67 in HP 97 z programi



Slika 2: Formularji za uporabo optimizacijskih programov

ličnih obdelovalnih postopkih ali v primeru struženja več rezov. Iz prikaza slika 3 je razvidno, da lahko izračunamo cene in čase za neomejeno število primerov, tako da spremenimo le določene podatke in ugotovimo njih vpliv na ceno ali čas obdelave. V primeru, da bomo podatke, ki smo jih vstavljali z majhnimi korekturami večkrat uporabili, jih lahko spravimo na magnetne kartice in tvorimo banko podatkov na karticah za skupino orodje - obdelovanec - stroškovne enote. Na sliki 2 so prikazani napotki za uporabo programov in formularji za prenos tehnoloških informacij do uporabnika ali za prenos podatkov v banko podatkov. Podrobneje so ti napotki in formularji opisani v literaturi /2, 8/.

#### - Izračun optimalnih obdelovalnih pogojev

Pri struženju izračunamo optimalne obdelovalne pogoje z odvajanjem enačb 1, 2 po "v"

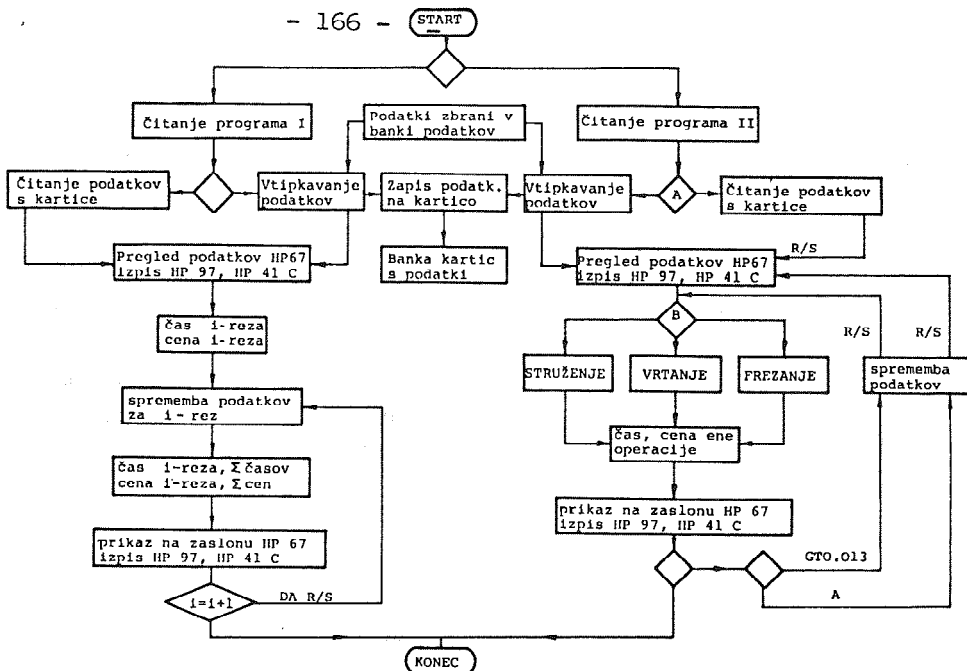
$$\frac{\partial C}{\partial v} = 0 \quad (3) \quad \text{in} \quad \frac{\partial t}{\partial v} = 0 \quad (4)$$

tako dobimo optimalno rezalno hitrost oziroma obstojnost glede na ceno obdelave ali čas obdelave. Lahko bi ceno in čas obdelave odvajali tudi po "s" vendar je ugotovljeno /3/, da se z večjim podajanjem cena oz. čas obdelave manjšata. Po izvajanju enačb 3 in 4 dobimo naslednji enačbi za optimalne obdelovalne pogoje, ki sta osnovna algoritma programa optimiranje.

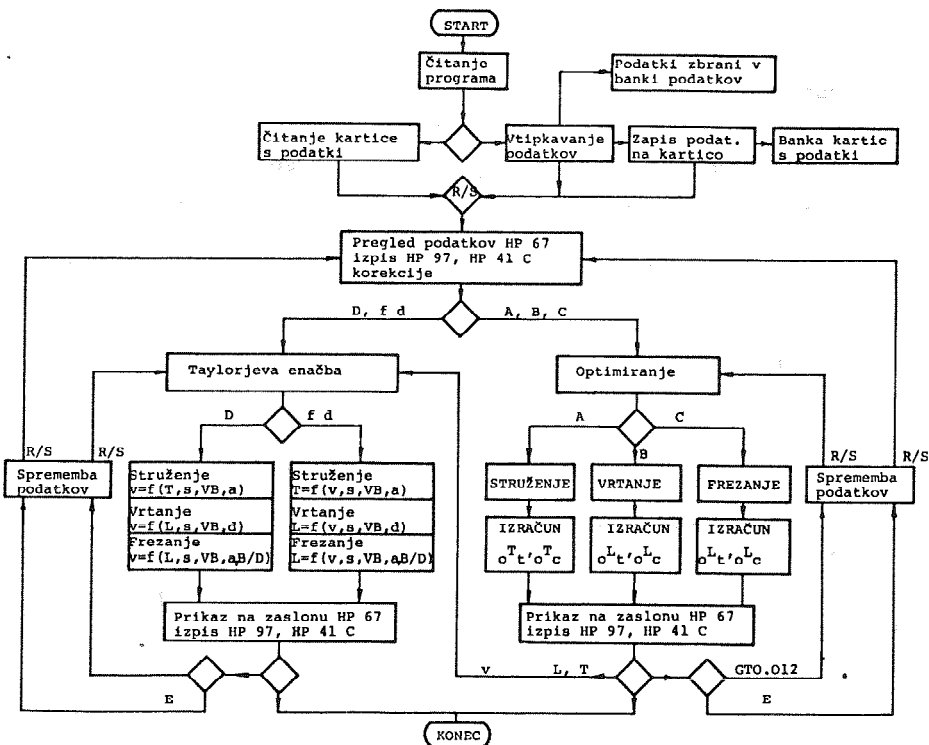
$$O^T_C = \left(-\frac{1}{E_3} - 1\right) \left(t_s + \frac{C_c}{C_m}\right) \quad (5)$$

$$O^T_t = \left(-\frac{1}{E_3} - 1\right) t_s$$

Potek izračuna optimalnih obdelovalnih pogojev je prikazan na sliki 4. Tudi tu lahko spremenimo le določene podatke, tvorimo banko kartic z podatki in uporabimo napotke in formularje prikazane na sliki 2 za prej opisane primere.



Slika 3: Potek izračuna cen, časov obdelave



Slika 4: Potek izračuna optimalnih pogojev dela in izračuni vrednosti po Taylorjevi enačbi

Optimalne obdelovalne pogoje pri vrtanju in frezanju dobimo s parcialnim odvajanjem ustreznih enačb /1/. Te enačbe so v programu zajete in jih lahko uporabimo za izračun.

- Izračun vrednosti po razširjeni Taylorjevi enačbi oblike

$$v = \text{CONST} \cdot s^{E1} \cdot a^{E2} \cdot T^{E3} \cdot VB^{E4} \quad (7)$$

oziroma

$$T = \left( \frac{v}{\text{CONST} \cdot s^{E1} \cdot VB^{E4} \cdot a^{E2}} \right)^{1/E3} \quad (8)$$

Enačbi 7, 8 uporabimo za izračun optimalnih rezalnih hitrosti iz optimalnih obstojnosti (5, 6) kar je prikazano na sliki 4. Lahko pa sta v pomoč tehnologu za izračun hitrosti oz. obstojnosti orodja kot funkcija ostalih obdelovalnih pogojev. S spreminjanjem podatkov lahko to izvedemo za neomejeno število primerov. Pri vrtanju in frezanju sta enačbi podobni ter ju program zajema in izvede izračun, če vstavimo ustrezne podatke - po napotkih slika 2.

Z uporabo zgoraj opisanih postopkov smo izvedli primere izračunov /2, 8/ in dosegli zadovoljive rezultate.

### 3. Zaključek

Z razvojem navedenih programov še ni pokrito celotno področje uporabe programskih žepnih računalnikov v obdelovalni tehniki, ampak predstavlja le smernico za nadaljnje delo in razvoj programov, ki bodo tehnologom in ostalim uporabnikom omogočali hitro in enostavno vrednotenje obdelovalnih pogojev. Smernica za nadaljnje delo bi bila izdelava programov:

- statistično vrednotenje rezultatov meritev sil in obstojnosti
- izdelava programov za izračun ostalih obdelovalnih vrednosti, ki jih tehnolog potrebuje
- razširitev uporabe na ostale obdelovalne postopke

- izdelava programov, ki bi upoštevali tudi omejitve procesa (predvsem na HP 41 C)
- pri HP 41 C priprava modula, ki bi vse naštete in obstoječe programe združeval.

Predvsem pa ne smemo pozabiti na pomembnost uvajanja programskih računalnikov v tehnološke oddelke in priprave kadra, ki jih bo programiral in uporabljal.

#### 4. Literatura

- /1/ Michael Field, Norman Zlatin: Computer approach for storage of machinability data and calculation of machining costs and production rates, Pergamon press, Oxford 1967
- /2/ Kopač Janez: Magistrsko delo; Obdelovalnost nodularne litine in optimizacija obdelovalnih pogojev z uporabo računalnika, Ljubljana 1980
- /3/ Zoran Seljak: Informacijski centri za obdelovalne podatke in metodologijo dela  
Alojz Sluga: Optimiranje obdelovalnih pogojev pri struženju, Fakulteta za strojništvo, Seminar 4, 1977
- /4/ N.N: HP-67 Owner's Handbook and Programing Guide, Standard Pac ... 1976
- /5/ N.N: Napotki za uporabo žepnega programskega računalnika HP 67, tipkopis 1979 - slovenščina
- /6/ U. Klipcera, Schnittdatenwahl: Optimierungsstrategien und Herstellkosten, VDI-Z 120 (1978) Nr. 18
- /7/ K. Kraus, Sigmaringen: Einsatz programmierbarer Taschenrechner in der Spanenden Fertigung, - REFA
- /8/ G. Spur, H. Sinning: Kosten optimale Prozeslenkung bei der Drehbearbeitung, HGF 77/5
- /9/ U. Klipcera: Ermittlung der Schnittbedingungen mit Taschenrechnern, TZ f.prakt. Metallbearb.69, leto 1975, št. 6

- /10/ Shaw, Avery, Frankman: Experience with Manual Adaptive Control, Annals of Cirp, Vol. 27, 1. 1978
- /11/ Kais, Hijink, Wolf: A Computer Aid in the Optimization of Turning Conditions in Multi - Cut Operations, Annals of the Cirp, Vol. 27, 1. 1978.

##### 5. Summary

###### The Use of Calculators for the Calculation of Optimal Machining Conditions

The preparation of optimal machining conditions depends upon the size of the series, the repeatability of the series, and machining procedure on a NC- or conventional machine tool. For large scale series machining it is worthwhile to put in great efforts, while for small scale series or individual machining the determination of optimal machining conditions is based solely on some directives because particular calculation would be too long.

New possibilities are provided by using programmable pocket calculators. They allow a very short preparation time before the calculations and therefore all calculations can be done directly at the machine or parallelly when a certain manufacturing procedure is divided into particular phases. At programmable calculators the preparation time before the calculation takes 1 minute, at small table calculators this takes 5 to 10 minutes while a large computer takes 10 to 100 minutes. From our example it is evident too that the use is quite simple too.

Faint, illegible text covering the majority of the page, possibly bleed-through from the reverse side.



XIV. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980.

Z. Seljak, J. Kopač, J. Barbič, M. Pahor, A. Sluga \*)

OPTIMIZACIJA OBDELOVALNIH POGOJEV IN MEJE ZAUPANJA \*\*)

1. Uvod

Doslej je bilo opravljenih veliko študij, ki obravnavajo optimiranje pogojev obdelave /1, 2/. Te študije bazirajo na determinističnih podatkih o obstojnosti orodja, pa tudi na probabilistični osnovi rezalnih vrednosti. Pri upoštevanju naključnega značaja obstojnosti rezalnih orodij pri obdelavi kovinskih materialov, največkrat jemljemo povprečno obstojnost orodja, ki predstavlja 50 % mejo povprečne zanesljivosti /3, 4/.

Tako ohlapna povprečna zanesljivost ni primerna za praktično uporabo v proizvodnji. Zaradi tega postavljamo meje zaupanja, ki so v neposredni zvezi s standardno deviacijo obstojnosti orodja. S povečanim raztrosom obstojnosti orodja bo tudi meja zaupanja postavljena znatno nižje, kar pomeni nižje obdelovalne pogoje.

Pri manj ugodnih obdelovalnih pogojih, ko imamo v obdelovalnem materialu napake, ali ko se orodje skrha zaradi vpliva neugodnih odrezkov, bo raztros znatno večji kakor pri normalnih obdelovalnih pogojih. Izračunane vrednosti bodo nižje, kakor v primeru, ko teče proces odrezavanja brez motenj. Iz tega sledi, da bo rezultat v takem primeru dvakratno neugoden. V našem primeru si bomo ogledali le vpliv raztrosa na obdelovalne pogoje.

---

\*) Zoran Seljak, prof.dr., dipl.ing.  
Janez Kopač, mag., dipl.ing., asistent  
Janez Barbič, dipl.mat.  
Marčelo Pahor, ing.

Alojz Sluga, mag. dipl.ing., asistent  
vsi na Fakulteti za strojništvo, Ljubljana, Murnikova 2

(\*) Izdelano na katedri za obdelovalno tehniko, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Murnikova 2



Ob tem je zelo pomembno vprašanje, kolikšen vpliv na ceno obdelave ima tak povečan raztros obstojnosti orodja. Z optimizacijskim algoritmom, ki prav tako vključuje povečan raztros, pa so določeni optimalni pogoji dela za določene vhodne podatke.

## 2. Statistični model obstojnosti orodja

Pri opisovanju obrabe rezalnih orodij, se običajno zadovoljimo s klasičnim Taylorjevim modelom, ki predstavlja, da je obraba orodja VB lognormalna slučajna spremenljivka s porazdelitveno funkcijo /5/:

$$F_{VB}(\tau) = P(VB \leq VB(\tau)) = \Phi\left(\frac{1}{\sigma} \ln \frac{\tau}{e^{c_0 v c_1 s c_2 a c_3 t c_4}}\right) \quad (1)$$

kjer so  $v, s, a$ , rezalni pogoji,  $t$  čas rezanja,  $c_0, c_1, c_2, c_3, c_4$  Taylorjeve konstante, ki jih dobimo s statistično obdelavo eksperimentalnih podatkov z metodo najmanjših kvadratov,  $\sigma$  standardna deviacija osnovnega lognormalnega modela,  $\Phi$  pa Gaussov integral:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}f^2} df$$

Nepristranska cenilka povprečne vrednosti spremenljivke VB je:

$$\overline{VB} = e^{\frac{1}{2}\sigma^2 + c_0 v c_1 s c_2 a c_3 t c_4}$$

S porazdelitveno funkcijo  $F_{VB}(\tau)$  najdemo porazdelitev časa obstojnosti orodja  $T_{VB}$  glede na predpisano obrabo orodja  $VB_{0,4}$ :

$$\begin{aligned} F_{T_{VB}}(\tau) &= P(T_{VB} \leq \tau) = 1 - P(VB \leq VB_{0,4}) = \\ &= 1 - \Phi\left(\frac{1}{\sigma} \ln \frac{VB_{0,4}}{e^{c_0 v c_1 s c_2 a c_3 t c_4}}\right) = \end{aligned}$$

$$= \Phi \left( \frac{c_4}{6} \ln \frac{\tau}{\frac{V_{B0,4}}{\left( \frac{c_0}{e} \frac{c_1}{v} \frac{c_2}{s} \frac{c_3}{a} \right)^{1/c_4}}} \right)$$

Porazdelitev  $F_{T_{VB}}$  ima prvi moment /6/:

$$T_{VB} = e^{\frac{1}{2} \left( \frac{\tau}{c_4} \right)^2} \left( \frac{V_{B0,4}}{\left( \frac{c_0}{e} \frac{c_1}{v} \frac{c_2}{s} \frac{c_3}{a} \right)^{1/c_4}} \right) \quad (2)$$

### 3. Optimizacija obdelovalnih pogojev

Za odvzem materiala količine  $v / \text{cm}^3$  želimo določiti fiksne tehnološke parametre,  $v, s, a, t$  tako, da bodo zadovoljene naslednje omejitve:

- omejitve na stroju

$$v_{\min} \leq v \leq v_{\max}$$

$$s_{\min} \leq s \leq s_{\max}$$

$$a_{\min} \leq a \leq a_{\max}$$

$$v \cdot s^{1-z} \cdot a \leq 6 \cdot 10^4 \cdot \eta \cdot P \cdot \sin^z(\alpha) / k_{z1.1}$$

$$s^{1-z} \cdot a \leq 2 \cdot 10^3 \text{ Mt}_s \cdot \sin^z(\alpha) / d_o \cdot k_{z1.1}$$

- omejitve na orodju

$$s^{1-z} \cdot a \leq F_{v\max} \sin^z(\alpha) / k_{z1.1}$$

$$r(1 - \cos(\alpha)) \leq a \leq 0,75 \cdot L_r \cdot \sin \alpha$$

- omejitve na obdelovancu

$$s \leq 0,23 \cdot k \cdot R_a \cdot r$$

$$s \leq 0,64 \cdot k \cdot \delta \cdot r$$

- omejitve obdelovalnega para

$$T_w \geq T_{\min} \geq 3 \text{ min}$$

in namenska funkcija, ki je podana z enačbo (3) minimalne

$$\begin{aligned} C(v, s, a, t) &= A \frac{V}{v \cdot s \cdot a} + B \frac{V}{v \cdot s \cdot a \cdot t} = \\ &= \left(A + \frac{B}{t}\right) \frac{V}{v \cdot s \cdot a} \end{aligned} \quad (3)$$

Zaradi slučajnega značaja procesa obrabe in poenostavitvev, ki smo jih privzeli s tem, da smo se odločili za lognormalno aproksimacijo, ne moremo pričakovati, da bodo tako izbrani parametri  $v$ ,  $s$ ,  $a$ ,  $t$  zmeraj zagotavljali končno obrabo orodja, ki ne bo presežala  $VB_{0,4}$ . Zato je smiselno, da omejimo tehnološke parametre tako, da z apriorno verjetnostjo  $p$  pričakujemo obrabo v dopustnem območju:

$$p(VB \leq VB_{0,4}) = \Phi\left(\frac{1}{\sigma} \ln \frac{VB_{0,4}}{e^{c_0} \cdot v^{c_1} \cdot s^{c_2} \cdot a^{c_3} \cdot t^{c_4}}\right) = p$$

oziroma:

$$e^{c_0} \cdot v^{c_1} \cdot s^{c_2} \cdot a^{c_3} \cdot t^{c_4} = VB_{0,4} \cdot e^{-\sigma \cdot \Phi^{-1}(p)} \quad (4)$$

Če tehnološki parametri zadoščajo enačbi (4) imamo 100 p % zagotovilo, da bo med obdelovalnim procesom ostala obraba v predpisanih mejah. V idealni situaciji bi imeli na razpolago podatke o stroških  $C_p$ , ki nastanejo, če prekoračimo dopustno vrednost obrabe. V tem primeru bi bilo smiselno minimizirati povprečno ceno:

$$C'(v, s, a, t) = p \cdot C(v, s, a, t) + (1 - p) C_p$$

Takšni podatki običajno niso na voljo, zato se odločimo za vrednost  $p = 0,5; 0,75; 0,85$ . Vpliv  $p$  na dopustne vrednosti tehnoloških parametrov je prikazan na slikah 2, 3, 4 in 5.

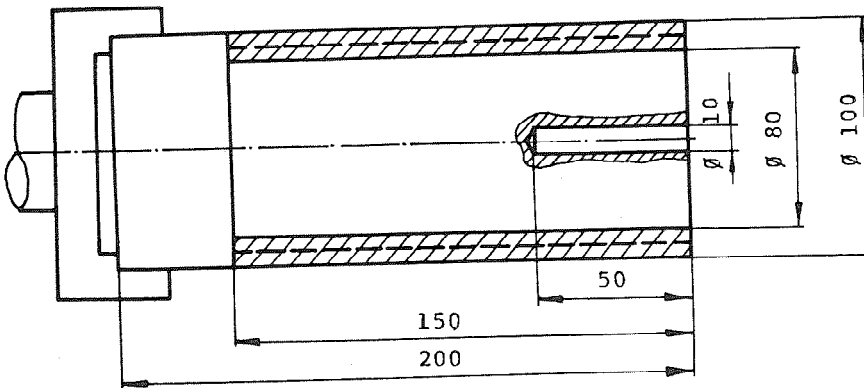
Za reševanje opisanega optimizacijskega problema je na razpolago dovolj univerzalnih algoritmov, ki pa so preobsežni za reševanje z žepnim računalnikom, ki je kljub razširjenosti velikih računalnikov zelo pomembna. Zato smo se odločili za enostaven optimizacijski algoritem, ki deluje v množici dopustnih vrednosti  $v$ ,  $s$ ,  $a$ , kjer parameter  $t$  eliminiramo s pomočjo omejitve (4). Na sliki 6 je prikazan flow-chart poteka delovanja algoritma, ki zahteva naslednje vhodne podatke:

- dopustna točka  $u_0 = (v_0, s_0, a_0)$
- dolžina koraka  $st$
- poljubna smer v prostoru  $(v, s, a)$

Algoritem poišče novo točko v izbrani smeri s korakom  $st$ , preveri, če je točka dopustna in, če se je vrednost objektivne funkcije zmanjšala. V tem primeru nadaljuje iskanje v isti smeri, sicer pa generira novo slučajno smer in ponovi postopek.

#### 4. Izbira optimalnih obdelovalnih pogojev

Za naš prikaz smo izbrali obdelovanec z obdelavo, ki je prikazana na sliki 1:



Slika 1: Obdelovanec s prikazom operacij, ki jih bomo optimirali

Vhodni podatki so naslednji:

obdelovalni material: NL 42 (nodularna litina)

orodni material: sintal HV08 (K10)

oblika orodja: SNMG 120408

geometrija:

$\alpha$	$\beta$	$\lambda$	$\varphi$	$\epsilon$	r
$6^\circ$	$6^\circ$	$-6^\circ$	$75^\circ$	$90^\circ$	0,8 mm

Taylorjeva enačba obstojnosti orodja za struženje iz infor.centra  
za obdelovalne podatke:

$$v = 237,9 \cdot s^{-0,12} \cdot T^{-0,20} \cdot VB^{0,31} \cdot a^{-0,10}$$

standardna deviacija:  $\bar{\sigma} = 0,269$  (izračunamo iz rezultatov poskusov)

$\bar{\sigma}' = 0,350$  (izbrana za primerjavo)

izbrani obdelovalni pogoji:

$$s = 0,2 \text{ mm/vrt}$$

$$a = 5 \text{ mm}$$

število rezov: 2

verjetnost:  $p = 0,5; 0,75; 0,85$

Vhodni podatki - vrtanje:

orodje: sveder oblike A

kvaliteta: HSS

geometrija:  $\varphi = 118^\circ, \omega = 28^\circ$

Taylorjeva enačba:  $v = 109,7 \cdot s^{-0,42} \cdot D^{0,48} \cdot L^{-0,27} \cdot VB^{0,58}$

standardna deviacija:  $\bar{\sigma} = 0,275$  (izračunana iz rezultatov poskusov)

$\bar{\sigma}' = 0,357$  (izbrana za primerjavo)

izbrani obdelovalni pogoji:

$$s = 0,2 \text{ mm/vrt}$$

$$d = 10 \text{ mm}$$

dolžina izvrtine: 50 mm

$$p = 0,5; 0,75; 0,85$$

Posameznih stroškovnih postavk ne bomo navajali na tem mestu - posebno še, ker so specifične za posamezne primere obdelave.

Na slikah 2 in 3 imamo prikazan vpliv meje zaupanja in standardne deviacije na dovoljeno obstojnost orodja in na ceno obdelave. Pri vrednosti  $p = 0,5$  velja relacija  $t = T_{VB}$ . Glede na to, da želimo pri obdelavi večjo zanesljivost, bo  $p > 0,5$ . Pri realnem delu je raztros obstojnosti orodja lahko različen. V primerih, ko imamo opravka z manj kvalitetnim obdelovalnim materialom ali druge probleme pri obdelavi, bo porasel raztros in s tem standardna deviacija. Te vplive moramo upoštevati pri določanju obstojnosti, kar se odraža tudi na rezalnih hitrosti in stroških obdelave.

Pri povečani zanesljivosti se zmanjša uporabni čas orodja, kar je prikazano na računalniškem izrisu (slika 2). Upoštevane so različne stopnje zanesljivosti in različne standardne deviacije. Tudi stroški obdelave se s spremembo obeh veličin znatno spremenijo, kar je prikazano na sliki 3 (računalniški izris). Sliki 2 in 3 veljata za postopek obdelave - struženje, sliki 4 in 5 pa prikazeta omenjene relacije pri operaciji vrtanje.

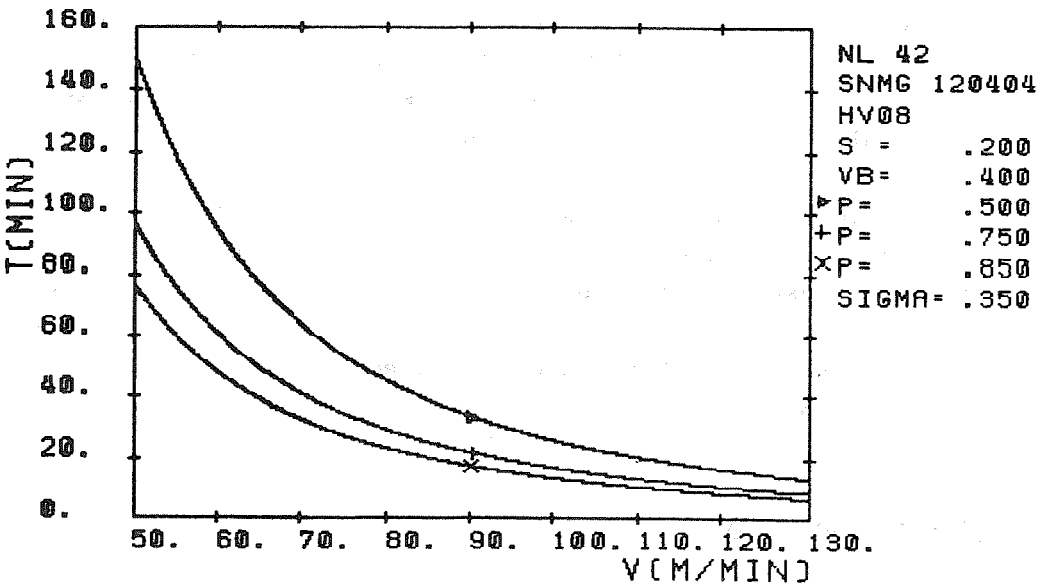
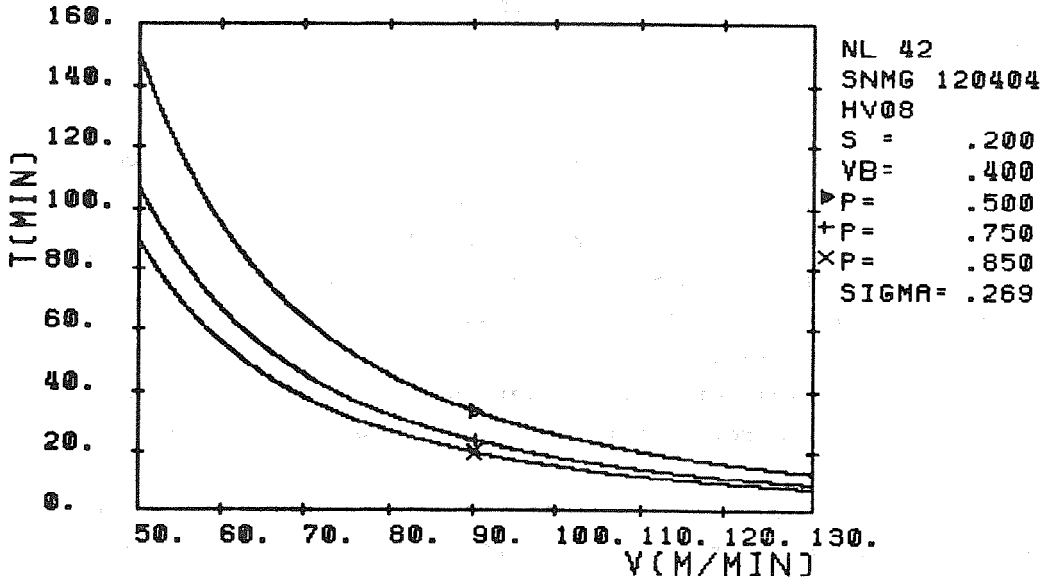
Optimizacijski algoritem (slika 6) poišče optimalne vrednosti parametrov  $v$  in  $s$  pri konkretni globini struženja  $a = 5$  mm. Potek približavanja je razviden iz diagrama na sliki 7. Algoritem poišče najprej optimalno podajanje  $s$  nato nadaljuje iskanje v smeri rezalne hitrosti  $v$ . Tako izračunane vrednosti so naslednje:

$$v = 207,6 \text{ m/min}$$
$$s = 0,256 \text{ mm/vrt}$$

## 5. Sklepne ugotovitve

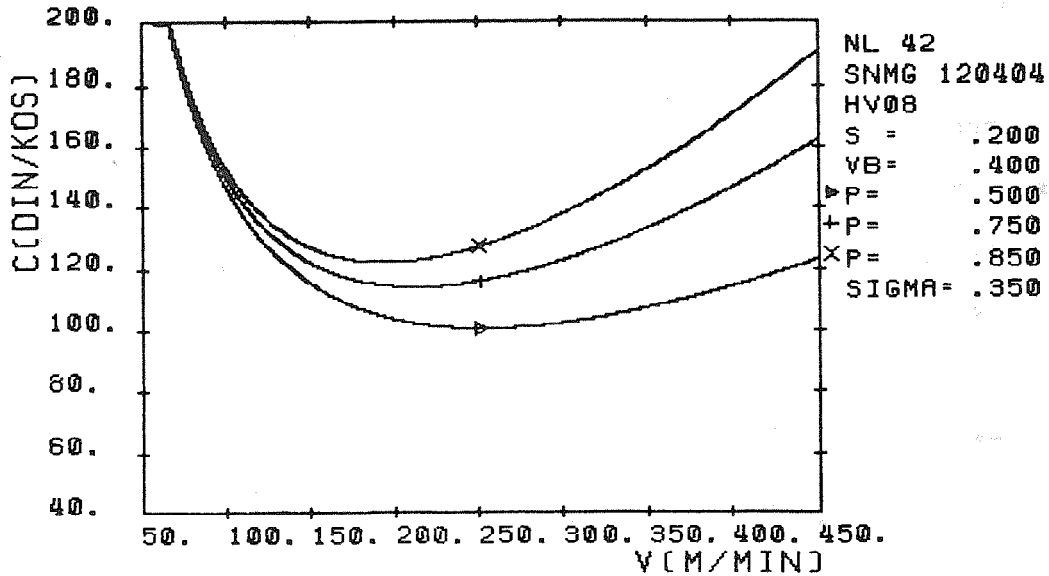
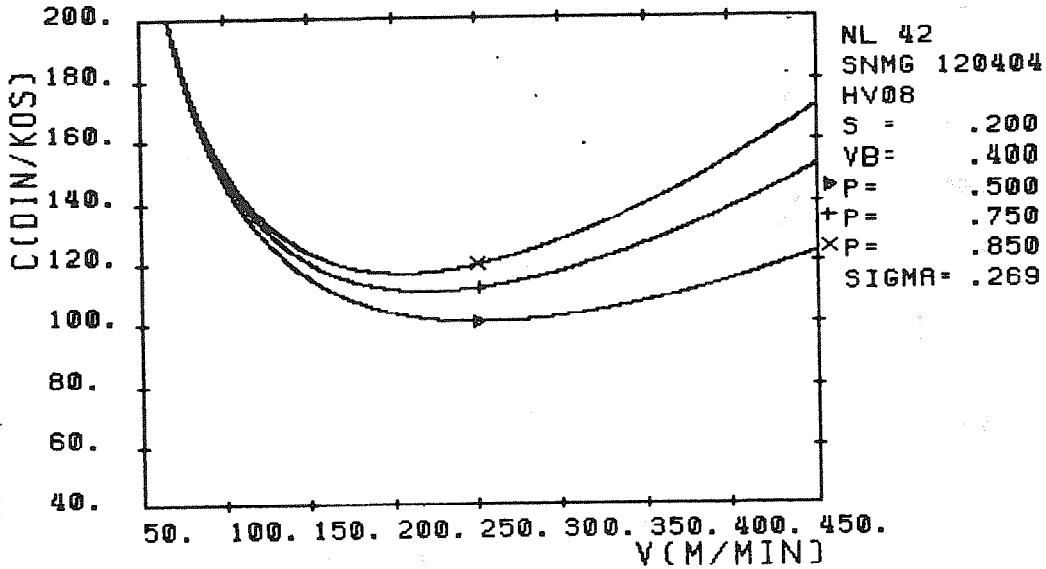
Z verjetnostjo  $p > 0,5$  se zavarujemo pred tem, da bi presegli dopustno obrabo orodja  $VB_{0,4}$ . S tem se skrajša obstojnost orodja. Pri vrednosti  $p = 0,5$ ,  $\bar{v}$  nima vpliva na rezultate izračuna. S spremembo  $p > 0,5$  pa se kaže vpliv raztrosa obstojnosti na obdelovalne pogoje.

### STRUZENJE OBSTOJNOST-HITROST



Slika 2: Obstojnost orodja pri struženju

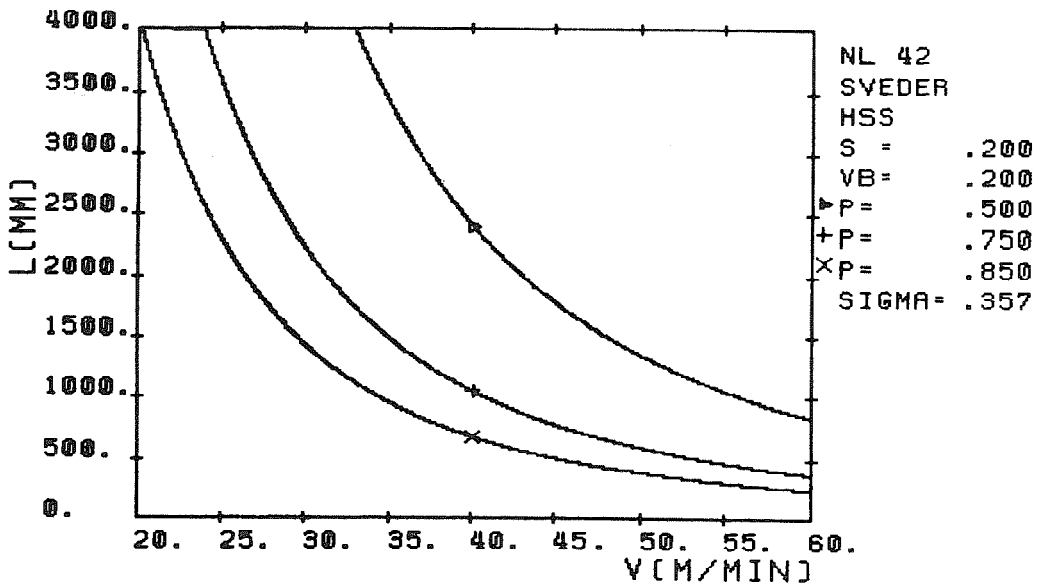
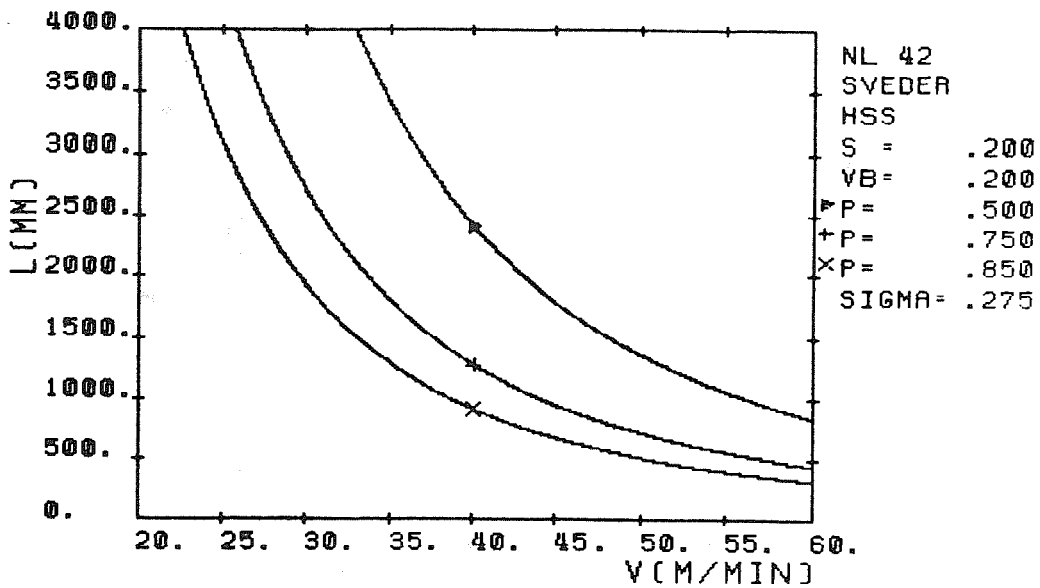
### STRUZENJE CENA-HITROST



Slika 3: Stroški obdelave pri struženju

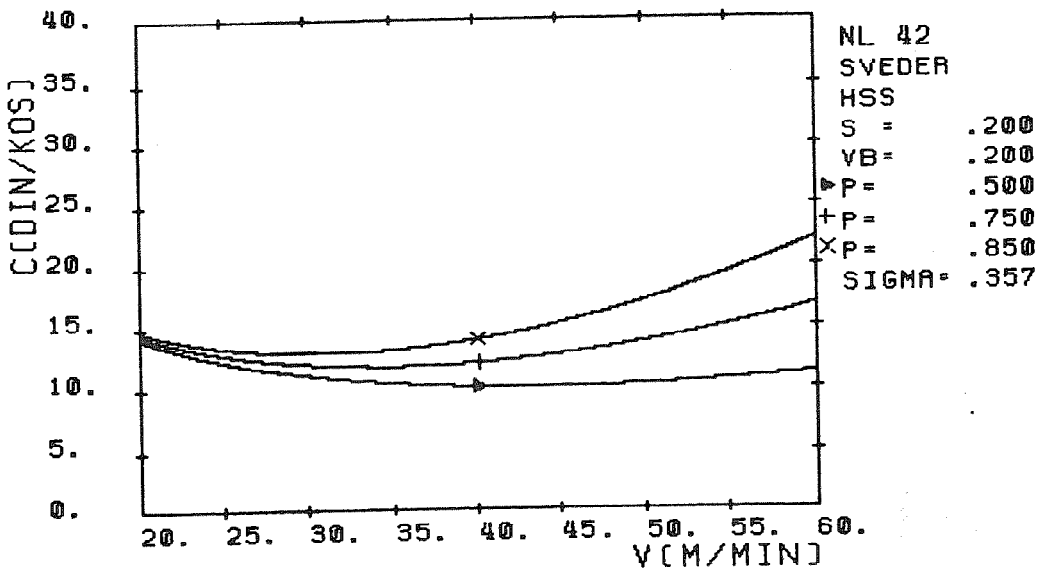
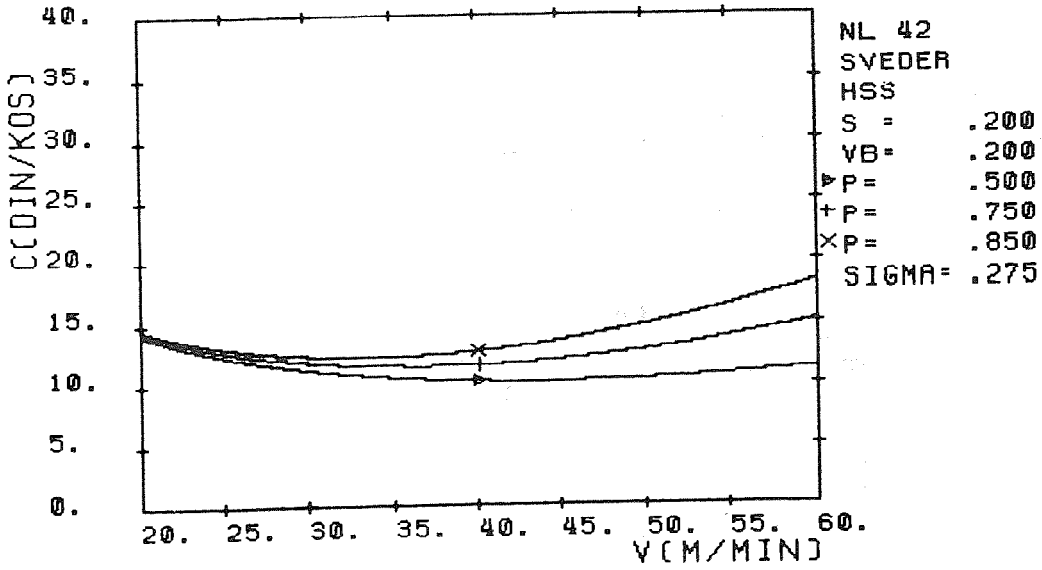


### VRTANJE OBSTOJNOST-HITROST

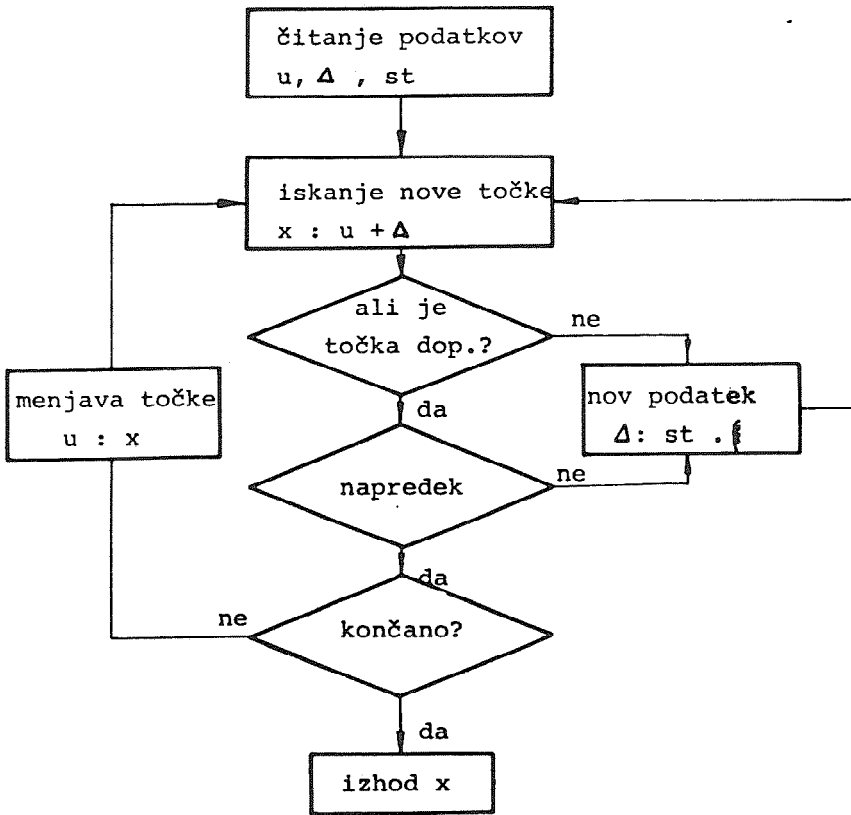


Slika 4: Obstojnost orodja pri vrtanju

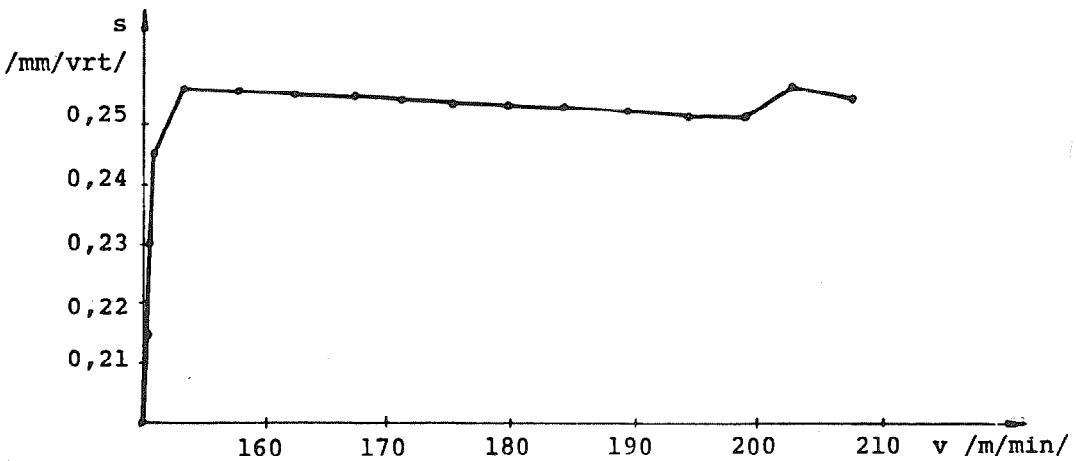
### VRTANJE CENA-HITROST



Slika 5: Stroški obdelave pri vrtanju



Slika 6: Prikaz poteka delovanja optimizacijskega algoritma



Slika 7: Prikaz iskanja optimalnih vrednosti

Izračunane vrednosti kažejo v koliki meri vpliva raztros obstojnosti orodja na ceno obdelave. S povečano standardno deviacijo se jasno razširijo meje zaupanja, s tem pa povečajo stroški obdelave. Iz te ugotovitve bi lahko izšlo vprašanje zakaj upoštevati meje zaupanja?

Odgovor je lahko dokaj jasen, da v primeru upoštevanja določene zanesljivosti pri delu lahko zmanjšamo škodo, ki bi sicer nastala zaradi priložnostnih prekinitev obdelave zaradi skrhanja orodja.

V tem prispevku je storjen poskus zmanjšati praznino ('gap') med obdelovalnimi podatki, ki so relevantni v delavniških pogojih in podatki, ki so na razpolago v obstoječi banki obdelovalnih podatkov. Izhajajoč iz tega smo izdelali statistični model, katerega osnova je porazdelitev obrabe orodja in preko te izražena obstojnost orodja. Pri tem upoštevamo raztros obrabe orodja ter nivo verjetnosti, da ne prekoračimo dopustne - vnaprej predpisane obrabe, kar pomembno vpliva na stroške oz. čas obdelave.

Z namenom, da je omogočeno tehnologu določevanje obdelovalnih pogojev za posamezne konkretne primere obdelave, pri upoštevanju vpliva raztrosa obrabe orodja ter vpliva nivoja verjetnosti obrabe, je izdelan algoritem za določevanje optimalnih obdelovalnih pogojev glede na stroške oz. čas obdelave. Odlika predlaganega algoritma je v njegovi univerzalnosti ter možnosti uporabe tudi že na boljšem žepnem računalniku, kar je za širšo uporabo v vsakodnevni praksi izredno pomembno.

## 6. Literatura

- /1/ R.C. Brewer: "On the Economics of the Basic Turning Operation". Trans.ASME, Vol. 80, 1958, pp 1479-1489.
- /2/ R.H. Brown: "On the Selection of Economical Machining Rates", Int. J. Prod. Res 1, 1962 p.1.

- /3/ G.L. Ravnigani: The Significance of the Productivity Function in Machining Economics, Ann. CIRP Vol. 25 p. 7 (1975)
- /4/ R. Levi, G.L. Ravnigani: Machining Economics Analysis for Production Planning Under Controlled Risk of Tool Failure; Proc. of the CIRP Seminars on Manufacturing Systems, Vol. 7, 1978/3, p 271-283
- /5/ J. Kopač: Obdelovalnost nodularne litine in optimizacija obdelovalnih pogojev z uporabo računalnika, magistrsko delo, Ljubljana 1980
- /6/ Kendal - Stuart: Teorija razpredelenji, Nauka, Moskva 1966
- /7/ Cox. D.R.: Renewal theory, Methuen & Co. LTD, London 1970

## 7. Summary

Optimization of Machining Conditions with Respect to the Restraints and Probabilistic Nature of Tool Life

At the determination of machining conditions on machine tools the final aim is to optimize the process as regards machining costs, machining time and the quality of the product. The probabilistic nature of the machining process has to be taken into account.

In order to select the right machining conditions, confidence limits have to be allowed for and included in the mathematical model for the determination of machining conditions. Particular examples taken from practice are calculated by the aid of a computer terminal. The use of the terminal makes possible to the operator to dispose of the data bank. Original machining data that were gathered by experiments, are used.

XIV SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980

A. Sofronić<sup>x)</sup>

ISTRAŽIVANJE OPTIMALNOG RASPOREDA RADNIH MESTA VIŠEPREDMETNIH  
TEHNOLOŠKIH LINIJA U USLOVIMA POJEDINAČNE I MALOSERIJSKE PRO-  
IZVODNJE DELOVA<sup>xx)</sup>

1. UVOD

Jedan proizvodni sistem, pored energetskog, karakteri-  
šu još i sledeća dva bitna toka:

- (i) Tok materijala,
- (ii) Tok informacija.

Raspored radnih mesta, u jednom proizvodnom sistemu, jednoznačno određuje osnovni tok kretanja materijala. Optimizacijom rasporeda radnih mesta postiže se, pored poboljšanja toka materijala i poboljšanje toka informacija, čime se stižu potrebni uslovi za optimizaciju proizvodnog procesa. Iz tih razloga, problemu istraživanja optimalne tehnološke organizacije i najpovoljnijeg rasporeda radnih mesta je posvećena značajna pažnja u svetu i kod nas.

Složenost problema istraživanja optimalnog rasporeda radnih mesta se temelji na činjenici, da u proizvodnom sistemu, koji ima "n" radnih mesta i odgovarajući broj lokacija (pozicija na kojima ova radna mesta mogu biti postavljena) postoji ukupno  $n!$  mogućih rasporeda. Tako na primer proizvodni sistem sa samo 12 radnih mesta ima ukupno 479.001.600 mogućih kombinacija rasporeda.

Pored poznatih heurističkih metoda "trouglova" i "krugova", koje se zasnivaju na grafičkim postupcima, u poslednje vreme dominiraju metode koje u istraživanju optimalnog rasporeda koriste ERM (elektronske računске mašine).

x) Aleksandar D. Sofronić, dipl. ing., samostalni saradnik Instituta za alatne mašine i alate, Beograd, 27. marta 80

xx) Radjeno u Institutu za alatne mašine i alate, kao deo projekta RAZVOJ I OPTIMIZACIJA OBRADNIH SISTEMA - ROPOS, u čijem finansiranju, pored privrednih organizacija, učestvuju i Republička zajednica nauke SR Srbije.

Istraživanja optimalnog rasporeda radnih mesta, koja su vršena u IAMA, nastavljena su kao integralna faza višegodišnjih istraživanja o optimalnoj tehnološkoj organizaciji preduzeća sa ma-  
loserijskom i pojedinačnom proizvodnjom, iz kojih je proizašao model za formiranje višepredmetnih tehnoloških linija (VTL), detaljno obradjen u radu [4]. Jedna VTL predstavlja podsistem u tehnološkom sistemu preduzeća, sa precizno definisanim ograničenjima prema okolini, i zatvorenim sistemom u pogledu planiranja i upravljanja, te pojam "tehnološka linija" treba shvatiti uslovno u pogledu mogućeg rasporeda radnih mesta.

Tokom formiranja i projektovanja višepredmetnih tehnoloških linija, i pored želje da se maksimalno respektuje utvrđeni najverovatniji (odnosno tipski) tehnološki proces za svaku VTL, logično mora dolaziti do manjih ili većih odstupanja. S druge strane, iz tehno-ekonomskih razloga, neće biti moguće u potpunosti zatvoriti svaku VTL sa svim potrebnim kapacitetima, te će se između VTL pojavljivati "kooperantski odnosi" koji se mogu izraziti preko stepena zatvorenosti  $G$  ili stepena valentnosti  $V^1$ .

Pod pretpostavkom da je u datim uslovima za jedan tehnološki sistem utvrđeno optimalno rešenje:

- u pogledu karakteristika i broja VTL koje će se instalirati,  
- u pogledu maksimalne moguće tehnološke zatvorenosti,  
postavlja se dalji istraživački zadatak:

(i) Odredjivanje optimalnog makro rasporeda, odnosno medjusobnog položaja VTL, s obzirom na postojeće "kooperantske odnose" između njih.

(ii) Odredjivanje optimalnog mikro rasporeda, odnosno rasporeda radnih mesta u okviru svake VTL, s obzirom na postojeće tehnološke veze koje se između njih javljaju.

## 2. MATRICA INTENZITETA VEZA

Intenzitet medjusobnih veza radnih mesta ( $M_1, M_2, M_3 \dots M_i \dots M_z$ ), koja su instalirana u jednom proizvodnom sistemu moguće je kvantifikovati (za utvrđeni planski period), preko:

<sup>1)</sup> [4], str. 41

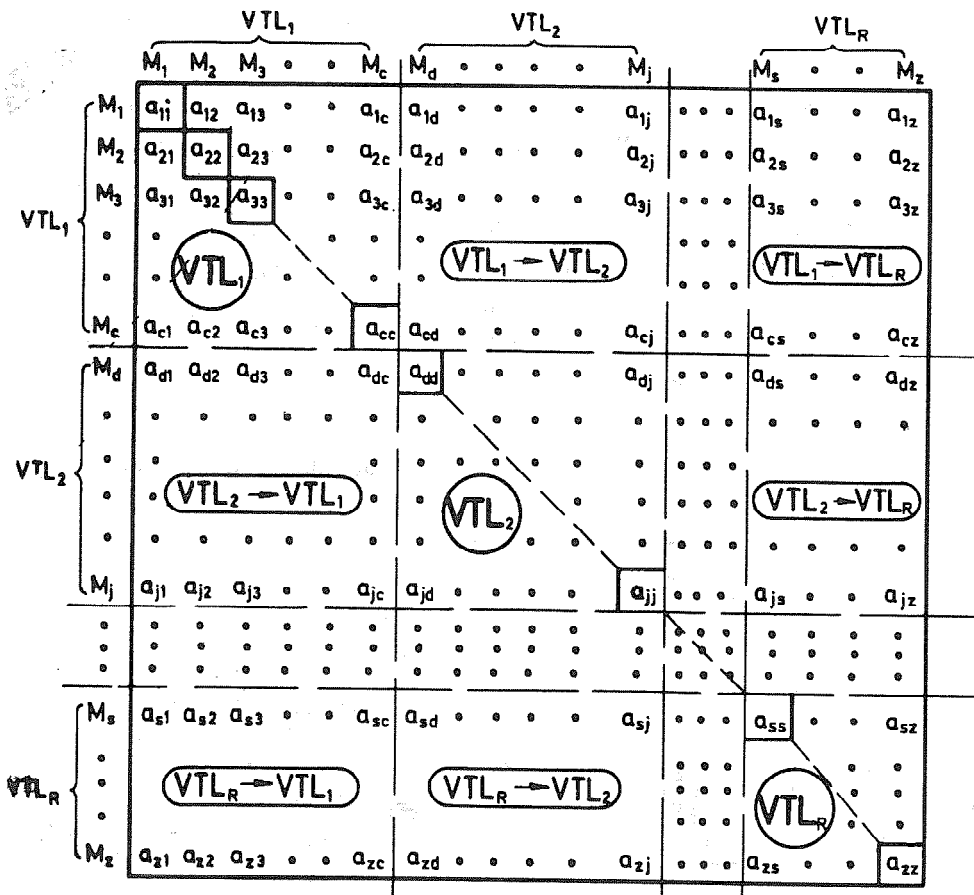




Korišćenjem navedenog sloga kao polaznog podatka, razvijen je program obrade za ERM, na osnovu koga se dobija integralna matrica veza za ceo tehnološki sistem. Izgled ove matrice je prikazan na slici 2.

Prilikom izrade programa za ERM, uveden je algoritam pri segmentiranju, tako da je pored svih "isporuka" delova sa radnog mesta (RM) operacije "i", na radno mesto operacije "i+1", obuhvaćena i isporuka delova sa polaznog odredišta (skladišta) na radno mesto prve operacije, kao i isporuka delova sa radnog mesta poslednje operacije, na konačno odredište (magacin gotovih delova, ekspedicija i sl.).

Matrica prikazana na slici 2 predstavlja poznatu kvadratnu matricu intenziteta veza ( $z \times z$ ), pri čemu  $\{M_1, M_2, \dots, M_i \dots M_k \dots M_z\}$



Slika 2. Integralna matrica intenziteta veza

obuhvata ukupan broj radnih mesta koja se instaliraju u tehnološkom sistemu, uvećan za polazna i konačna odredišta, a koordinate matrice  $a_{ik}$  označavaju ukupan broj delova, koji se sa radnog mesta  $M_i$  prebacuju na sledeću operaciju na radno mesto  $M_k$  ( $a_{ik} \geq 0$ ). Broj radnih mesta odgovara broju "tehnoloških adresa" koje se javljaju u tehnološkim postupcima, te shodno tome, u zavisnosti od finocće adresiranja, tehnološka adresa može predstavljati pojedinačno radno mesto ili grupu (GAM, GTO, GRM) radnih mesta, koja imaju identične tehnološke karakteristike.

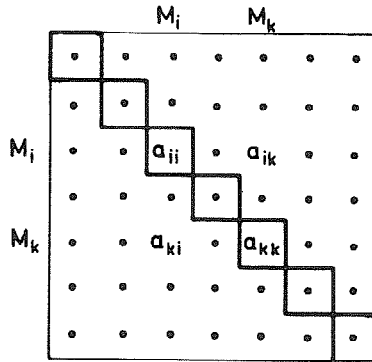
Uzimajući u obzir činjenicu, da su pri formiranju višepredmetnih tehnoloških linija tačno definisana radna mesta koja će se instalirati na svakoj VTL, odnosno:

$$\begin{array}{lll}
 M_x \in VTL_1 & \text{za} & l \leq x \leq c \\
 M_x \in VTL_2 & \text{za} & d \leq x \leq j \\
 \dots & & \dots \\
 M_x \in VTL_R & \text{za} & s \leq x \leq z
 \end{array} \quad (1)$$

izvršena je particija integralne matrice intenziteta veza na  $R^2$  submatrica kao što je prikazano na slici 2, pri čemu će se za dalje analize koristiti ukupno  $(R+1)$  submatrica ( $R$  označava broj VTL).

Prvih  $R$  matrica (čija se glavna dijagonala poklapa sa glavnom dijagonalom integralne matrice veza) utvrđuju intenzitet veza između radnih mesta za svaku VTL. Opšti izgled ovih matrica je prikazan na slici 3.

Koordinate  $a_{ik}$  ovih matrica označavaju intenzitet veze između radnih mesta  $M_i$  i  $M_k$ , i s obzirom na vezu (1) ispunjavaju sledeće uslove:



Slika 3.

$$\begin{array}{lll}
 VTL_1 ; a_{ik} \geq 0 & \text{za} & M_i \in VTL_1 , M_k \in VTL_1 \\
 VTL_2 ; a_{ik} \geq 0 & \text{za} & M_i \in VTL_2 , M_k \in VTL_2 \\
 \dots & & \dots \\
 VTL_R ; a_{ik} \geq 0 & \text{za} & M_i \in VTL_R , M_k \in VTL_R
 \end{array} \quad (2)$$



$$F = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n b_{ik} \cdot s_{ik} \quad (5)$$

gde je:

F - transportni učinak

$b_{ik}$  - ukupna težina delova (ili broj transportnih jedinica), koja se prebacuje sa radnog mesta "i" na radno mesto "k"

$s_{ik}$  - dužina transportnog puta, od radnog mesta "i" do radnog mesta "k",

pri čemu se kao optimalan raspored prihvata onaj za koji je postignuta minimalna vrednost transportnog učinka. Prilikom primene ovog kriterijuma, javljaju se određene praktične poteškoće pri određivanju dužine transportnog puta  $s_{ik}$ , pogotovu kada se radi o projektovanju novih pogona i rasporedjivanju radnih mesta koja zahtevaju različite površine za razmeštaj, te se ovaj problem u određenim slučajevima, može rešiti usvajanjem modela lokacije sa jediničnim rastojanjima<sup>2)</sup>.

Veoma značajan i interesantan prilog u istraživanju kriterijuma za optimizaciju daju B.Korte i W.Oberhofer, u svome radu [6]. Razmatrajući međusobni odnos u rasporedu resursa definišu relativno optimalan i apsolutno optimalan raspored. Kao relativno optimalan raspored definiše se onaj, kod koga je za sve resurse ispunjena relacija poretka, odnosno kada je za svaki resurs suma isporuka neposredno narednim grupama veća ili jednaka sumi isporuka primljenih od tih grupa, a s druge strane suma isporuka primljenih od neposredno prethodnih grupa mora biti veća ili jednaka od sume isporuka izdatih toj grupi. Koristeći stav Helmstädter-a, kao apsolutno optimalan raspored definiše se takav raspored, koji pored relacije poretka, ispunjava i uslov da suma isporuka koje stoje iznad glavne dijagonale matrice bude maksimalna, u odnosu na sve moguće rasporede.

U istraživanjima optimalnog rasporeda radnih mesta, koja su vršena u IAMA, posebna pažnja je posvećena analizi i istraživanju kriterijuma po kojima će se vršiti optimizacija. Vodeći računa o suštini problema koji se rasmatra, pošlo se od stanovišta da matrica intenziteta veza (sl.5) pretstavlja u osnovi glavnu programsku karakteristiku tehnološkog sistema, koja definiše među-

<sup>2)</sup> Prof. Dr H. Jaeger [1], [2], [3], daje prikaz istraživanja optimalnog rasporeda primenom modela lokacije koji je sačinjen od trouglastog mrežnog modela, kao i mrežnog modela sa jediničnim kvadratnim rasterom.

sobne odnose u isporuci odgovarajućih radnih mesta, te je utvrdjena grupa kriterijuma "S-4", koja obuhvata:

- (i) Kriterijum stepena punoće matrice
- (ii) Kriterijum broja regresivnih komada
- (iii) Kriterijum ukupnog broja transportnih koraka
- (iv) Kriterijum broja regresivnih transportnih koraka.

### 3.1 Kriterijum stepena punoće matrice ( $S_p$ )

Koordinate matrice intenziteta veza, čiji je izgled prikazan na sl. 5 obeležene su sa  $a_{ik}$ , ( $a_{ik} \geq 0$ ) i kvantifikuju intenzitet veze između radnih mesta  $M_i$  i  $M_k$ . S obzirom na vrstu problema koji se rasmatra, slobodno se mogu zanemariti sve koordinate matrice koje leže na glavnoj dijagonali ( $a_{ik}$  za  $i = k$ ). Ako obeležimo sa:

$n$  - broj radnih mesta posmatranog sistema,

$N_p$  - broj koordinata matrice ( $i \neq k$ ) čije su vrednosti  $a_{ik} > 0$ ,

$N_F$  - broj koordinata matrice ( $i \neq k$ ) čije su vrednosti  $a_{ik} = 0$ ,

onda se stepen punoće matrice definiše odnosom broja "punih" prema ukupnom broju polja (isključujući polja glavne dijagonale),

tj. dat je vezom:

	$M_1$	$M_2$	...	$M_i$	...	$M_k$	...	$M_n$
$M_1$		$a_{12}$	•	$a_{1i}$	•	$a_{1k}$	•	$a_{1n}$
$M_2$	$a_{21}$		•	$a_{2i}$	•	$a_{2k}$	•	$a_{2n}$
•	•	•		•	•	•	•	•
$M_i$	$a_{i1}$	$a_{i2}$	•		•	$a_{ik}$	•	$a_{in}$
•	•	•	•	•		•	•	•
$M_k$	$a_{k1}$	$a_{k2}$	•	$a_{ki}$	•		•	$a_{kn}$
•	•	•	•	•	•	•		•
$M_n$	$a_{n1}$	$a_{n2}$	•	$a_{ni}$	•	$a_{nk}$	•	

Slika 5

$$S_p = \frac{N_p}{N_p + N_F} = \frac{N_p}{n(n-1)} \quad (6)$$

Za tehnološki sistem, koji ima idealno linijsko usmereno kretanje, bez povratnih hodova ( $a_{ik} > 0$  samo za  $k = i+1$ ) dobija se minimalna vrednost stepena punoće:

$$S_{p(\min)} = \frac{N_p}{n(n-1)} = \frac{n-1}{n(n-1)} = \frac{1}{n} \quad (7)$$

U realnim tehnološkim sistemima, stepen punoće matrice se kreće u granicama:

$$\frac{1}{n} \leq S_p \leq 1 \quad (8)$$

Pored stepena punoće ( $S_p$ ) moguće je definisati i indeks stepena punoće ( $I_{SP}$ ), koji je dat izrazom:

$$I_{SP} = \frac{S_P - S_{P(\min)}}{S_{P(\min)}} \quad (9)$$

### 3.2 Kriterijum broja regresivnih komada ( $S_{NR}$ )

Kriterijum broja regresivnih komada ( $S_{NR}$ ) po svojoj suštini odgovara kriterijumu koji su definisali B.Korte i W.Oberhofer, u svome radu [6]. Za tehnološki sistem, čije su karakteristike date matricom prikazanom na sl. 5, kriterijum broja regresivnih komada ( $S_{NR}$ ) dat je izrazom:

$$S_{NR} = \frac{N_R}{N_U} \quad (10)$$

gde je:

$$N_R = \sum_{i,k=1}^n a_{ik} \quad , \quad \text{za } i > k \quad (\text{zbir svih koordinata matrice koje se nalaze ispod glavne dijagonale})$$

$$N_U = \sum_{i,k=1}^n a_{ik} \quad , \quad \text{za } i \neq k \quad (\text{zbir svih koordinata matrice, izuzev koordinata } i = k)$$

S obzirom da je za jedan tehnološki sistem  $N_U = \text{const}$ , vrednost kriterijuma  $S_{NR}$  predstavlja ustvari procentualni deo "regresivnih" komada, u odnosu na ukupan broj komada koji se u tehnološkom sistemu kreću, te se minimizacijom kriterijuma  $S_{NR}$  dobija takav raspored, kod koga je ukupan broj "regresivnih" delova ( $N_R$ ) minimalan.

### 3.3 Kriterijum ukupnog broja transportnih koraka ( $S_K$ )

Kriterijum ukupnog broja transportnih komada ( $S_K$ ) u osnovi predstavlja modifikovanu varijantu transportnog učinka (5), i dat je izrazom:

$$S_K = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n a_{ik} \cdot c_{ik} \quad (11)$$

gde je:

$a_{ik}$  - koordinata matrice, koja predstavlja ukupan broj komada, koji se sa radnog mesta "i" prenose na radno mesto "k"

$c_{ik}$  - broj jediničnih "koraka" izmedju radnog mesta "i" i radnog mesta "k", koji se odredjuje po vezi:

$$\begin{aligned}
 c_{ik} &= 0 && (\text{za } i = k) \\
 c_{ik} &= 1 && (\text{za } k = i \pm 1) \\
 c_{ik} &= 2 && (\text{za } k = i \pm 2) \\
 &\dots && \dots \\
 c_{ik} &= r && (\text{za } k = i \pm r)
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

Minimizacijom kriterijuma  $S_K$  postiže se takav raspored kod koga je ostvarena najmanja vrednost ukupnog broja transportnih koraka. Uzimajući u obzir definisana značenja za vrednosti " $a_{ik}$ " i " $c_{ik}$ ", kriterijum ukupnog broja transportnih koraka ( $S_K$ ) po svojoj suštini odgovara kriterijumu transportnog učinka (5).

### 3.4 Kriterijum broja regresivnih transportnih koraka ( $S_{KR}$ )

Kriterijum broja regresivnih transportnih koraka ( $S_{KR}$ ) pretstavlja u izvesnoj meri kombinaciju kriterijuma broja transportnih koraka i kriterijuma regresivnog broja komada. Njegova vrednost se računa po vezi (13), za sve one koordinate matrice koje leže ispod glavne dijagonale:

$$S_{KR} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n a_{ik} \cdot c_{ik} \quad \text{za } i > k \tag{13}$$

pri čemu  $a_{ik}$  i  $c_{ik}$  imaju ista značenja kao u vezi (11) i (12) uz dati uslov ograničenja  $i > k$ .

Minimizacijom kriterijuma  $S_{KR}$  dobija se takav raspored, koji obezbeđuje najmanji broj regresivnih transportnih koraka.

## 4. DISKUSIJA KRITERIJUMA

Posmatrajući jedan realan tehnološki sistem (odnosno podsistem), sa utvrdjenim brojem radnih mesta ( $n$ ) i odredjenim tehnološkim odnosima (vezama) koji su kvantifikovani kroz matricu intenziteta veza (sl.5), moguće je definisati sledeće stavove:

(1) Stepen punoće matrice  $S_p$ , dat vezom (6) je invarijantan u odnosu na  $n!$  mogućih raspoređa, te ima konstantnu vrednost, koja karakteriše složenost tehnoloških odnosa u medjusobnim "isporukama" radnih mesta.

(2) Postoje tehnološki sistemi, kod kojih je moguće postići takav raspored, kod koga se postiže istovremeno minimalna

vrednost:

- kriterijuma broja regresivnih komada ( $S_{NR}$ )
- kriterijuma ukupnog broja transportnih koraka ( $S_K$ )
- kriterijuma broja regresivnih transportnih koraka ( $S_{KR}$ )

(3) Raspored kod koga je postignuta minimalna vrednost kriterijuma  $S_{NR}$ , ne mora obezbediti istovremeno i minimalne vrednosti kriterijuma  $S_K$  i  $S_{KR}$ .

(4) Raspored kog koga je postignuta minimalna vrednost kriterijuma  $S_K$ , ne mora obezbediti istovremeno i minimalne vrednosti kriterijuma  $S_{NR}$  i  $S_{KR}$ .

(5) Raspored kod koga je postignuta minimalna vrednost kriterijuma  $S_{KR}$ , ne mora obezbediti istovremeno i minimalne vrednosti kriterijuma  $S_{NR}$  i  $S_K$ .

Na osnovu gore navedenih stavova, proizilazi zaključak da minimizacija samo jednog od kriterijuma ( $S_{NR}$ ,  $S_K$  ili  $S_{KR}$ ), predstavlja potreban, ali ne i dovoljan uslov za određivanje optimalnog rasporeda.

Pri istraživanjima optimalnog rasporeda radnih mesta, koja su vršena u IAMA, primenjen je optimizacioni algoritam opisan u radu [5]. Ovaj postupak se u osnovi zasniva na primeni jedne varijante algoritma najstrmijeg pada i slučajnog odabiranja početnog pogadjanja rešenja.

Na osnovu istraživanja, u IAMA su definisani sledeći parametri, na osnovu kojih se određuje optimalni raspored radnih mesta i utvrđuje opravdanost linijskog postavljanja radnih mesta (redosledno, jednog iza drugog):

(i) Raspored kod koga se istovremeno postižu minimalne vrednosti za  $S_{NR}$ ,  $S_K$  i  $S_{KR}$ , (odnosno njihove pojedinačne vrednosti su veoma bliske njihovim apsolutnim minimumima) predstavlja najboljnije rešenje.

(ii) Linijsko postavljanje radnih mesta je opravdano za one tehnološke sisteme, koji zadovoljavaju sledeće uslove:

$$S_{NR} \leq 0,25 \quad \text{i} \quad \frac{S_{KR}}{S_K} \leq 0,25$$

(iii) Vrednost  $S_P$ , za ovakve tehnološke sisteme, teži ka minimalnoj vrednosti, datoj vezom (8).



Za višepredmetne tehnološke linije (VTL) koje se u metaloprerađivačkoj industriji sa pojedinačnom ili maloserijskom proizvodnjom formiraju na osnovu modela koji je dat u radu [4], moguće je u najvećem broju slučajeva obezbediti potrebne uslove za linijski raspored radnih mesta.

Za sisteme koje karakterišu veoma složeni odnosi u međusobnim isporukama radnih mesta, sa karakteristikama monocikličnih ili policikličnih međusobnih veza, kvantifikacija navedenih parametara može predstavljati značajan indikator u istraživanju najadekvatnijeg mrežnog modela rasporeda.

#### LITERATURA:

- [1] H.Jaeger: Metoda optimizacije rasporeda radnih mesta pri projektovanju proizvodnje, Disertacija, Mašinski fakultet, Beograd (1970)
- [2] H. Jaeger: Uključivanje više novih sredstava za rad u postojeću proizvodnu prostornu strukturu, Mašinstvo br. 1 (1975)
- [3] H. Jaeger: Problem prostornog dodeljivanja sredstava za proizvodnju pri projektiranju proizvodnih pogona, Strojstvo 18 (1976)
- [4] S.M.Urošević: Prilog istraživanju optimalnih parametara višepredmetnih tehnoloških linija za maloserijsku i pojedinačnu izradu delova s osvrtnom na metodu simuliranja opterećenja hipotetičnih tehnoloških linija, Disertacija, Mašinski fakultet, Beograd (1972)
- [5] M.R.Mataušek: Optimizacija rasporeda mašina u fabričkoj hali i uporedna analiza dva algoritma za optimizaciju transportnog učinka jedne klase proizvodnih procesa, IBK, Vinča-1347, Beograd (1975)
- [6] B.Korte:  
W.Oberhofer: Zwei Algorithmen zur Lösung eines komplexen Reihenfolgeproblems, DGU, Dortmund (1968)
- [7] A.Sofronić:  
I.Raković:  
M.Dimitrić: Projekt optimizacije rasporeda tehnološke opreme, Elaborat IAMA 339/76, Beograd (1976)

XIV SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980.

V. Stevanović \*)

PARAMETRI KONTROLE KVALITETA PROIZVODA  
U PROCESU SASTAVLJANJA \*\*)

1. Uvod

Istraživanju kvaliteta u procesu sastavljanja složenih proizvoda bilo koje vrste, ne posvećuje se odgovarajuća pažnja u poređenju sa ostalim tehnološkim fazama. Nije potrebno posebno dokazivati da ukupan kvalitet proizvoda u mnogome zavisi od kvaliteta tehnoloških operacija sastavljanja proizvoda. Iskustvo takodje pokazuje da i najbolje proizvedene manje celine proizvoda neće dati visokokvalitetan proizvod ako se procesu sastavljanja ne posveti maksimalna pažnja. Posebno treba imati u vidu da je to zadnja tehnološka faza sa vrlo složenim operacijama za koje važe, analogno, svi ostali zakoni završnih operacija.

Za istraživanje, projektovanje i vodjenje procesa sastavljanja izuzetno je važno definisati relevantne parametre kontrole kvaliteta proizvoda. Reč kvalitet i ovom prilikom upotrebljava se kao sinonim reči "svojstvo", pa definisani parametri služe da se utvrdi razlika istovrsnih proizvoda u toku proizvodnje i eksploatacije. Uz ovu konstataciju, mora se naglasiti da u naučnoj javnosti ne postoje jednoznačna mišljenja kada se raspravlja o problemima ovog procesa, bilo u oblasti teorijskih razmatranja ili u oblasti njihove aplikacije. Sve to uslovljava da najviše ograničenja postoji kada se radi o automatizaciji ovog procesa, i da sve vrste proizvoda u toku njegovog odvijanja imaju veliki broj ručnih operacija, podešavanja i dorada. Dodali se svemu tome i činjenica da se na operacije sastavljanja troši nekad i do 30% vremena od ukupno

---

\*) Prof.dr Vukola Stevanović, dipl.inž., vanredni profesor Pedagoško-tehničkog fakulteta u Čačku, Ul.Cara Dušana br. 34

\*\*) Rad je nastao u toku izrade projekta "Razvoj proizvoda specijalne namene".

uloženog vremena u celokupnu proizvodnju, značaj problema istraživanja kvaliteta proizvoda u procesu sastavljanja postaje izuzetno veliki.

2. Izbor značajnih parametara kontrole kvaliteta proizvoda u procesu sastavljanja

Parametri kontrole kvaliteta vrlo često se nazivaju i karakteristikama kvaliteta koje u sebi objedinjuju elemente stvaranja i upotrebe. U principu ti parametri se mogu pojaviti u dva oblika: kao jedinični i kao kompleksni. Jedinični parametri se odnose na jedno svojstvo u procesu sastavljanja, dok kompleksni objedinjuju više svojstava složenog proizvoda. To se može razmotriti uvodjenjem pojma verovatnoće normalnog funkcionisanja složenog proizvoda. Ova funkcija, za neki vremenski period, definiše se izrazom:

$$P(t) = P_0 \cdot K_0(t) \dots\dots\dots (1)$$

gde je:

$P_0$  - verovatnoća bezotkaznog rada,

$K_0(t)$  - koeficijent obnavljanja koji u sebi objedinjuje kvalitet i broj obnavljanja.

U sušniti, kompleksni parametar dat izrazom (1) objedinjuje pouzdanost i pogodnost za obnavljanje u cilju produženja veka upotrebe proizvoda realizovanog u odredjenim uslovima sastavljanja.

Zavisno od vrste proizvoda i pristupa njihovoj klasifikaciji moguće je definisati vrlo različite parametre. U prethodnom slučaju uvedena je verovatnoća normalnog funkcionisanja iz razloga što se imao u vidu proizvod kod koga je bitna pouzdanost, jer je namenjen za transport ljudstva u otežanim uslovima. Medjutim, ako se radi o proizvodu kod koga je bitna težina njegovih celina uvodi se relativni parametar za kontrolu tehnoloških operacija sastavljanja, odnosno parametar kontrole kvaliteta dat izrazom:

$$Q_i = \frac{M}{\frac{M_1}{G_1} + \frac{M_2}{G_2} + \dots + \frac{M_n}{G_n}} \dots\dots\dots (2)$$

gde je:

$Q_i$  - kompleksni parametar kvaliteta,

$G_1, G_2, \dots, G_n$  - jedinični relativni parametri kvaliteta,  
 $M_1, M_2, \dots, M_n$  - koeficijenti težine jediničnog parametra kvaliteta (pri čemu je:  $M_1 + M_2 + \dots + M_n = M$ ).

Opšti izbor parametara kvaliteta proizvoda koji bi važili za većinu tehničkih proizvoda, ne ulazeći u probleme klasifikacije njihove strukture i vrstu manjih celina (sklopovi, agregati i dr.) proizvoda, dat je simboličkim izrazom:

$$\begin{array}{l} \text{KVALITET PROIZVODA} \\ \text{U FAZI PROCESA SA-} \\ \text{STAVLJANJA} \end{array} = f \left[ \begin{array}{l} \text{Parametri pouzdanosti} \\ \text{Parametri tehnologičnosti} \\ \text{Ergonomski parametri} \\ \text{Estetski parametri} \\ \text{Parametri standardiz. i unif.} \end{array} \right] \begin{array}{l} \text{***}) \\ \dots (3) \end{array}$$

Uticaj pojedinih parametara na kvalitet zavisi od vrste proizvoda i njegove upotrebe. Većina parametara razmatraće se teorijski ukratko zbog obimnosti problema, dok će se eksperimentalno analizirati samo uticaj složenosti na brzinu pojave kvarova i delovanje poremćaja u procesu sastavljanja (poglavlje 3).

## 2.1 Parametri pouzdanosti proizvoda

Parametri pouzdanosti složenih proizvoda biraju se zavisno od vrste proizvoda, koji se obično po kriterijumima za ovakva razmatranja klasifikuju na nepopravljive i popravljive. Radi pojednostavljenja istraživanja kvaliteta procesa sastavljanja proizvoda uzimaju se samo tri grupe parametara; parametri bezotkaznog rada, parametri pogodnosti za održavanje i parametri veka upotrebe. Sve tri grupe navedenih parametara definišu numeričku vrednost kvaliteta i imaju karakter slučajnih veličina u nekom vremenskom intervalu, a određuju se praktično metodama teorije verovatnoće i matematičke statistike.

Parametar bezotkaznog rada. Kako u praksi igzistira niz vrlo složenih proizvoda koji se upotrebljavaju jednokratno, razmatraće se samo slučaj parametara bezotkaznog rada kod popravljivih proizvoda koji su češće u primeni ali su znatno nepovoljniji u

\*\*\*) Do izraza (3) došlo se istraživanjem odnosa strukture jednog složenog proizvoda vrlo visoke cene i značajne namene. Iskustvo je kasnije pokazalo da navedeni parametri zadovoljavaju i najstrožije zahteve pri izboru tehničkih sistema.

pogledu identifikacije. U principu, pri utvrđivanju parametara bezotkaznog rada posmatra se odgovarajući uzorak u toku nekog vremena  $t_1$ , što uslovljava da je njegovo značenje empirijskog karaktera a računa se prema izrazu:

$$P^*(t, \Delta t) = P(t) \cdot P\left(t + \frac{\Delta t}{t}\right) \dots \dots \dots (4)$$

gde je:

$P(t)$  - verovatnoća bezotkaznog rada,

$$P(t) = \frac{N - n(t)}{N} \dots \dots \dots (5)$$

pri čemu je:  $N$  - broj proizvoda iste vrste, čije se sastavljanje odvija u istim uslovima, a  $n(t)$  - broj proizvoda kod kojih je nastao kvar u vremenskom intervalu:  $0 \div t_1$ .

$P\left(t + \frac{\Delta t}{t}\right)$  - uslovna empirijska verovatnoća bezotkaznog rada proizvoda u posmatranom intervalu vremena:  $t \div t + t$ , uz uslov bezotkaznog rada u toku vremena  $t$ ,

$$P\left(t + \frac{\Delta t}{t}\right) = \frac{N - [n(t) + S(t) + n(\Delta t)]}{N - [n(t) + S(t)]} \dots \dots \dots (6)$$

pri čemu je:  $S(t)$  - broj proizvoda koji su prestali funkcionisati pre utvrđenog intervala:  $t \div t + \Delta t$ , a  $n(\Delta t)$  - broj proizvoda koji su otkazali u toku vremenskog intervala  $t$ .

Pored verovatnoće bezotkaznog rada, značajan parametar je i srednje vreme do pojave prvog kvara, koje ima značenje matematičkog očekivanja:

$$T_s = M(\tau_0) = \int_0^{\infty} t \cdot a(t) dt \dots \dots \dots (7)$$

Parcijalnom integracijom jednačine (7) dolazi se do zavisnosti:

$$T_s = \int_0^{\infty} P(t) dt \dots \dots \dots (8)$$

gde verovatnoća  $P(t)$ , u geometrijskom smislu, predstavlja površinu ispod krive verovatnoće bezotkaznog rada. U praktičnoj primeni, srednje vreme do pojave prvog kvara računa se statistički:

$$T_s^* = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i}{N} \dots \dots \dots (9)$$

gde  $\tau_i$  ima značenje vremena rada do nastanka kvara  $i$ -tog proizvoda,

a a(t) - učestanost pojave kvarova.

Parametri koji se odnose na pogodnost održavanja i vek upotrebe neće se razmatrati, jer se odnose na normalni period eksploatacije i period uhodavanja proizvoda, zbog čega ih nije moguće klasifikovati.

## 2.2 Parametri tehnološkičnosti proizvoda

Ovi parametri vezani su za karakteristike ekonomičnosti proizvodnje i skraćenje ciklusa izrade i sastavljanja. Podrazumeva se da se posebno vrši analiza tehnološkičnosti izrade pozicija složenog proizvoda, vodeći računa da i proces sastavljanja bude jednostavan i ekonomičan. Ima i takvih slučajeva u praksi gde je smanjen broj delova u proizvodu u cilju pojednostavljenja konstrukcije i procesa sastavljanja, ali bez poboljšanja drugih svojstava, što dovodi do nepoželjnih posledica. Neki delovi koji su bili u manjem broju zastupljeni zahtevali su više obrade i ručnih operacija pri sastavljanju nego stari, koji su bili mnogobrojniji ali znatno tehnološkičniji. Principijelno, tehnološkičnost konstrukcije proizvoda treba oceniti sa više različitih stanovišta, što se postiže raspodelom delova i analizom vrednosti odgovarajućih koeficijenata prema sledećim kategorijama:

- klasifikacija i analiza delova prema nameni,
- klasifikacija i analiza delova prema osvojenosti,
- klasifikacija i analiza delova prema tehnološkoj konfiguraciji,
- klasifikacija i analiza delova prema klasama tačnosti tolerisanih veličina (oblika, dimenzija, odnosa, položaja itd.),
- klasifikacija i analiza delova prema propisanim materijalima,
- klasifikacija i analiza delova na sklopove i
- klasifikacija i analiza delova po vrstama montažnih operacija.

Na proces sastavljanja i definitivan rang parametara relevantnih za procenu tehnološkičnosti sastavljanja naročit uticaj imaju dve zadnje klasifikacije i analize, pošto se preko njih proverava kolike su mogućnosti definisanog proizvoda da se sastavi bez doteravanja, podešavanja i dodatnog rastavljanja kao i sličnih operacija.

Definitivna provera stanja procesa može se izvršiti kada se utvrde koeficijenti kvaliteta izraženi brojem operacija (K sast) i koeficijent kvaliteta izraženi potrebnim vremenima (K'sast). Služeći se ranijim klasifikacijama i analizama, sve operacije sastavljanja svrstavaju se u sledeće grupe, za bilo koje sklopove i vrstu proizvoda:

1. Operacije jednostavnog sastavljanja delova. Neka je broj ovakvih operacija: Op(sast), a potrebno vreme za njihovu realizaciju: T sast.

2. Operacije sastavljanja uz podešavanje i regulisanje u toku tih operacija. Neka je broj ovakvih operacija: Op(podeš), a potrebno vreme za njihovu realizaciju: T podeš.

3. Operacije sastavljanja kod kojih se vrši osiguranje delova dodatnim operacijama (npr. bušenje rupe za osigurač). Neka je broj ovakvih operacija: Op(osig), a potrebno vreme za njihovu realizaciju: T osig.

4. Operacije kao i u prethodnoj grupi, samo što se kod njih delovi rastavljaju, čiste i sastavljaju. Neka je broj ovakvih operacija: Op(osigur.s), a potrebno vreme za njihovu realizaciju: T osigur.s.

5. Operacije kod kojih se u toku sastavljanja mora vršiti doteravanje (turpijanje, šaberovanje itd.). Neka je broj ovakvih operacija: Op(dot), a potrebno vreme za njihovu realizaciju: T dot.

6. Ostale operacije rastavljanja sastavljenih delova, koje treba izvršiti. Neka je broj ovakvih operacija: Op(ost), a potrebno vreme za njihovu realizaciju T ost.

Sa ovako sistematizovanim podacima, jednostavno se izračunava koeficijent kvaliteta sastavljanja, izražen brojem operacija:

$$K \text{ sast} = \frac{Op(\text{sast}) + Op(\text{podeš}) + Op(\text{osig})}{Op(\text{sast}) + Op(\text{podeš}) + Op(\text{osig}) + Op(\text{osig.s}) + Op(\text{dot}) + Op(\text{ost})} \dots (10)$$

Na identičan način, računa se i koeficijent kvaliteta sastavljanja, izražen vremenom:

$$K' \text{ sast} = \frac{T \text{ sast} + T \text{ podeš} + T \text{ osig}}{T \text{ sast} + T \text{ podeš} + T \text{ osig} + T \text{ osig.s} + T \text{ dot} + T \text{ ost}} \dots (11)$$

Oba koeficijenta daju bolji uvid u proces sastavljanja u odnosu na koeficijente dobijene klasifikacijom, jer su i po apsolu-

tnoj vrednosti znatno manji, te su lakši za upoređivanje. Imaju primenu kod međusobnog poredjenja dva proizvoda i poredjenja sklopova u okviru proizvoda, čime se otkrivaju sklopovi i druge celine strukture proizvoda koje imaju nepovoljne karakteristike. Posebno je značajno što se takvi kritični sklopovi detaljno analiziraju i kod njih otkrivaju najčešći nedostaci tehnološkosti izrade.

### 2.3 Ergonomski parametri

Ergonomski parametri se nalaze tek u početnoj fazi istraživanja kod proizvoda široke namene, iako su kod proizvoda specijalne namene dosta istraženi i potpuno izjednačeni sa ostalim grupama parametara značajnih za ocenu kvaliteta proizvoda. Za sada, ove parametre možemo svrstati u četiri grupe:

- higijensko-tehnički,
- antropometrički,
- fiziološki i psihofiziološki i
- psihološki.

Svi ovi parametri, za sada se uglavnom odnose na tehničko-estetske osobine proizvoda i karakterišu svojstva forme i udobnosti u eksploataciji. Ergonomskom ocenom kvaliteta trebalo bi da se obuhvate svi proizvodi koji su u dodiru sa čovekom u fazi eksploatacije, naročito ako su izloženi uzročnicima svetlosti, vlage, šuma, vibracija, opterećenja, zračenja, uticajima toksičnog karaktera i sl.

1. Grupa higijensko-tehničkih parametara daje uvid u nivo osvetljenosti, temperature, vlage, pritiska, uticaja magnetnog i električnog polja, zapaljivosti, šuma, vibracija, mehaničkih preopterećenja i delovanja brzine.

2. Grupa antropometričkih parametara karakteriše proizvod i elemente njegove strukture sa konstrukcionog stanovišta, a treba da obezbedi racionalan i udoban položaj ljudskog tela, vodeći računa o formi, masi i osobinama ljudskog tela. Ni jednog trenutka u tim istraživanjima ne smeju biti izgubljene iz vida statičke i dinamičke karakteristike ljudskog tela. Raspored elemenata strukture sklopova koji su najčešće u upotrebi (ručice, prekidači, sedišta, poluge i dr.) mora biti tako konstrukciono rešen da ti elementi ne izazivaju ni najmanji zamor.



3. Grupe fizioloških, psihofizioloških i psiholoških parametara odnose se na energetske mogućnosti čoveka koji je u neprekidnom kontaktu sa proizvodom i sredinom. Znači, ako ih grupišemo, svi zajedno se odnose na: mogućnosti čoveka, vrstu proizvoda i uslove sredine.

Sve to govori da istraživanje proizvoda, uključivanjem i ergonomskih parametara, predstavlja veoma težak i delikatan zadatak.

#### 2.4 Estetski parametri

Estetskoj oceni podležu, takodje, sve celine proizvoda koje su u neposrednom kontaktu sa korisnicima. Postoji niz pokušaja da se i ta grupa parametara kvantifikuje preko kompleksnih opisa. Tako, delovanje sastavljanja na pouzdanost proizvoda može se orijentaciono odrediti pomoću izraza:

$$E = \sqrt{\frac{\Pi_{x \min} \cdot \sum_{i=1}^n k_i \cdot \Pi_i}{k_x \cdot \Pi_x}} \dots \dots \dots (12)$$

gde je:

- $\Pi_{x \min}$  - minimalna ocena jednog od parcijalnih parametara  $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ ,
- $n$  - opšti broj pokazatelja,
- $k_i$  - koeficijent jačine uticaja i-tog parametra estetike,
- $n_i$  - procena i-tog parametra estetike,
- $k_x$  - koeficijent jačine uticaja x-tog parametra estetike,
- $\Pi_x$  - procena x-tog parametra estetike,

Koeficijenti jačine uticaja se utvrđuju sukcesivnim anketama ili "metodom eksperata". U suštini, na bazi procene "eksperata" definiše se srednja vrednost parametra estetike:

$$n_i = \frac{\sum_{j=1}^M n_{ij}}{m} \dots \dots \dots (13)$$

gde je:

- $n_{ij}$  - procena i-tog parametra kvaliteta od strane j-tog "eksperata",
- $m$  - broj "eksperata" koji vrše procenu estetskih kvaliteta,
- $M$  - broj procena "eksperata" ( $M=m+1$ ).

Za svaki parametar, koeficijent jačine delovanja utvrđuje se izrazom:

$$k_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^n n_i} \dots\dots\dots (14)$$

Analize estetskih vrednosti konstrukcije, bilo da se do podataka dolazi intervjuom budućih korisnika ili iterativnim procesima "eksperata", najčešće uzimaju u obzir sledeće parametre, koji u načelu važe za bilo koji proizvod, a to su: kompozicija i koncepcija proizvoda, eksploataбилnost, savremenost forme, harmoničnost veza sa okolinom u kojoj će proizvod biti primenjivan, racionalnost izbora rešanja i izražajnost forme. (boje, oblici, jednostavnost oblika i dr.).

## 2.5 Parametri standardizacije i unifikacije

U projektovanju, izradi i eksploataciji proizvoda teži se da u njegovoj strukturi bude što više standardnih i unificiranih delova. Praktično značenje standardizacije i unifikacije je u tome što predstavljaju stalni organizacioni metod, u projektovanju izradi i kompletiranju proizvoda, koji tehnički i ekonomski regulišu primenu odgovarajućih standardnih i unificiranih konstruktivnih elemenata. Za ocenu nivoa kvaliteta preko nivoa standardizacije i unifikacije proizvoda najpovoljnije je izračunati sledeće parametre.

1. K o e f i c i j e n t u p o t r e b e konstruktivnih elemenata u kompoziciji strukture proizvoda računa se prema izrazu, odnosno dobija se iz odnosa:

$$K_{up} = \frac{\sum_{se} + \sum_{ue} + \sum_{os}}{\sum_{uk}} 100 [\%] \dots\dots\dots (15)$$

gde je:

$\sum_{se}$  - količina standardnih elemenata,

$\sum_{ue}$  - količina unificiranih elemenata,

$\sum_{os}$  - količina osvojenih osnovnih delova koja može da posluži i kod sledećih vrsta proizvoda,

$\sum_{uk}$  - ukupna količina delova koja se dobija iz izraza:

$$\sum_{uk} = \sum_{se} + \sum_{ue} + \sum_{os} + \sum_{o} \dots\dots\dots (16)$$

gde je:

$\sum_{o}$  - količina ostalih originalnih delova u proizvodu.

2. K o e f i c i j e n t p o n a v l j a n j a r a č u n a s e  
prema izrazu:

$$K_{po} = \frac{\sum_{uk}}{\sum_{ut}} \dots\dots\dots (17)$$

gde je:

$\sum_{ut}$  - ukupna količina zatvorenih celina koje su sastavni delovi strukture proizvoda.

Treba naglasiti posebno da se definitivna procena kvaliteta proizvoda, posle završetka procesa sastavljanja, mora vršiti prema pojedinačnim koeficijentima računatim posebno za mašinske a posebno za elektro komponente. Ukoliko u okviru proizvoda postoje i druge klasifikacije elemenata ti koeficijenti se i za njih posebno računaju.

3. Analiza uticaja poremećaja odnosa strukture proizvoda, u toku procesa sastavljanja, na potpune kvarove

Iznesena teorijska razmatranja, u prethodnim poglavljima, predstavljaju samo deo vrlo obimnih teorijskih istraživanja koja su proverena eksperimentalno. U ovom poglavlju, za ilustraciju, pokazace se samo analiza uticaja poremećaja odnosa pojedinih celina u strukturi složenog proizvoda koji se sastoji od pet različitih podsistema.

Pokazalo se da poremećaji funkcije i odnosa manjih celina proizvoda, izazvani lošim kvalitetom tehnoloških operacija procesa sastavljanja, izazivaju u toku upotrebe potpune kvarove, koji lančano izazivaju nove poremećaje odnosa i poremećaje funkcije. Da bi se utvrdilo da li su poremećaji nastali u procesu sastavljanja zaista uzročnici pojave kvarova, neophodno je bilo utvrditi koeficijent korelacije izmedju njih. To se može postići poznavajući vrednosti parova (x,y) zastoja (x) i potpunih kvarova (y) kod svih pet podsistema složenog proizvoda.

Medjusobna statistička zavisnost tih parova izražena brojem predstavlja koeficijent korelacije (Tabela 1). Prema programu računara CELLATRON SER 2C izračunate su, i u naznačenoj tabeli date vrednosti svih aritmetičkih sredina ( $\bar{x}, \bar{y}$ ), varijabli (x,y), pripadnih varijanci ( $\sigma_x, \sigma_y$ ) i koeficijenta korelacije ( $r_{ij}$ ), za navedene

$r_{ij}$	x	y
x	1,000	0,736
y	0,736	1,000
$\bar{x}; \bar{y}$	35,846	4,538
$G_x; G_y$	23,310	4,032

a. podsistem I

$r_{ij}$	x	y
x	1,000	0,076
y	0,076	1,000
$\bar{x}; \bar{y}$	10,077	8,692
$G_x; G_y$	10,029	7,300

b. podsistem II

$r_{ij}$	x	y
x	1,000	0,263
y	0,263	1,000
$\bar{x}; \bar{y}$	4,615	4,615
$G_x; G_y$	2,372	1,983

c. podsistem III

$r_{ij}$	x	y
x	1,000	0,549
y	0,649	1,000
$\bar{x}; \bar{y}$	4,077	3,385
$G_x; G_y$	1,542	1,688

d. podsistem IV

$r_{ij}$	x	y
x	1,000	-0,511
y	-0,511	1,000
$\bar{x}; \bar{y}$	2,538	1,923
$G_x; G_y$	1,6932	1,6392

e. podsistem V

Tabela 1. Koeficijenti korelacije, aritmetičke sredine i standardne devijacije između zastoja i potpunih kvarova.

podсистeme složenog proizvoda. Iako analiza nije sprovedena sa velikim brojem parova  $(x,y)$ , kod tri podсистema se uočava pojava visokih koeficijenata korelacije između poremećaja i potpunih kvarova; dok je kod ostala dva podсистema njihova vrednost znatno manja.

Da bi u odluci bili sigurni, sprovedeno je testiranje koeficijenta korelacije čime je isključen uticaj slučaja. Pošto je analiziran dosta heterogen niz parova, u prethodnom istraživanju dobijen je koeficijent korelacije različit od nule ( $r \neq 0$ ), jer je delovanje slučajnih uticaja bilo znatno. Da bi se i to otklonilo sredjeni su podaci iz dužeg perioda zapažanja a rezultati su, nakon novog testiranja podataka, bili zadovoljavajući. Da bi se isključila mogućnost funkcionalne veze zastoja i potpunih kvarova izvršena je regresivna analiza, čime je dokazano da navedene funkcionalne veze, nema. Iz ovih dobijenih rezultata se zapaža da pojedine statističke veličine u velikoj meri zavise od vrste sistema i njegove složenosti, a to je u neposrednoj vezi i sa prethodno istraživanim parametrima.

#### 4. Zaključak

Tržišni uslovi privredjivanja zahtevaju sve viši kvalitet proizvoda. Iz tih razloga neophodno je unapred definisati parametre koji će poslužiti za proveru i analizu kvaliteta unoseći u model proračuna postojeće podatke dobijene u laboratoriji i poligon-skim ispitivanjima. Veliki je broj složenih proizvoda koji imaju jednokratnu upotrebu, tako da je provera kvaliteta na bazi podataka iz eksploatacije nemoguća, te se moramo isključivo osloniti na unapred definisane parametre koji su razmatrani u ovom radu. Isto tako, u fazi razvoja proizvoda moraju se unapred definisati bitne karakteristike, koje se moraju realizovati projektovanjem i izradom, koje se kontrolišu u procesu sastavljanja.

U ovom radu izostala su jedino razmatranja parametara namene, da bi se stekla potpuna slika o definisanju kvaliteta, iz razloga što je povoljnije da se oni utvrđuju zavisno od vrste i namene proizvoda.

Proizvodi masovne namene zahtevaju izuzetan kvalitet estetskog karaktera da bi se održali na tržištu. Iz tih razloga moraju

se istraživanja u ovoj oblasti sve više usavršavati, jer sada se definisanje parametara kvaliteta uglavnom vrši empirijskim metodama, što upućuje da je neophodno pronaći uopštene metode, barem za određene grupe proizvoda.

#### Reference

- /1/ Stevanović V.: Proračun i merenje pouzdanosti proizvoda, Doktorska disertacija, FSB, Zagreb, 1977.
- /2/ Petročenko A.F.: Sistem obezbedjenja kvaliteta, Sudostroenije, Lenjingrad, 1977.
- /3/ Djurašević A., Stevanović V.: Djelovanje sastavljanja na pouzdanost proizvoda, Istraživanja u okviru specijalističkog rada, FSB, Zagreb, 1974.

#### В. Стеванович

##### ПАРАМЕТРЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ В ПРОЦЕССЕ СОЕДИНЕНИЯ

В работе приведены основные параметры значительны для оценки качества изделий в фазах процесса соединения, которым до сих пор, цельностью не посвящалось достаточно внимания. Сделаны только основные исследования, которые намечают направление будущих подробных исследований, с особым вниманием на изделия, которые массово пользуются в эксплуатации. Также, показано что процесс соединения нужно подробно изучить, так как от него зависит окончательное качество изделий.



XIV SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980.

Z. Terzić<sup>\*)</sup>

EKSPLOATACIONE MERE ZA POBOLJŠANJE TEHNO-EKONOMSKIH  
POKAZATELJA U KOVAČKIM POGONIMA PRI MALOSERIJSKOJ  
PROIZVODNJI

## 1. U V O D

Intenzivni razvitak metalo-preradivačke industrije uslovio je nagli porast u proizvodnji otkivaka. Limitirani troškovi poluproizvoda (otkivaka) zahtevaju naučni pristup u proizvodnji otkivaka. Evidentni su podaci i rezultati koje je nauka ostvarila u obradi metala rezanjem učinivši je rentabilnom kako sa tehnokonomskog aspekta tako i sa aspekta humanizacije rada.

Imajući u vidu sadašnje stanje u našim kovačkim pogonima kojima je osnovno obeležje veliki proizvodni asortiman i male serije suočeni smo sa situacijom da je njihov rad na granici rentabiliteta. Stvarna dostignuća u obradi metala rezanjem nisu u mogućnosti niti treba da plaćaju danak zbog zaostajanja pripremno-proizvodnog procesa u proizvodnji otkivaka.

## 2. OSNOVNI PARAMETRI PROIZVODNE CENE OTKIVAKA

Osnovni kriterijum ekonomičnosti ma kog proizvodnog tehnološkog postupka jeste cena dobijenog proizvoda. Pošto je proizvodni proces složena funkcija od više činioca to i medjusobna zavisnost između činioca može da bude degresivna, proporcionalna i progresivna.

---

<sup>\*)</sup> Mr Zlatomir Terzić, dipl.inž., Viša tehnička mašinska škola, Zemun



Težnja je da svi ekonomski parametri budu optimalni, kako bi pri korišćenju proizvodnih agregata imali najmanje proizvodne gubitke. Odredjivanje ekonomičnosti i traženje optimalnih proizvodnih parametara postaje imperativ u trenutku kada postojeća proizvodna sredstva pri postojećem tehnološkom postupku rade na granici rentabilnosti. Polazeći od činjenice da proizvodnju treba nastaviti sa postojećim proizvodnim agregatima, tada rešenje treba tražiti u preispitivanju i poštovanju eksploatacionih faktora.

U kojoj meri eksploatacioni faktori utiču na cenu otkivka to se može videti iz podataka dobivenih analizom rada jednog kovačkog pogona. Analiziran je rad kovačkog pogona koji proizvodi otkivke čija je masa od 100 grama do 15 kilograma, a srednja masa otkivka 1500 grama. Iskazani elementi cene koštanja odnose se po jednoj toni otkivka. Ako bi cenu jedne tone otkivaka uzeli 100% onda u tom slučaju dobijamo procentualno učešće svih činioaca u sledećim odnosima:

- Osnovni materijal	46%
- Radionički rashodi	25%
- Osnovna plata	6,4%
- Cena alata	22,6%

Kod otkivaka manje težine i složenijeg oblika ovi procenti imaju drugi medjusobni odnos. Ovde je posmatrano makro stanje rada čitavog pogona, na bazi prosečne težine proizvedenog otkivka. Za neposrednu proizvodnju od primarnog je značaja mikrostanje kako po svakom proizvodnom agregatu tako isto i po grupama sličnih proizvoda razvrstanih u težinske grupe. Prema tome neposredni proizvođač mora da zna u svakom trenutku u kom odnosu stoje proizvodni troškovi za svaku vrstu proizvoda.

Da bi pogon mogao blagovremeno i konstantno da utiče na sniženje cene proizvoda preko smanjenja troškova eksploatacionih faktora, morao bi da ima organizovanu službu koja će da prati proizvodni proces od osvajanja proizvoda pa sve do njegovog konačnog gašenja.

### 3. UTICAJ EKSPLOATAACIONIH FAKTORA NA CENU OTKIVAKA

### 3.1. Osnovni materijal

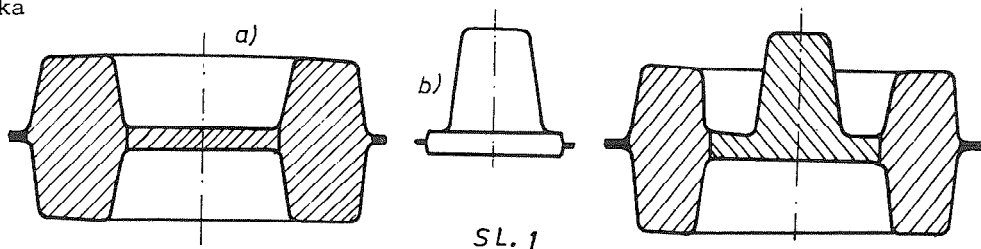
Polazni materijal njegove dimenzije i način pripreme do kovanja određuje tehnolog. Na probnom osvajanju se konačno ustanovi da li je količina materijala dovoljna i način pripreme zadovoljavajući da se u procesu kovanja dobije traženi otkivak. Definisani tehnološki postupak nakon završenog osvajanja dostavlja se pogonu radi tekuće proizvodnje.

Obzirom da je procentualno učešće osnovnog materijala u ceni koštanja otkivka najveće za pogon je i te kako važno da na bazi praćenja postojećeg tehnološkog postupka zaključi da se isti proizvod može kovati sa manjim učešćem osnovnog materijala. Pogon ima pravo da traži od tehnologije da se odnos težine gotovog otkivka naprama težini polaznog materijala uskladi u granicama koje su ostvarene kod sličnih otkivaka kovanih u istom pogonu. Smanjenje osnovnog materijala može se postići:

- zagrevanjem komada za kovanje u neutralnoj atmosferi
- odgovarajućom pripremom zagrejanih komada pre kovanja
- smanjenjem uglova kovanja
- smanjenjem dodatka za obradu
- zajedničkim kovanjem dva otkivka

Ako svim ovim merama smanjimo učešće osnovnog materijala za 1% pogon će ostvariti zapaženu uštedu.

Na sl. 1 prikazano je jedan od načina spajanja zajedničkog kovanja dva otkivka



Odvojeno kovanje dela a) vrlo je otežano pogotovu kada je slepa rupa velikog prečnika. Zajedničkim kovanjem dela a) i b) ne samo da imamo uštedu u materijalu već tehnološku olakšicu u proizvodnji i smanjenje troškova u alatima.

### 3.2 Alati za kovanje

Alati za kovanje rade u uslovima relativno visokih temperatura, udarnog opterećenja i značajnih temperaturnih naprezanja poniklih kao rezultat neravnomernog zagrevanja i hladjenja. Učešće alata u ceni koštanja otkivka kreće se od 15 ÷ 30% što zavisi od konfiguracije otkivka, težine otkivka, kvaliteta materijala i vrste agregata na kojem se vrši kovanje.

Povećanje izdržljivosti alata treba da bude jedan od osnovnih zadataka svakog kovačkog pogona.

Ispitivanjima se došlo do zaključka da pri poboljšanim uslovima eksploatacije može se izdržljivost alata povećati za 50% od svoje normalne izdržljivosti. Polazimo od toga da je alat izradjen od odgovarajućeg kvaliteta materijala, da je izvršena odgovarajuća termička obrada i da ispunjava sve ostale konstruktivno-tehnološke zahteve koji utiču na normalnu izdržljivost. Analiziraćemo samo eksploatacione faktore koji utiču na izdržljivost alata za kovanje ili ga izbacuju iz dalje upotrebe:

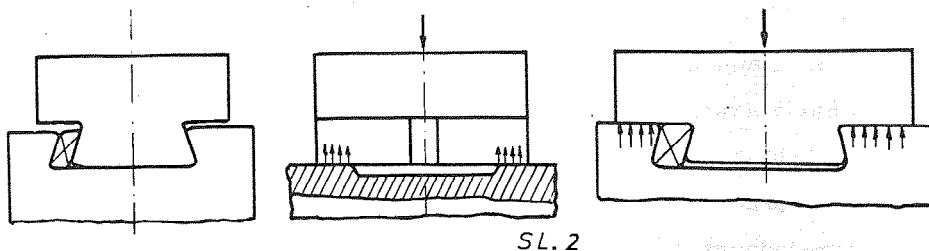
- Lom alata
- Podmazivanje i hladjenje
- Temperatura zagrejanih komada
- Način postavljanja priprema u alat
- Skidanje oksida sa priprema pre kovanja
- Nepravilan izbor agregata za kovanje
- Pojava pukotina na kritičnim mestima
- Konzerviranje alata posle upotrebe

#### 3.2.1 Lom alata

Lom alata može da nastane u početku rada i u toku rada. Uzroci pojave loma mogu biti:

- Nepravilno postavljanje alata u nosač
- Neadekvatna termička obrada alata
- Nepravilno predhodno zagrevanje alata
- Konstruktivni nedostaci

Na sl. 2 prikazan je nepravilan način oslanjanja alata u nosaču.



Najbolja izdržljivost alata postiže se ako se temperatura alata kreće od  $250 \div 350^{\circ}$ . Pre početka kovanja alat se mora zagrijati na tu temperaturu. Alate treba predgrevati u izotermalnoj peći koja nam garantuje da će čitava masa alata biti ravnomerno zagrejana. Veoma je nepovoljno vršiti predgrevanje alata stavljanjem zagrejanih komada direktno na radne površine alata.

### 3.2.2 Podmazivanje i hladjenje

Podmazivanje ima za cilj da smanji trenje po kontaktnim površinama između otkivka i alata, smanjujući na taj način habanje alata kao i lakše vadenje otkivka iz alata. Primenom odgovarajućih sredstava za podmazivanje smanjuje se intenzitet habanja alata za 70% u odnosu na alat koji se ne podmazuje. Istovremeno sredstvo za podmazivanje vrši i hladjenje baš onih površina alata koje su najviše izložene zagrevanju.

Podmazivanje alata može biti ručno i mehanizovano. Ručno podmazivanje smanjuje proizvodnost agregata za kovanje i ne daje ravnomeran sloj. Tokom rada vršena su ispitivanja pod istim radnim uslovima, s tim što je prvi alat imao mehanizovano podmazivanje, a drugi alat je podmazivan ručno i to posle svakog četvrtog otkivka. Kao rezultat toga dobivena je izdržljivost prvog alata 1,7 veća od izdržljivosti drugog alata. Na izvesnim proizvodnim kovačkim agregatima vrši se i unutrašnje hladjenje alata pomoću kanala u samom alatu. Ovakav način hladjenja posebno pogoduje izdržljivosti alata jer podmazivanje rashladjuje samo kontaktne površine alata.

### 3.2.3 Temperatura zagrejanih komada

Temperatura kovanja zavisi od mehaničkih osobina materijala. Temperaturni interval kovanja kreće se u granicama od  $950 \div 1050^{\circ}$ . Ako je materijal

za kovanje pregrejan on tada izaziva povećano zagrevanje radnih površina alata, menjajući njegova mehanička svojstva. Ako je pak materijal za kovanje nedovoljno zagrejan tada je potrebna veća sila za kovanje što se odražava potrebom za većim brojem udaraca ako se kovanje izvodi na čekiću, a ako je kovanje na kovačkim presama tada može doći do zaglavlivanja prese ili loma alata.

#### 3.2.4 Način postavljanja priprema u alat

Nepravilno postavljanje priprema u alat ne garantuje nam da ćemo dobiti ispravan otkivak. Osim toga, kretanje zagrejanog materijala preko radnih površina alata duže traje, što izaziva povećano habanje tih površina.

#### 3.2.5 Skidanje oksida sa priprema pre kovanja

Prisustvo oksida na površini zagrejanog priprema izaziva povećano trošenje alata u procesu kovanja, naročito kod kovanja na presama. Osim toga u kovani oksid na otkivku stvara velike probleme pri daljoj mašinskoj obradi. Odstranjivanje oksida sa zagrejanog priprema treba izvršiti pre kovanja bilo mehaničkim metodama bilo pneumatskim ili hidrauličnim strujanjem pod pritiskom.

#### 3.2.6 Nepravilan izbor mašine

Kod kovanja otkivaka na čekićima od velikog je značaja određivanje optimalne veličine sile udara pri kojoj se postiže najmanje trošenje alata.

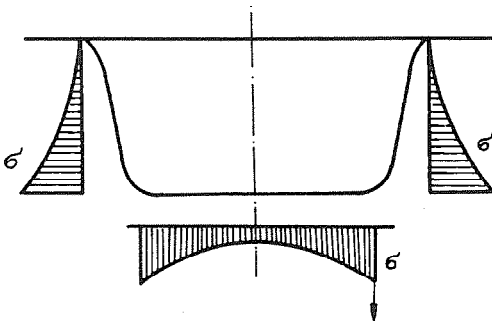
Ako je sila udara manja od optimalne tada je potreban veći broj udara, što ima za posledicu duže zadržavanje zagrejanog metala u alatu, povećanje temperature na kontaktnim površinama alata i zagrejanog materijala, promenu mehaničkih osobina alata što negativno utiče na postojanost alata.

Ako pak kovanje vršimo na čekićima veće snage, tada može doći do loma alata, a brzina deformisanja materijala dosta je velika što može da ima za posledicu da materijal ide tamo gde su mu otpori najmanji ne stigavši da popuni sav prostor u alatu.

### 3.2.7 Pojava pukotina

Na pojavu pukotina može da utiče slab kvalitet obradjene površine alata, kao i termičke deformacije alata u procesu rada. Najpogodnija mesta za pojavu pukotina su uska rebra u alatu i oštri prelazi.

Na sl. 3 dat je raspored termičkih naprezanja za izabran oblik kovačkog alata.



Sl. 3.

Stvaranju pukotina u alatu pogoduje intenzivno hladjenje zagrejanih površina alata. Stvorena pukotina naglo se širi zato čim se pojavi pukotina kovanje u takvom alatu treba obustaviti, a alat poslati na doradu. Dublje pukotine u alatu mogu da izazovu lom alata.

### 3.2.8 Konzerviranje alata posle upotrebe

Nakon otkovane serije poslednji otkivak iz alata šalje se na potpunu kontrolu, na bazi čega se konstatuje stanje alata. Ako je alat na granici istrošenja on se šalje na ponovnu doradu. Ukoliko nije na granici istrošenja on se konzervira i šalje u magacin alat.

### 3.2.9 Primena delimične mehanizacije

Kao posebnu eksploatacionu meru vredno je istaći uvođenje delimične mehanizacije na nivou opsluživanja svakog proizvodnog agregata. Kroz ovu meru ne treba gledati samo povećanu proizvodnost već i humanizaciju rada. Kovački pogoni poznati su po velikom učešću živog rada u dobivanju proizvoda i to pod veoma nepovoljnim radnim uslovima.

## Z A K L J U Č A K

Analizirani eksploatacioni parametri u sprezi sa odgovarajućim organizacionim elementima daće stvarna tehno-ekonomska poboljšanja:

- Povećanje godišnje proizvodnje pogona
- Povećanje proizvodnje po jedinici proizvodnog agregata
- Povećanje proizvodnje po zaposlenom radniku
- Povećanje proizvodnje po  $1 \text{ m}^2$  proizvodne površine
- Povećanje izdržljivosti kovačkih alata
- Smanjenje učešća polaznog materijala po jedinici proizvoda
- Poboljšanje radnih uslova - humanizacija rada

## В Ы В О Д

Анализирующие эксплуатационные параметры в связи с отвествующими организационными элементами дают действительные техничеcko - экономические улучшения:

- Повышение годовой выработки поковок
- Повышение производства на единицу производственного агрегата
- Повышение производства на одного рабочего
- Повышение производства на  $1 \text{ m}^2$  производственной площади
- Повышение долговечности кузнечных инструментов
- Уменьшений участия пускового материала на единицу производства
- Улучшение рабочих условий - хуманизация труда

## Л И Т Е Р А Т У Р А

- Пути повышения стойкости штампов. АН СССР 1973.  
Экономия штамповой стали. М.И. Колтун 1975.  
Борба за экономию металла. В.П. Наумов 1971.

XIV SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980

P. Šmarčan, J. Balič<sup>\*)</sup>)

IZKUŠNJE PRI PROGRAMIRANJU NC STROJEV Z MINIRAČUNALNIKI IN NJIHOVA POVEZAVA Z VEČJIMI RAČUNALNIKI<sup>\*)</sup>)

1. Uvod

Pri programiranju NC strojev se danes vedno pogosteje uporabljajo računalniki. Ti prevzamejo v celoti ali le deloma izračun geometrijskih podatkov in ustrežno pretvorbo teh podatkov v NC program.

Programiranje z večjimi računskimi sistemi sicer omogoča kompleksne in celovite rešitve problema programiranja NC strojev, zahteva pa drago računalniško in programsko opremo.

Pri programiranju NC strojev z miniračunalniki dobimo hitre in sorazmerno enostavne rešitve programiranja, vendar se pojavijo problemi, kadar želimo preiti na večji računalniški sistem. V tem članku je opisana izvedba povezave miniračunalnika z večjim računalniškim sistemom.

---

\*) dr. Pavel Šmarčan, dipl.inž., redni profesor Visoke tehniške šole v Mariboru, VTO strojništvo, Smetanova ul. 17, Maribor

Jože Balič, dipl.inž., asistent Visoke tehniške šole v Mariboru, VTO strojništvo, Smetanova 17, Maribor.

\*) Izdelano v Centru za tehnologijo na VTŠ - VTO strojništvo kot del raziskovalne naloge: "Programiranje NC strojev z miniračunalniki", (štev. 785-134/79), ki jo financirajo Agis Ptuj, Gorenje Muta, Elektrovina Maribor, Strojna Maribor, raziskovalna skupnost Slovenije in VTŠ Maribor.



## 2. Povezava miniračunalnikov z večjimi računalniškimi sistemi

Vedno več uporabnikov NC strojev prehaja od ročnega programiranja k strojnemu ali polstrojnemu programiranju, zato tudi kupujejo takšno računalniško in programsko opremo, ki to omogoča. V glavnem gre za manjše računske sisteme, ki zahtevajo tudi manjše računalnike. Običajno zadostujejo že miniračunalniki, ki imajo do 32 k besed spomina. V tej skupini so znani sistemi polstrojnega programiranja GTL/T, GTL/3, H100, H400, mini APT, Easyprog itd. Ti sistemi programiranja NC strojev so zelo učinkoviti pri manjšem številu NC strojev, v glavnem pa zajemajo le geometrijsko in postprocesorsko fazo, ki tečeta avtomatsko. Vse potrebne tehnološke podatke moramo vnesti ročno. Zaradi omejitve velikosti centralnega pomnilnika so ti sistemi zasnovani modularno, kar pa seveda poveča čas izvajanja programa. Poleg tega sistemi različnih proizvajalcev sploh niso med seboj kompatibilni, ker ima miniračunalnik običajno prevajalnik le za en programski jezik ali pa je celo prevajalnik orientiran samo na določeno NC programsko opremo. To popolnoma onemogoči prenos programske opreme iz enega na drug miniračunalnik, oz. je ta prenos težko izvedljiv ali pa predrag.

Vsaka večja OZD ima danes že večji računalniški sistem, ki je pretežno namenjen za poslovne obdelave. Takšni sistemi imajo znatno večji centralni pomnilnik in prevajalnike za vse glavne programske jezike. Ti sistemi so z manjšimi spremembami uporabni tudi za programiranje NC strojev (L3/, L4/), potrebno je le kupiti izhodno enoto - luknjalnik papirnega traku in napisati ustrezne programe. Računalnike je možno preko posebnih prilagoditvenih elementov (angl. interface) med seboj povezati. Če nam uspe povezati miniračunalnik, ki ga uporabljamo za programiranje NC strojev, z večjim računalniškim sistemom, smo odpravili vse slabe strani programskega sistema, ki izvirajo iz omejitve velikosti računalnika. V NC programski opremi so potrebne le manjše modifikacije, kot npr. programiranje vhodno/izhodnih datotek, adrese vhodno/izhodnih kanalov, prilagoditev operacijskemu sistemu večjega računalnika itd.

Miniračunalnik dela v režimu večjega sistema, kot inteligenčni terminal. Najbolj ugodna je obdelava v realnem času v načinu dodeljevanja časa. Podatke zajemamo z miniračunalnikom, jih sortiramo, sintaktično kontroliramo in shranimo na uporabnikovo datoteko. Nato se programsko priključimo na večji računalnik, ki včita uporabnikovo datoteko, vhodne podatke procesira in v kolikor ni napak postprocesor napiše NC program. Računalnik pošlje izhodne rezultate manjšemu sistemu - inteligenčnemu terminalu, kjer se ti rezultati lahko shranijo v datoteki na disketi, izpišejo na papir, izluknjajo na trak ali pa gredo direktno v pomnilnik CNC enote pri stroju. Podrobnejši opis takšnega sistema je dan v poglavju 3.

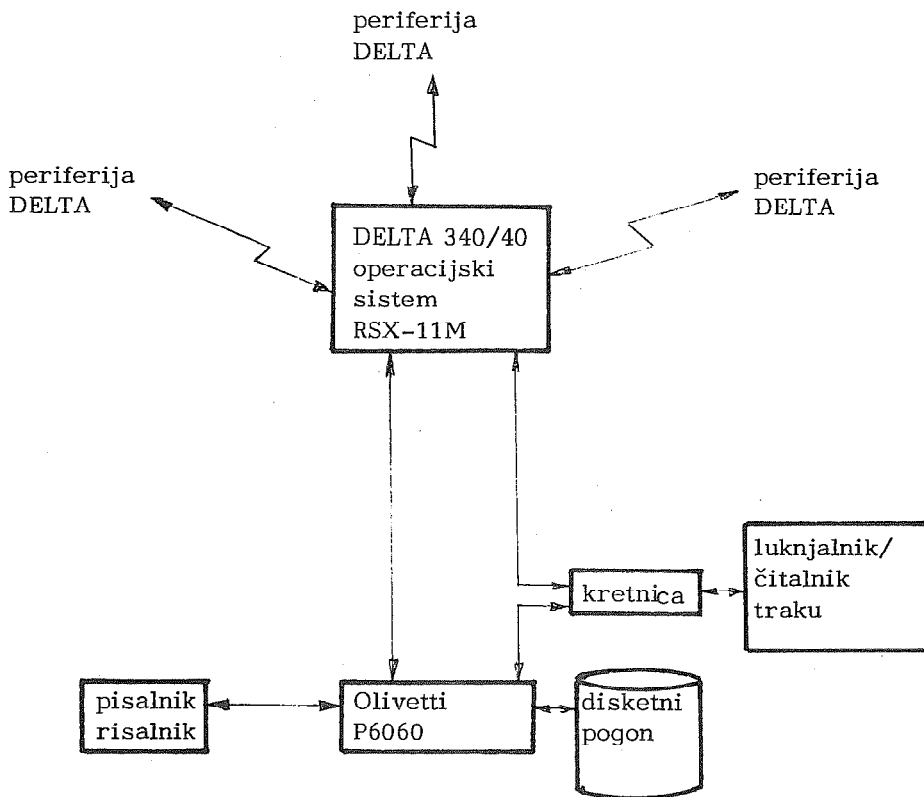
### 3. Povezava miniračunalnika Olivetti P6060 s sistemom DELTA 340/40

#### 3.1. Opis sistema in shema povezave

Miniračunalnik Olivetti P6060 ima pomnilnik velikost 40 k besed, dve disketni enoti po 256 k b, termotiskalnik ki je lahko sočasno tudi termorisanik. Na računalnik je priključen luknjalnik/čitalnik luknjanega traku RODATA LS-30. Računalnik je namenjen za polstrojno programiranje NC strojev s sistemom GTL/T (za struženje) in GTL/3 (za vrtanje-frezanje). Programski paket je sestavljen iz procesorja, postprocesorja in iz pomožnih programov.

Računalnik DELTA 340/40 ima pomnilnik velikosti 256 Kb, prevajalnik za vse važnejše programske jezike, dva diskovna pogona z 20 Mb spomina. Na sistem je priključen 6 video terminalov Kopa 100, 3 video terminali Kopa 700, dva printerja, sistemska konzola in luknjalnik/čitalnik papirnega traku.

Miniračunalnik Olivetti P6060 je priključen na sistem DELTA 340/40 kot inteligenčni terminal. Shema povezave je na sliki 1.



Sl. 1 Shema povezave miniračunalnika Olivetti P6060 z računalnikom DELTA

### 3.2. Potek dela

Miniračunalnik Olivetti P6060 dela v lokalnem načinu dela kot samostojna enota, s svojim lastnim prevajalnikom (BASIC). Ko ga priključimo na večji sistem, dela računalnik P6060 kot navadni ali inteligenčni terminal, z tistim prevajalnikom, ki ga pokličemo. V trenutku, ko vzpostavimo programsko povezavo med obema sistemoma, prevzame nadzorstvo nad terminalom večji računalnik. Potek dela določa sedaj operacijski sistem večjega računalnika (v našem primeru RSX-11M).

Postopek povezave in dela z rač. P6060 je:

- vklop miniračunalnika in startanje TTY - emulatorja (program za povezavo)
- instalacija in setiranje sistema (INSTAL, SEET)
- priklop na večji sistem (z telefonom, modemom ali direktno)
- vzpostavljanje kontakta z večjim sistemom (ukaz HELL)
- prenos vhodnih podatkov iz datoteke, ki smo jo kreirali v lokalnem načinu dela, v večji računalnik
- startanje procesorskega programa (RUN)
- startanje postprocesorskega programa (RUN)
- izbira izhodne enote in prenos podatkov iz večjega v manjši računalnik
- prekinitvev programske povezave z večjim sistemom in prehod na lokalni način dela (ukaza BYE in ABORT TTY).

### 3.3. Področja uporabe

Tako priključeni miniračunalnik uporabljamo na VTŠ za:

- programiranje NC strojev s programsko opremo, ki smo jo samostojno razvili na DELTI 340/40. To so programi za izračun točk raznih ravninskih krivulj \*FORMO, \*TOCKE, \*KRIXY.
- programiranje NC strojev s programskim paketom GTL/T in GTL/3, ki sta prirejena za uporabo na računalniku DELTA 340/40.

- za nekatere dodatne izračune, kot so izračun stroškov izdelave določenega izdelka, izračun optimalne serije s programskim paketom za Stroškovno Analizo Proizvodnih Sistemov, ki smo ga samostojno razvili.

#### 4. Zaključek

Opisani način povezave manjših računalniških sistemov z večjimi računalniki omogoča večjo izkoriščenost in fleksibilnost programske in strojne opreme, ki jo uporabljamo za programiranje NC strojev.

Z ustreznimi programskimi in strojnimi prilagoditvami bi bilo možno priključiti tudi miniračunalnike drugih proizvajalcev (INDEX, Gildemaister itd.), kar bi privedlo do določene izmenljivosti programske opreme.

Programiranje NC strojev se razvija v smeri popolnega računalniškega programiranja NC strojev (npr. programski sistem EXAPT), kar pa terja večjo in dražjo programsko in strojno opremo. Ekonomsko je uvajanje takšnega sistema upravičeno le od določenega števila NC strojev dalje in ko je OZD na določeni stopnji tehnološke razvitosti.

Povezava manjših sistemov z velikimi računalniki omogoča izkoriščanje večjih sistemov, ne da bi bilo potrebno zavreči manjše sisteme.

Osnovni namen povezave je torej večja izkoriščenost in fleksibilnost programskih paketov za programiranje NC strojev!

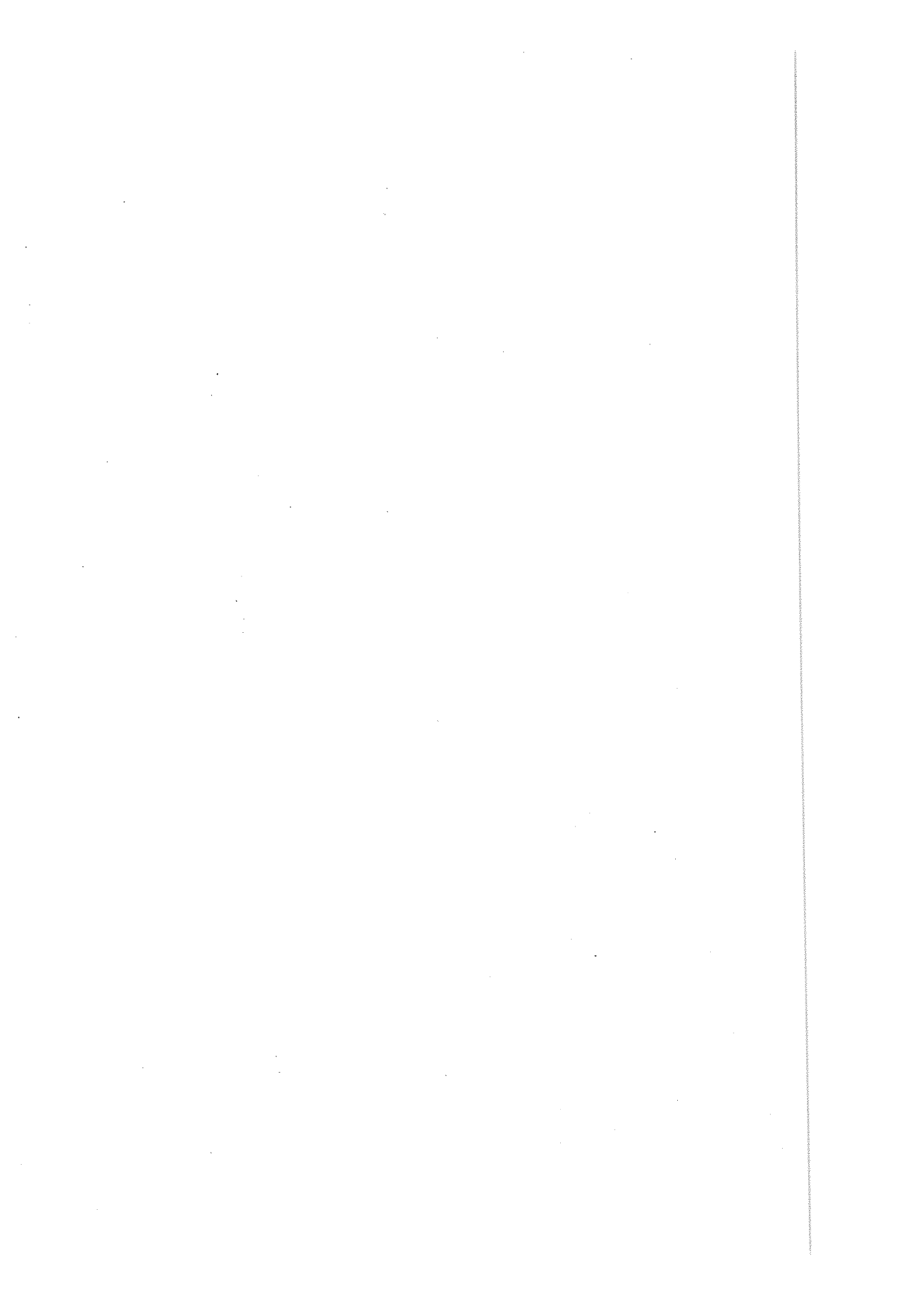
Reference

- /1/ Šmarčan, Balič: Uvajalne raziskave računalniško podprtega ročnega programiranja NC strojev (raziskovalna naloga VTŠ - 1979 - Maribor).
- /2/ Šmarčan, Balič: Programiranje NC strojev z miniračunalniki (raziskovalna naloga VTŠ - 1980 - Maribor).
- /3/ Balič, Šmarčan: Programiranje krivulj in ravninskih likov za NC stroje s pomočjo računalnika (IX. simpozijum - Upravljanje proizvodnjom u irdustriji prerade metala - Beograd 1979).
- /4/ J.Balič: Uporaba računalnika pri ročnem programiranju krivulj (XII. posvetovanje Proizvodnega strojništva - Maribor 1978).
- /5/ J.Balič: Programiranje NC strojev z miniračunalniki (NUMA '79 - Beograd 1979).
- /6/ Olivetti: Numerical Control Series GTL/T User Manual.
- /7/ Olivetti: Numerical Control Series GTL/3 User Manual.
- /8/ Olivetti: TTY Emulator - User Manual.
- /9/ Delta: Opereting Procedure - User Manual.

Zusammenfassung

Das Programmieren für NC Werkzeugmaschinen entwickelt sich in der Richtung des vollen maschinellen Programirens (APT, EXAPT). Jedoch ist die Anschaffung der Hardware und Software ziemlich kostspielig und erst bei einer grösseren Anzahl NC Maschinen berechtigt.

Im vorliegenden Beitrag ist die Verbindung eines kleinen Rechners mit einem grösseren Rechner beschrieben um die Flexibilität der üblichen rechnerunterstützten Handprogrammierung zu vergrössern und um das Problem der engen Einschränkung auf das mit dem kleinen Rechner mitgegebene Software zu lösen.



XIV SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980.

R.Uzunović, Lj.Lukić, R.Slavković \*)

RAZVOJ I PRIMENA TEHNOLOGIJE DUBOKOG BUŠENJA \*\*)

1. Uvod

Mada se još u delima Leonarda da Vinčija mogu naći skice mašina za duboko bušenje, intenzivni razvoj ova tehnologija doživljava u poslednje četiri decenije. Industrijski zahtevi iz vremena drugog svetskog rata inicirali su brži razvoj ovog specijalnog postupka obrade koji je kasnije široko primenjen u metaloprerađivačkoj industriji. Ovo je omogućeno i tehnološkim napredkom u više oblasti mašingradnje okarakterisanih faktorima:

- tehnologije proizvodnje alata i alatnih materijala,
- visokog tehnološkog nivoa u proizvodnji alatnih mašina,
- razvoja nauke o obradi metala rezanjem (termodinamika rezanja, geometrija alata, formiranje i transport strugotine iz zone rezanja),
- tehnologije u proizvodnji sredstva za hladjenje i podmazivanje,
- razvoj hidrauličnih komponenata i sistema,
- uvođenje sistema automatskog upravljanja i kontrole procesa (moment, aksijalna sila, pritisak ulja i dr.,).

---

\*) Ratko Uzunović, dipl.ing., samostalni saradnik i član Kolegijalnog poslovnog odbora za razvoj i marketing u Institutu za alatne mašine i alate u Beogradu, 27.marta 80.

Ljubomir Lukić, dipl.ing., mlađji saradnik Instituta za alatne mašine i alate u Beogradu, 27.marta 80.

Radomir Slavković, dipl.ing., šef tehničke pripreme "Industrijskog kombinata Guča" u Guči.

\*\*) Radjeno u Institutu za alatne mašine i alate kao deo projekta RAZVOJ I OPTIMIZACIJA PROIZVODNIH SISTEMA-ROPOS u čijem finansiranju učestvuje delom i Republička zajednica nauke SR Srbije i partneri iz privrede.



Tehnologija dubokog bušenja je najslabija u oblasti tehnologija obrade metala rezanjem. Oprema za duboko bušenje je veoma skupa i uglavnom se nabavlja iz uvoza. Sa druge strane porast tehnološkog nivoa u metaloprerađivačkoj industriji neminovno dovodi do šire primene ove tehnologije. Značajno je istaći da se tehnologija dubokog bušenja primenjuje ne samo za one operacije koje se ne mogu izvesti klasičnim bušenjem, već i kod kraćih otvora, pri čemu je produktivnost nekoliko puta veća, a postiže se bolji kvalitet obradjenog otvora.

Prema procenama Instituta IAMA u Jugoslaviji treba očekivati u narednih 5-10 godina brže uvođenje i širu primenu tehnologije dubokog bušenja, za šta je neophodno ovladati potrebnim znanjima i razviti domaću opremu.

Danas se obrada dubokih otvora pojavljuje praktično u svim industrijskim granama, jer njena ekonomična oblast primene obuhvata:

- (i) visoku produktivnost rezanja primenom tvrdog metala kao materijala za sečivo, pod odgovarajućim uslovima u odnosu na hlađenje, podmazivanje i odvođenje strugotine,
- (ii) visok kvalitet otvora obzirom na toleranciju mere, kvalitet površine i geometrijsku tačnost oblika,
- (iii) visoku tačnost pravosti otvora,
- (iv) objedinjenje više radnih operacija u jednu (npr. predhodno bušenje, proširivanje, razvrtanje) operaciju dubokog bušenja,
- (v) obradu teško obradljivih materijala, naročito onih koji se upotrebljavaju u vazduhoplovnoj i u vojnoj industriji,
- (vi) izradu otvora velike dubine, pri čemu maksimalna dubina bušenja iznosi reda oko 250 d, (d - prečnik otvora).

Razvijene su tri osnovne metode u pogledu tehničko-tehnološkog pristupa obradi dubokih otvora, i to:

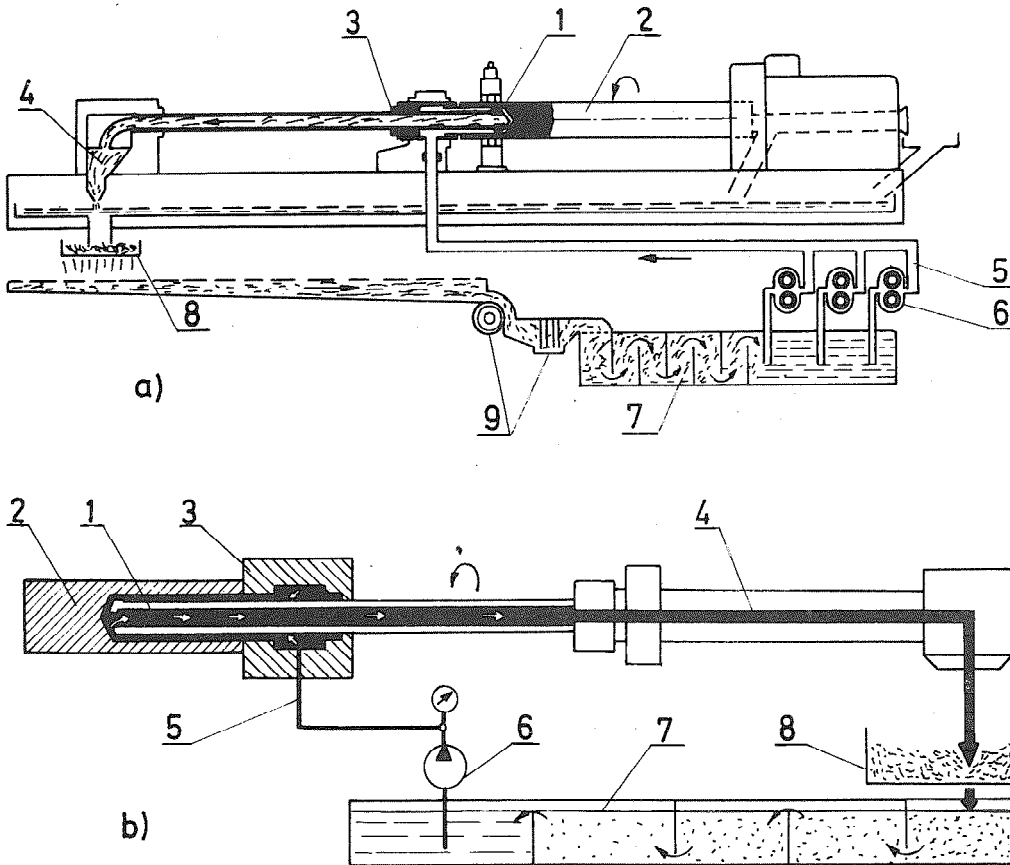
- metod jednosečnog alata (topovske burgije),
- metod BTA (Boring and Trepaning Association) i
- metod ejektorskog bušenja.

Pri obradi otvora manjih prečnika (od 2 do 30 [mm] ) uglavnom se

primenjuju alati jednosečnog principa, dok se za obradu većih prečnika (iznad 30 [mm] )isključivo koriste alati koji rade prema BTA ili ejektorskom postupku.

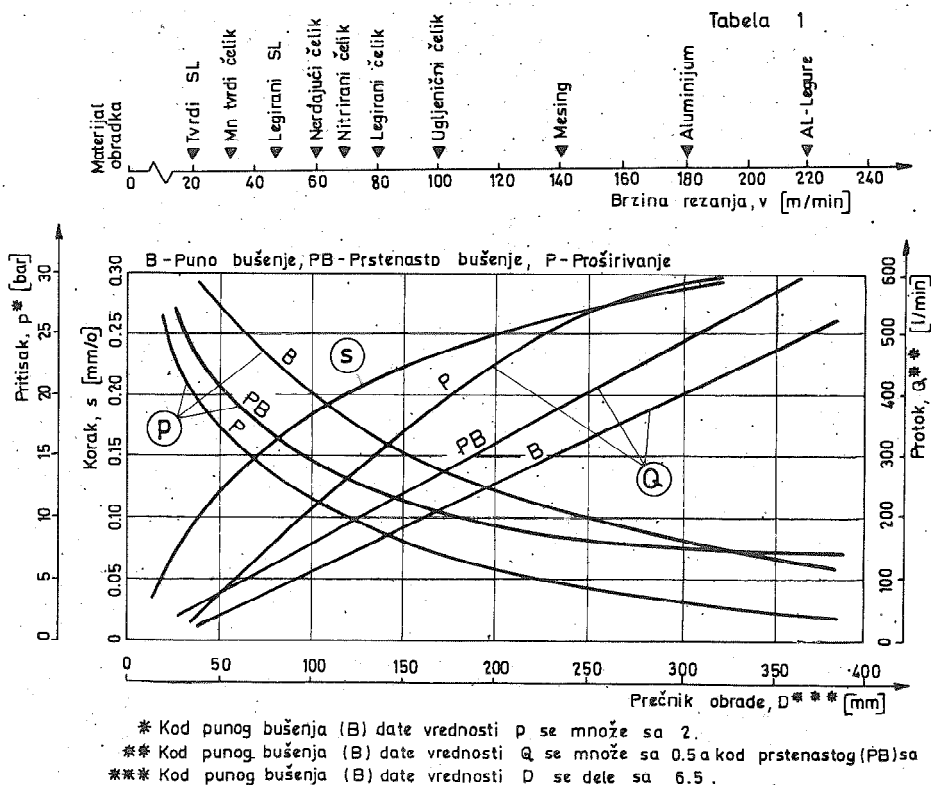
## 2. Sistemi za obradu dubokih otvora

Savremeni obradni sistemi za duboko bušenje sastoje se od većeg broja podsistema: mašine, alata, pribora, hidrauličnog uređjaja i upravljačke jedinice. Na slici 1 prikazani su osnovni elementi sistema za duboko bušenje obrtnih obradaka a) i sistema za duboko bušenje nerotacionih obradaka sa obrtnim alatom b).



Sl. 1. Shematski prikaz osnovnih elemenata BTA obradnog sistema za duboko bušenje (1-alat za bušenje, 2-obradak 3- uređjaj za dovod ulja, 4-povratni vod, 5-vod ulja pod pritiskom, 6-hidraulična pumpa, 7-rezervoar sa kaskadnim prečišćavanjem, 8-grubi prečistač, 9-magnetni valjak sa filtrom).

Kod tehnologije dubokog bušenja, pri izboru osnovnih parametara obrade pored brzine rezanja  $v$  [m/min] i koraka  $s$  [mm/o] značajnu ulogu imaju pritisak fluida za rezanje i ispiranje  $p$  [bar] i protok  $Q$  [l/min]. U tabeli 1. date su orijentacione vrednosti brzine rezanja pri dubokom bušenju u zavisnosti od vrste materijala, dok su na slici 2. predstavljene zavisnosti izmedju parametara procesa obrade dubokim bušenjem.



Sl. 2. Elementi režima obrade dubokih otvora

Na proces dubokog bušenja utiče veliki broj faktora pored parametara režima rezanja: geometrijska i radna tačnost mašine, dinamička stabilnost, vrsta i finoća prečišćavanja ulja za ispiranje, geometrija alata i kvalitet tvrdog metala, način dovodjenja ulja u zonu rezanja i odvodjenja strugotine, način deljenja strugotine, kontrola procesa i dr.

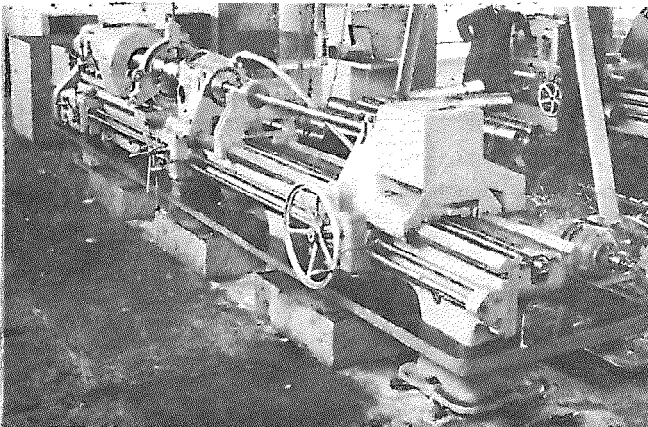
Danas postoji veliki broj različitih konstrukcija obradnih sistema za duboko bušenje sa svim vidovima upravljanja, počevši od ručnog, automatskog (numeričkog) do adaptivnog i kompjuterskog. U tabeli 2 daje se pregled osnovnih karakteristika obradnih sistema za duboko bušenje - za 24 evropska proizvođača. Ovi podaci mogu biti od koristi pri razvoju novih obradnih sistema ili izboru i nabavci opreme za duboko bušenje.

### 3. Neka iskustva Instituta IAMA

Obzirom na visoku cenu opreme za duboko bušenje, značajni ekonomski rezultati mogu se postići rekonstrukcijom i modernizacijom zastarelih mašina (čak i univerzalnih strugova), ulažući znatno manja sredstva.

Institut IAMA bavi se u ovoj oblasti razvojem i uvođenjem tehnologije dubokog bušenja, projektovanjem specijalnih mašina i pribora, rekonstrukcijom i modernizacijom postojeće opreme i optimizacijom korišćenja mašina i alata.

Na slici 3. prikazana je jedna rekonstruisana i modernizovana mašina za duboko bušenje i proširivanje, izvedena od zastarele mašine za proširivanje dubokih otvora (VDF Boehringer 85) [1].



Sl. 3. Rekonstruisana i modernizovana mašina za duboko bušenje i proširivanje

Osnovne karakteristike obradnih sistema za duboko bušenje evropskih proizvođača, odabranih prema maksimalnom prečniku (punog) bušenja

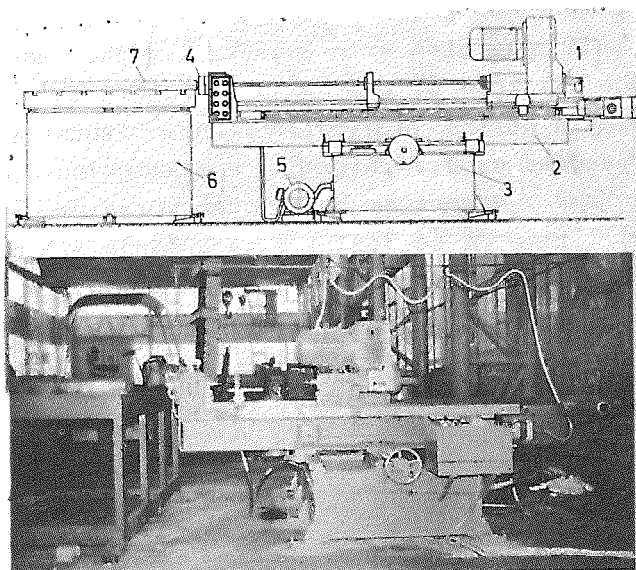
Tabela 2

Proizvođač	Broj radnih vretena	Max prečnik obradka [mm]	Max masa obradka [t]	Prečnik bušenja			Metod			Princip	Dubina bušenja [mm]	Max pogonska snaga [kW]	Broj obrtaja [o/min]	Max obrtni moment [Nm]	Max sila radnog hoda [kN]	Brzina pomoćnog kretanja [mm/min]	Kapacitet hidro agregata [l/min]	Zapremina rezervoara [l]
				Puno [mm]	Prstenasto [mm]	Proširivanje [mm]	Jednosmerni	BTA	tektorski									
P. 01				50							750	15	46 - 1820	1300	42		100	170
P. 02	1	740		20-150	250	250		+	+	+	500 - 5000	55	114 - 1470	3000	6000	0,04 - 4*	50 - 500	4000
P. 03	1	650	6,0	120	150	300		+	+	+	250 - 10000	55	35,5 - 1800	4500	40	20 - 4000**	1100	11000
P. 04		800		150	200	350		+	+	+	1000 - 10000	30	35 - 1800	6000	50	0 - 3000		
P. 05	1	200	1,2	4 - 45		60		+	+	+	200 - 1800	15	100 - 4800		1800	20 - 3000		8000
P. 06	3	2000		3x35	80	85		+	+	+	0 - 1600	70	35 - 2500	1000	50	10 - 1200	3 x 180	12000
P. 07	1	600	1,2	60	110	120		+	+	+	800 - 2500	30	160 - 1800	1500	30	40 - 2000	50 - 300	
P. 08			25,0	30				+	+	+	1500	15	0 - 2000		30000	0 - 1000		800
P. 09	1	540	3,5	125	160	160		+	+	+	320 - 2000	45	140 - 1800	3000	60	20 - 540	50 - 550	5000
P. 10	1-6	1000	4,0	24		40		+	+	+	1000	4	45 - 1400	100	9000	10 - 200	63	200
P. 11	1	720	4,0			305		+	+	+	100 - 6000	40	60 - 1700	1250	30	0 - 4200	50 - 700	6000
P. 12	1	2800	250,0	300	530	...		+	+	+	6000 - ...	200	8 - 710	10000	120	0,5 - 4000**	2000	30000
P. 13	1	1100		50	315	440		+	+	+	6500	40	112 - 224			0,04 - 8**	50 - 720	12000
P. 14		235	0,1	16 - 20		20		+	+	+	0 - 500	0,55	300 - 1800	11	2	50 - 2000	40	20
P. 15	1	1200		140	260	700		+	+	+	3000 - 15000	100	2 - 200	16000	150000	8 - 4000	600	8000
P. 16	1	800		150	200	250		+	+	+	300 - 4000	75	95 - 1440	7300	80	53 - 1200	1000	10000
P. 17	1	500		120	150	250		+	+	+	10000	37	50 - 1800			20 - 2000	64 - 500	3000
P. 18			1,5	20-50				+	+	+	50 - 500	18	100 - 1100	146	6	30 - 300	150	1000
P. 19	1	2500	200,0	500	800	1200		+	+	+	15000 - ...	160	8 - 500	16000	125	0,05 - 1500	2500	25000
P. 20	1	630	5,0	160	250	350		+	+	+	1000 - 12000	75	50 - 1500	6000	50	10 - 3000	700	5500
P. 21	2	600	4,0	120	150	250		+	+	+	600 - 10000	75	35 - 1800	4000	40	15 - 680	90 - 540	2000
P. 22	1	850	6,0	100		600		+	+	+	3000 - 12000	45	20 - 500	8000	40000	25 - 1350	350	5000
P. 23	1-4		2,0	5-30		40		+	+	+	1000	22	600 - 3600			35 - 350	220	2000
P. 24	1	2000	63,0	400	630	630		+	+	+	2000 - 20000	160	45 - 560	50000	100	3 - 3000	80 - 2500	25000

\* [mm/o] ; \*\* kontinuirana promena

Rekonstrukcija je izvršena u saradnji sa Mašinsko-metalurškim kombinatom "Bratstvo" - Pucarevo i imala je za cilj da se mašina prilagodi za operacije bušenja dubokih otvora prema BTA sistemu. Shematski prikaz ove mašine dat je na slici 1. a), gde je obradak obrtan a alat fiksiran. U srednjem suportu je ugradjen sistem za fiksiranje i smešten je posebno projektovan uredjaj za dovod ulja za bušenje pod pristikom. Na zadnjem suportu je poboljšan sistem stezanja nosača alata za bušenje i ugradjena kutija za prihvatanje ulja i strugotine. Izmedju srednjeg i zadnjeg suporta postavljena je pomoćna lineta za vodjenje nosača alata za bušenje i prigušenje vibracija, sa izmenljivim čaurama. Potpuno je rekonstruisan hidraulični sistem za hladjenje koga sačinjavaju rezervoar ulja od 1500 [l] , sistem za filtriranje i tri zupčaste pumpe ukupnog protoka 250 [l/min] . Maksimalni prečnik bušenja je  $\varnothing 55$  [mm] , proširivanja  $\varnothing 250$  [mm] , a maksimalna dužina otvora je 2100 [mm] .

Kao drugi primer navodi se sopstveni razvoj mašine za bušenje grejnih ploča MDB-3, prikazane na slici 4, koja je projektovana za fabriku UTVA - Pančevo [2]. Princip rada ove mašine sa obrtnim alatom za nerotirajuće obradke, prikazan je na slici 1. b).



Sl. 4. Mašina za duboko bušenje grejnih ploča, razvijena u Institutu IAMA

Mašina se sastoji od jedinice za glavno i pomoćno kretanje sa postoljem (1), koja je vezana za pomoćno poprečno postolje (2). Pomoćno postolje (2) postavljeno je na uzdužno postolje (3), koje istovremeno predstavlja i rezervoar ulja za bušenje, i pomoću sistema vodjica kreće se duž njega. Poprečno postolje se, u ovoj varijanti, pomera ručno i može se fiksirati na bilo kom mestu na uzdužnom postolju posle zauzimanja pozicije za bušenje.

Na prednjem delu jedinice za bušenje (1) postavljen je uređaj za dovod ulja i zaptivanje (4) prema BTA sistemu. Čaura za vođenje alata na ovom uređaju koja naleže na radni predmet i istovremeno vrši zaptivanje, aktivira se hidrauličnim putem pomoću malog hidroagregata. Ulje za bušenje se iz rezervoara (3) pomoću posebne zupčaste pumpe (5) kroz savitljivu cev dovodi u uređaj za zaptivanje (4).

Obzirom da je proizvodnja ove mašine izvršena u fabrici UTVA, koja ne proizvodi ovu vrstu opreme, obavljen je uvoz jedinice za bušenje (1), dok su ostali elementi na osnovu tehničke dokumentacije Instituta IAMA (hidroinstalacija, elektroinstalacija, postolja i dr.) izradjeni i montirani u samoj Fabrici.

Ovakva koncepcija mašine usvojena je zbog toga što radni predmeti u obliku ploča mogu biti vrlo dugački i teški. Maksimalna širina grejne ploče (7) koja se postavlja i fiksira na stolu (6) može biti 3.000 [mm] a dužina je neogradničena. Dimenzije poprečnih otvora u grejnim pločama su  $\varnothing 24,5$  [mm], a maksimalna dubina bušenja iznosi 1.500 [mm]. Otvori se buše jedan pored drugog na rastojanju 80-100 [mm], tako da se jedinica za bušenje (1) pomera duž postolja (3) i alat dovodi u odgovarajuću poziciju.

Na prednjem delu jedinice za bušenje postavljen je pult sa sledećim komandama: start, brzo primicanje alata, primicanje i odmicanje čaure za vođenje, start i stop bušenja, brzi povratni hod i sve stop.

Na posebnom pultu smešteni su sledeći instrumenti: termometar za merenje temperature ulja za bušenje, merač opterećenja motora za glavno kretanje, ventil za podešavanje pritiska ulja za bušenje, kontaktni manometar i brojač broja ciklusa bušenja. Na istom pultu nalaze se signalne svetiljke: opšta smetnja, smetnja u podmazivanju, spremno za rad, smetnja u instalaciji pod pritiskom, izme-

Pregled operacija punog bušenja (PB) i proširivanja (PR) pri obradi, nekih dubokih otvora na masini  
 VDF Boehlinger 85 (rekonstrukcija (AMA) alatima BTA u lKG u Guči

Tabela 3

SKICA ALAT - OBRADAK	Materijal obradka	Oprezacija i prečnik otvora [mm]	R E Ž I M			O B R A D E			Prežnik obradnog otvora [mm]
			v [m/min]	n [min <sup>-1</sup> ]	s [mm/obr]	p [N/cm <sup>2</sup> ]	q [l/min]	tg [min]	
	Č. 4731	PB. φ38	60	475	0.095	180	170	42.10	38.02
	Č. 4730	PB. φ50	70	475	0.132	140	220	31.89	50.02
	Č. 5432	PB. φ50	70	475	0.095	140	220	23.49	54.22
		PR. φ54.2	80	475	0.095	170	80	23.50	
	Č. 4130	PB. φ50	70	475	0.132	140	220	31.89	65.92
		PR. φ53.9	80	475	0.095	170	80	44.32	
		PR. φ65.9	70	375	0.190	150	130	9.82	
	Č. 4120	PB. φ25.5	80	900	0.067	280	100	19.90	25.53
	Č. 4731	PB. φ50	70	475	0.132	140	220	33.50	79.03
		PR. φ61	70	375	0.190	150	110	29.47	
		PR. φ72	70	300	0.190	145	135	36.84	
		PR. φ79	70	300	0.190	130	140	36.85	



na alata, hidraulika uključena i isključena, a također i preklopnik za ručni i automatski rad.

Ovaj primer pokazuje kako se u Jugoslovenskim uslovima može osvojiti jedna veoma složena tehnologija i u postojećoj metaloprerađivačkoj proizvodnji razviti i proizvesti odgovarajuća tehnološka oprema koja inače zahteva visok tehnološki nivo proizvodnje, karakterističan za proizvođače alatnih mašina.

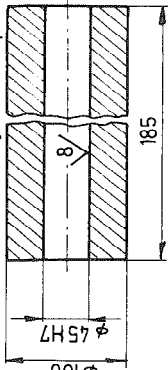
U tabeli 3 daje se pregled nekih primera izrade dubokih otvora sa osnovnim elementima režima obrade, koji su izvodjeni na mašini prikazanoj na slici 3.

Ranije je primena tehnologije dubokog bušenja bila ograničena samo na duboke otvore, dok danas prednost ove tehnologije dolazi sve više do izražaja i pri obradi otvora manjih dubina u poredjenju sa konvencionalnim postupcima. Ove prednosti se postižu zahvaljujući većoj produktivnosti rezanja, smanjenju broja operacija i povećanju kvaliteta obradjenih otvora. Ova tvrdnja je ilustrovanja uporednim prikazom obrade otvora prečnika  $\varnothing 45$  [mm], dubine  $L=185$  [mm]  $L/D = 4,1$ , I postupkom dubokog bušenja i II konvencionalnim postupkom obrade - tabela 4. Može se zaključiti da je ukupno glavno vreme obrade posmatranog otvora dubokim bušenjem preko 5 puta kraće od konvencionalnog postupka.

Na osnovu ušteda kroz porast produktivnosti i kvalitet proizvodnje, u svakoj metaloprerađivačkoj proizvodnji mogu se stvoriti značajna sredstva za istraživanje, razvoj (tehnologije i opreme) i uvođenje postupka dubokog bušenja.

#### 4. Program integralnog pristupa Instituta IAMA tehnologiji obrade dubokih otvora

Institut IAMA kroz program strateškog projekta ROPOS za 1981/85 i srednjoročni plan razvoja, uvidjajući interese domaćih proizvođača alata i korisnika mašina za obradu dubokih otvora, oslanjajući se i na neka sopstvena iskustva iz problematike dubokog bušenja, ima u planu preduzimanje intenzivnih radova na integralnom pristupu tehnologiji obrade dubokih otvora. Radovi se mogu sagledati kroz nekoliko tema iz programa istraživanja.



Skica obradka:  
Materijal: Č. 4131

Oznake i jedinice mera:  
Brzina rezanja:  $v$  [m/min]  
Broj obrtaja:  $n$  [min<sup>-1</sup>]  
Pomak:  $S$  [mm/o]  
Glavno vreme:  $tg$  [min]

Pritisak rashl. sredstva:  $P$  [N/cm<sup>2</sup>]  
Protok rashl. sredstva:  $Q$  [l/min]  
Ukupno glavno vreme:  $t_{gu}$  [min]

I METOD DUBOKOG BUŠENJA

Mašina za duboko bušenje VDF Boehringer 85 - IAMA

Skica alat-obradak	Alat	Režim obrade
	BTA Puno bušenje 43 h 5	$S = 0,095$ $V = 90$ $n = 800$ $p = 180$ $Q = 180$ $tg = 2,43$
	BTA proširivanje $\phi 45 h 5$	$S = 0,132$ $V = 90$ $n = 800$ $p = 40$ $Q = 80$ $tg = 1,75$

$t_{gu} = 4,18$

II METOD KONVENCIONALNE OBRADBE

Univerzalni strug MORANDO Potisje - Ada US 22

Skica alat-obradak	Alat	Režim obrade
	Duga spiralna burgija $\phi 21$	$S = 0,16$ $n = 355$ $tg = 3,26$
	Spiralna burgija JUS K.D3.022 $\phi 32$	$S = 0,25$ $n = 250$ $tg = 2,96$
	Spiralna burgija JUS K.D3.022 42	$S = 0,28$ $n = 125$ $tg = 5,28$
	Proširivač JUS K.D3.301 44,5 Razvirtač JUS K.D3.162 45	$S = 0,50$ $n = 125$ $tg = 5,28$ $S =$ $n = 63$ $tg = 5,87$

$t_{gu} = 22,65$

- (1) Formiranje baze tehnoloških podataka za obradu dubokih otvora koju bi sačinjavale kompletne tehnološke informacije o obradnom sistemu, alatu, režimu i uslovima obrade.
- (2) Ispitivanje procesa dubokog bušenja kroz proučavanje ponašanja obradnog sistema i istraživanje uticajnih faktora: sredstva za hladjenje i podmazivanje, obradljivost materijala, oblik strugotine, kvalitet i tačnost obradjene površine.
- (3) Istraživanje i razvoj alata za obradu dubokih otvora sa stanovišta ponašanja u obradnom procesu i konstruktivnog izvođenja.
- (4) Razvoj pribora, opreme i dodatnih modula za obradu dubokih otvora kako na specijalnim tako i na univerzalnim mašinama.
- (5) Istraživanje i razvoj hidro sistema kao celine i po pojedinim funkcionalnim elementima.
- (6) Istraživanje i razvoj domaćih agregatnih mašina za obradu dubokih otvora sa tehničkim karakteristikama koje bi zadovoljile potrebe domaće industrije prerade metala.

Ovakav istraživačko-razvojni program obuhvata: osvajanje i razvoj teorijskih znanja o procesu, razvoj i konstrukciju domaćih alata i opreme, implementaciju tehnologije u privredu koristeći predhodno ostvarene rezultate kao bazu za ozbiljne intervencije u narednom periodu.

## 5. Zaključak

Na osnovu iznetog slede zaključci:

1. Savremeni obradni sistemi i alati pružaju velike mogućnosti u pogledu izlaznih tehnokonomskih pokazatelja procesa obrade dubokih otvora.
2. Očigledne su prednosti ovog specijalnog postupka obrade nad ostalim metodama i mogućnostima dubokog bušenja.
3. Implementacija tehnologije dubokog bušenja u metalnu industriju zahteva visoko poznavanje obradnog procesa, opreme, alata, odgovarajućeg pribora i obradnog sistema.
4. Institut IAMA preko svojih istraživačko-razvojnih programa SIO

i POREX planira širi program istraživanja u narednih 5 godina na bazi integralnog pristupa ovoj tehnologiji, u saradnji sa zainteresovanim partnerima iz privrede.

5. Interesi šireg kruga zainteresovanih partnera iz metaloprerađivačke industrije za uvođenje tehnologije dubokog bušenja mogu se regulisati preko samoupravnog sporazuma na bazi zajedničkog ulaganja sredstava i učešća u dohodku ostvarenom primenom ove tehnologije.

#### Reference

- [1] Uzunović, R., Butorajac, D., Slavković, R., Kerkez, R., Rekonstrukcija mašine za duboko bušenje i uvođenje tehnologije obrade koka za centrifugalno livenje cevi za IKG, Elaborat br. 421/77, Institut IAMA, Beograd (1977)
- [2] Uzunović, R., Projekat mašine za duboko bušenje grejnih ploča MBP-3 za fabriku UTVA, Elaborat br. 422/77, Institut IAMA, Beograd (1977)
- [3] Lukić, Lj., Karakteristike procesa obrade dubokih otvora-seminarski rad, Poslediplomske studije, Mašinski fakultet, Beograd (1980)
- [4] Slavković, R., Duboko bušenje i NUMA sistemi-seminarski rad, Poslediplomske studije, Mašinski fakultet, Beograd (1979)
- [5] Prospektivi materijali proizvođača mašina i alata za obradu dubokih otvora
- [6] Program radova za naučnoistraživački projekt Razvoj i optimizacija proizvodnih sistema - ROPOS, Institut IAMA (1980)
- [7] VESTI IMA & KAPROM Br. 10, Institut IAMA, Beograd (mart 1977)

R. Uzunović, Lj. Lukić, R. Slavković

ENTWICKLUNG UND ANWENDUNG TECHNOLOGIE DES TIEFBOHREN

Tiefbohrverfahren für metallische Werkstoffe haben einen Entwicklungsstand erreicht, der sie für die neuzeitliche Fertigungstechnik unentbehrlich macht. Der Beitrag gibt einen gerafften Überblick über die Verfahren, über die Arten der Tiefbohrmaschinen und fasst abschliessend einige Kriterien für Einsatz der Tiefbohrtechnik.



XIV SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980.

N. Bajić\*)

O OBRADLJIVOSTI TITANA BRUŠENJEM\*\*)

1. Uvod

Pri projektovanju režima obrade pred tehnologom stoji veoma složen zadatak da, poštujući uslove i ograničenja koja su specifični za svako radno mjesto pronađe ona rješenja koja će omogućiti optimalnu proizvodnju. Da bi zadatak uspješno mogao obaviti, tehnolog mora da ima sve potrebne podatke o uslovima obrade, a prije svega o eksploatacijskim karakteristikama reznog alata i obradljivosti materijala predmeta obrade.

Brušenje titana i njegovih legura je delikatan posao sa izraženom tendencijom sve šire primjene. Obzirom da još nisu formirani konačni zaključci oko izbora abrazivnog materijala, elemenata režima rezanja i ambijenta u kome se ostvaruje proces obrade, u radu se daju rezultati brušenja titanove legure UT A6V točilom C80J6V i uz korištenje dvije vrste sredstva za hladjenje i podmazivanje (SHP).

Za definisanje kompleksa parametara vezanih za obradljivost korišten je višefaktorni plan eksperimenta, čiji su rezultati prikazani u obliku eksponencijalnih izraza, dijagrama i nomograma a sve u cilju valjanog korištenja u proizvodnoj praksi.

2. Predhodna razmatranja

Izbor metoda i uslova ostvarivanja završne obrade treba da se zasniva ne samo na obezbjedjenju proizvodnosti i postojanosti reznog alata, već i odgovarajućem integritetu obradjene površine.

\*)Mr Nedjo Bajić, dipl.inž., asistent Mašinskog fakulteta u Mostaru

\*\*)Radjeno u laboratoriji "LATOM" Mašinskog fakulteta u Mostaru kao dio projekta FORMIRANJE BANKE PODATAKA ZA OPTIMALNO PROJEKTOVANJE PROIZVODA I TEHNOLOGIJE U INDUSTRIJI PRERADE METALA u čijem finansiranju učestvuje Republička zajednica za naučni rad SR BiH i partneri iz industrije.

Ovu činjenicu, kako pokazuju rezultati istraživanja, neophodno je imati u vidu pri obradi brušenjem dijelova iz titana i njegovih legura, posebno onih pred koje se postavljaju određeni zahtjevi u vezi sa nosivosti i sigurnosti u radu.

Brušenje titana i njegovih legura još uvijek nije dovoljno izučeno, mada je objavljeno više radova iz ove oblasti [1], [4] i [5]. Razlozi ovakvom stanju su dijelom zbog ekonomije postupka, a u glavnom u teškoj obradljivosti titana i njegovih legura brušenjem, koja je uslovljena skupom njegovih fizičko-mehaničkih i hemijskih osobina, a te su:

- loša toplotna vodljivost, te dolazi do generisanja značajne toplotne energije u zoni rezanja, koncentrisanoj u vrlo maloj zapremini, pa je uzrokom strukturno-faznih i mehaničkih promjena kao i spaljenih mjesta;
- izražajna tendencija legiranja i hemijskih reakcija na povišenim temperaturama koje vladaju u zoni rezanja;
- površinsko sjedinjavanje titana sa kiseonikom i dušikom je uzrokom stvaranja vrlo tvrde i krte faze koja posložava uslove rezanja;
- relativno velika duktilnost titana dovodi do stvaranja naslaga na radnoj površini tocila;
- osjetljivost na naponsku koroziju pod uticajem nekih hloriranih proizvoda (hlorirani rastvarači, sulfhlorirana ulja itd.).

Da bi se umanjili nepoželjni efekti obrade rezanjem, nastali dužim stajanjem titana na vazduhu (oksidni sloj), poželjno je prije obrade izvršiti čišćenje površina. U zavisnosti od debljine oksidnog sloja čišćenje treba izvršiti najprije pijeskom, a potom kupkom sodnog nitrata ili uranjanjem u nitrofluorovodonične kupke. Zbog specijalno primjenjivanih instalacija i posebnih mjera opreznosti pri čišćenju titana kupkama preporučuje se, kad god je to moguće, čišćenje pijeskom ili neki drugi mehanički vid čišćenja.

Obrada titana i njegovih legura brušenjem danas se sa manje ili više uspjeha ostvaruje konvencionalnim abrazivnim materijalima, abrazivnim materijalima na bazi nitrida bora "elbor" i dijamantom.

Za slučaj brušenja konvencionalnim abrazivnim materijalima

optimalno brušenje titanovih legura sa  $\alpha$ ,  $\alpha + \beta$  i  $\beta$  strukturom, termički obradjenih ili ne podvrgnutih takvoj obradi, se postiže primjenom tocila na bazi zelenog karbida silicija sa keramičkim vezivom. Pri brušenju ovim tocilima sa odgovarajućim režimima rezanja obezbjedjuje se zadovoljavajuća hrapavost obradjene površine i tačnost dimenzija.

Tocila na bazi bijelog elektrokorunda, najboljih karakteristika, mada i dozvoljavaju dobivanje površine dijelova iste klase kao i preporučena ne dozvoljavaju prihvatljivu postojanost i proizvodnost. Radi toga ova tocila ne mogu biti preporučena za brušenje titana i njegovih legura.

Na osnovu ispitivanja [1] došlo se do zaključka da je za brušenje titanovih legura složenog oblika najbolje koristiti brusne papire sa dvostrukim nasipom zrna na bazi SiC, sa kombinovanim keramičko-metalnim vezivom.

Tocila na bazi kubnog nitrida bora, pri brušenju titanovih legura, obezbjedjuju za oko deset puta veći specifični učinak i postojanost u poredjenju sa odgovarajućim pokazateljima dobivenim pri brušenju tocilima na bazi SiC, pri ovome kvalitet obradjene površine se povećava. Tehno ekonomska analiza [4] pokazala je da rad tocilima na bazi kubnog nitrida bora, ne gledajući njihovu cijenu, u poredjenju sa abrazivnim je ekonomski opravdaniji.

Pri brušenju dijelova iz titanovih legura u kontaktnoj zoni prisutne su veoma složene pojave iskazane kroz: visoku temperaturu rezanja; velika mehanička naprezanja usljed dejstva otpora i postojanja trenja na kontaktnim površinama; visoke pritiske strugotine na površinu alata i visoke pritiske uzrokovane skoro trenutnim isparavanjem SHP zatečenog u porama tocila; kao i hemijske procese. Ove pojave pokazuju veliki uticaj na strukturne i fazne transformacije u površinskom sloju i dovode do promjena osobina istog.

Provedena izučavanja [5] pokazuju da na strukturne i fazne transformacije odlučujući uticaj ima kako temperatura, tako i faktor sile. U vezi sa kratkotrajnim visokim zagrijavanjem i djelovanjem faktora sile pri brušenju kritične tačke  $\alpha = \beta$  transformacije trpe promjene. Pri ovome faktor sile, tj. plastična deformacija djeluje u smislu smanjenja, a kratkotrajnost zagrijavanja u



u smislu povećanja kritičnih temperatura transformacije. U zavisnosti od toga, koji od faktora ima dominantnu ulogu određuje se kritična tačka  $\alpha \rightarrow \beta$  transformacija. Ova se razlikuje od odgovarajuće temperature običnog kaljenja. U saglasnosti sa prisustvom strukturnih transformacija dolazi do izmjene mikrotvrdoće u površinskom sloju i do pojave unutrašnjih naprezanja, koja su u zoni spaljenih mjesta uglavnom uzrokom naprslina.

Analiza provedenih izučavanja [5], takodje, pokazuje da primjena tocila od elbora umjesto običnih abrazivnih pri obradi titanovih legura obezbjedjuje značajno snižavanje toplotnog potencijala procesa, a samim tim izmjene mehaničkih svojstava po dubini površinskog sloja manje su izražene, što se povoljno odražava na radnu sposobnost predmeta obrade.

Neizbježan uslov pri brušenju je primjena SHP. Od ostalih najčešće se koriste rastvori koji prema [1] sadrže: 2% sode i 0,8% kalcinirane sode; 0,25% emulzije, 0,5% trinatrij fosfata i 0,25% nitrida natrija; 0,35% trinatrijfosfata, 0,4% trietanolamina, 0,3% kalcinirane sode i 0,5% boraksa. Primjena vodenih rastvora sa hemijski aktivnim dodacima u značajnoj mjeri umanjuje hemijsko i adhezivno medjudejstvo abraziva sa titanom, usljed čega se povećava režuća sposobnost tocila, a takodje istrošenost tocila se smanjuje za više puta nego pri hladjenju emulzijom. Pri dovodjenju relativno velikih količina tečnosti u zonu rezanja, mora se računati sa izmijenjenim sistemom separacije strugotine iz SHP, jer titan ne posjeduje svojstva magnetizma.

### 3. Metodologija definisanja parametara obradljivosti

Cilj eksperimenta je definisanje matematskih modela za srednju obimnu komponentu otpora rezanja, srednje odstupanje profila obradjene površine, kao i utvrđivanje indeksa kvaliteta SHP.

#### 3.1. Metoda ispitivanja

Posmatrat će se proces obrade ravnog brušenja obimom tocila a prema izučavanjima [2] i [3] pokazano je da se obimna komponenta otpora rezanja i srednje odstupanje profila obradjene površine mogu izraziti jednačinama:

$$F_i = C v_r^x t^y s_b^z \quad [N]$$

$$R_a = C_{Ra} v_r^p t^q s_b^r \text{ [}\mu\text{m]}$$

gdje je:  $v_r$  - brzina predmeta obrade,  $t$  - dubina brušenja i  $s_b$  bočni pomak, dok su  $C$  i  $C_{Ra}$  - konstante koje sumarno karakterišu uslove obrade.

Za utvrđivanje predloženih matematskih modela primijenjen je eksperimentalno-analitički metod, koji bazira na savremenim statističkim metodama uz korištenje matrične algebre. Kako je u matematskim modelima broj nezavisno promjenljivih tri, korišten je trofaktorni plan eksperimenta, gdje je ukupan broj potrebnih mjerenja  $N = 2^k + n_0 = 2^3 + 4 = 12$  [6].

Adekvatnost modela i značajnost njegovih koeficijenata određen je prema Fisher-u, a tačnost (preko intervala povjerenja za pouzdanost od 95%) prema Student-u.

Za odredjivanje koeficijenata u lineariziranim matematskim modelima primijenjena je metoda najmanjih kvadrata pa je dobiven sistem normalnih jednačina, a korištenjem matrične algebre i posebnim izborom promjenljivih uprošćeno je njihovo rješavanje. Kodiranje i izbor promjenljivih u matematskim modelima vršen je pomoću jednačina

$$X_i = 1 + 2 \frac{\log x_i - \log x_{i\max}}{\log x_{i\max} - \log x_{i\min}} \quad i = 1, 2, 3.$$

Ovdje su:  $x_1 = v_r$ ;  $x_2 = t$ ;  $x_3 = s_b$ , koje za kodirane vrijednosti promjenljivih  $X_i$  daju +1; -1; i 0, pri maksimalnom, minimalnom i srednjem nivou prirodne promjenjivosti.

Tehnika izvodjenja eksperimenta zasniva se na mjerenju otpora rezanja na principu pijezelektričnog efekta i mjerenju hrapavosti obradjene površine uz pomoć profilometra.

### 3.2. Uslovi izvodjenja eksperimenta

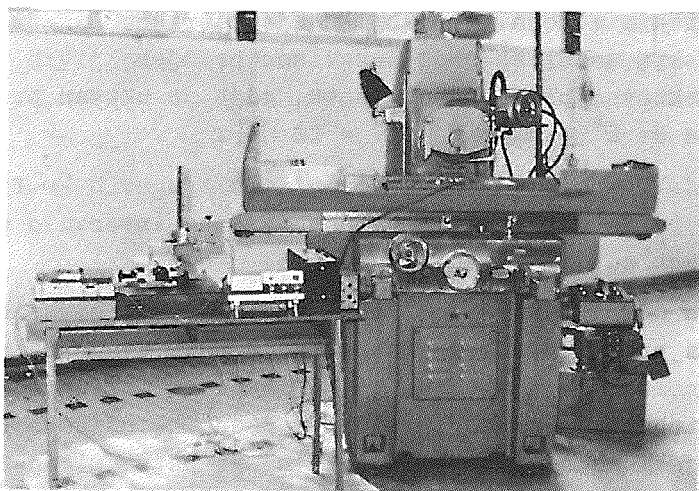
Materijal predmeta obrade je legura titana UT - A6V hemijskog sastava

Al %	V %	Fe %	H <sub>2</sub> %	C %	N <sub>2</sub> %	O <sub>2</sub> %	Ti %
6,87	4,10	0,13	0,125	0,08	0,07	0,02	ostalo

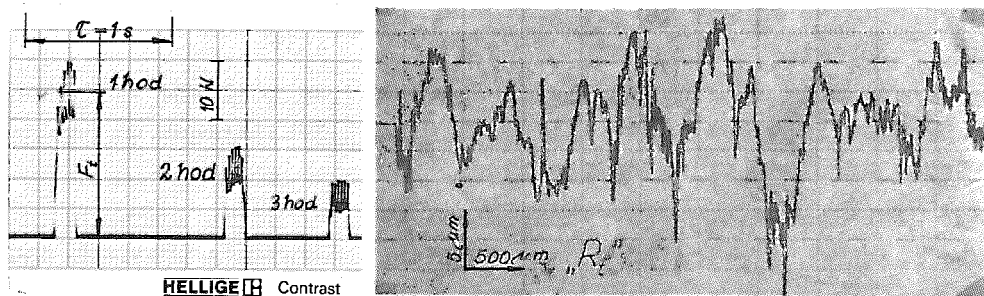
Za obradu ove legure korišteno je točilo C80J6V tvornice Swaty-Maribor normalne proizvodne kvalitete.

Cjelokupno ispitivanje izvedeno je na brusilici za ravno brušenje 3G 71 sovjetske proizvodnje, uz korištenje 4%-tne emulzije sintasol "A" i "EP" rafinerije ulja Modriča kao SHP. Pri ovome brzina rezanja bila je približno konstantna i iznosila je 27 m/s.

Prikaz ispitivačkog radnog mjesta sa kompletnom instrumentacijom dat je na sl.1, dok je izgled zapisa otpora  $F_t$  i hrapavosti  $R_t$  dat na sl.2.



Sl. 1. - Prikaz ispitivačkog radnog mjesta



Sl. 2. - Izgled zapisa mjerenih veličina

#### 4. Prikaz dobivenih rezultata

Prikaz toka plana eksperimenta i rezultata mjerenja uz korištenje 4%-tne emulzije sintasol "A" dat je u tabeli T-1. Analognim postupkom dobiveni su podaci i za 4%-tnu emulziju sintasol "EP".

Tabela T-1

Br. exp.	Plan eksperimenta							Vektor izlaza	
	v <sub>r</sub> [m/min]	t [mm/h]	s <sub>b</sub> [mm/h]	Kodovi				F <sub>t</sub> [N]	R <sub>a</sub> [μm]
				X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>		
1	3,5	0,005	1	+1	-1	-1	-1	0,83	0,34
2	16,1	0,005	1	+1	+1	-1	-1	2,03	0,32
3	3,5	0,030	1	+1	-1	+1	-1	4,10	0,61
4	16,1	0,030	1	+1	+1	+1	-1	9,11	0,57
5	16,1	0,005	4	+1	+1	-1	+1	10,21	0,44
6	3,5	0,005	4	+1	-1	-1	+1	4,48	0,47
7	3,5	0,030	4	+1	-1	+1	+1	20,45	0,81
8	7,5	0,012	2	+1	0	0	0	6,63	0,49
9	16,1	0,030	4	+1	+1	+1	+1	47,31	0,73
10	7,5	0,012	2	+1	0	0	0	6,04	0,49
11	7,5	0,012	2	+1	0	0	0	6,10	0,50
12	7,5	0,012	2	+1	0	0	0	6,42	0,48

Uz korištenje opisane matematske obrade eksperimentalnih podataka došlo se do vrijednosti konstanti u matematskim modelima kako je dato u tabeli T-2.

Tabela T-2.

SHP	C	x	y	z	C <sub>Ra</sub>	p	q	r
Sintasol A	40,36	0,548	0,857	1,182	1,868	-0,049	0,309	0,212
Sintasol EP	215,1	0,522	1,158	0,822	0,438	0,192	0,151	0,336

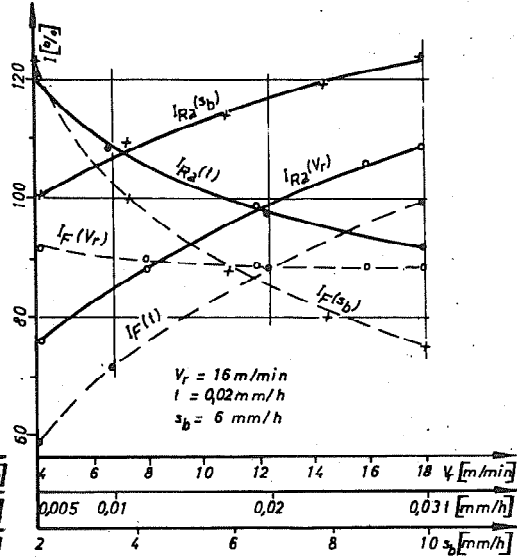
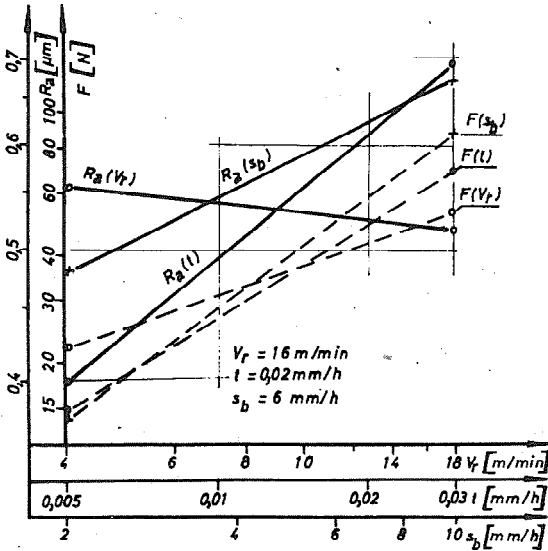
Ilustracije radi, na sl.3 prikazan je uticaj elemenata reži ma rezanja na ispitivane pokazatelje obradljivosti pri korištenju SHP- sintasol "A".

Sa sl.3 se uočava da je uticaj elemenata režima rezanja istog reda veličine u slučaju otpora rezanja, dok to nije iskazano kod hrapavosti obradjene površine. Ovo ukazuje na činjenicu da se hrapavost obradjene površine, pored ostalog, formira združenim dejstvom faktora sile i vremena trajanja kontakta abrazivnog zrna sa predmetom obrade u zoni rezanja.

Na osnovu definisanih matematskih modela mogu se sumarno porediti tribološke karakteristike SHP, najčešće preko indeksa kvaliteta:

$$I_F = \frac{F_{tA}}{F_{tEP}} 100 [\%] ; I_{Ra} = \frac{R_{aA}}{R_{aEP}} 100 [\%] ,$$

$F_{tA}$ ,  $F_{tEP}$ ,  $R_{aA}$  i  $R_{aEP}$  uporedjujuće vrijednosti ispitivanih parametara pri korištenju sintasola "A" i "EP" kao SHP.



Sl. 3. - Zavisnost otpora rezanja  $F_t$  i parametra  $R_a$  od režima rezanja

Sl. 4. - Zavisnost indeksa kvaliteta SHP od režima rezanja

Na sl.4 pokazani su indeksi kvaliteta SHP, odakle je moguće zaključiti da elementi režima rezanja u mnogome mogu izmijeniti utisak o eksploatacijskim karakteristikama SHP.

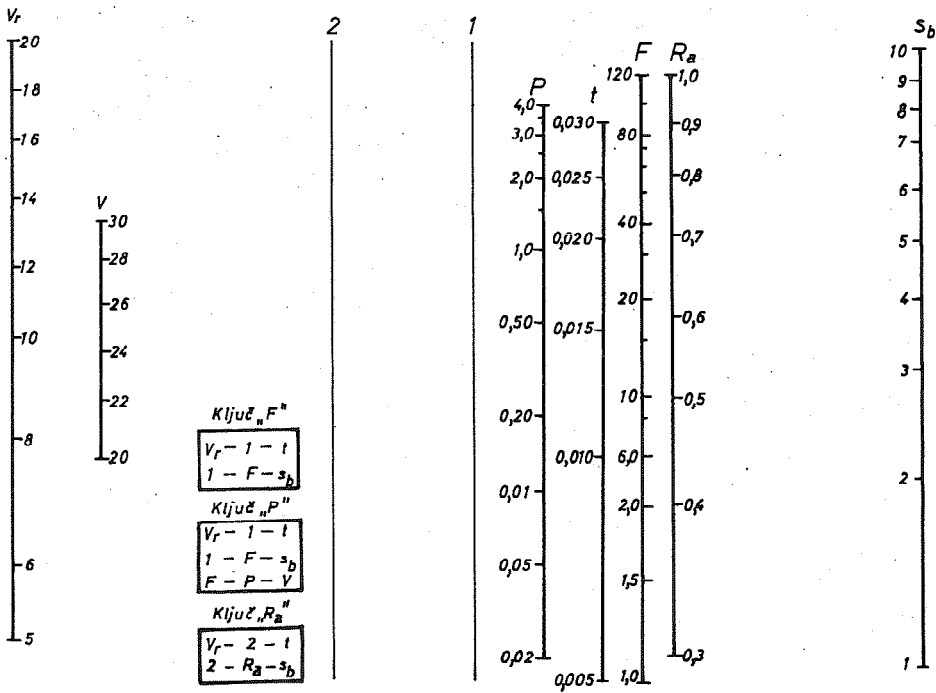
Za pregledno prikazivanje i lako korištenje eksperimentalnih rezultata često se služimo nomogramima. Takav nomogram za određivanje tangencijalne komponente otpora rezanja, snage potrebne za rezanje i srednjeg odstupanja profila obradjene površine, za slučaj rada sa sintasolom "EP", prikazan je na sl.5, pri čemu je snaga definisana proizvodom tangencijalne komponente otpora rezanja, brzine rezanja i mehaničkog stepena iskorištenja  $\eta = 0,85$  u obliku

$$P = 0,253 v_r^{0,522} t^{1,158} s_b^{0,822} v \quad [\text{kW}]$$

### 5. Zaključak

Analiza literaturnih podataka i rezultata eksperimenta dovodi do niza zaključaka koji omogućavaju optimizaciju uslova obrade na posmatranom proizvodnom radnom mjestu.

- Brušenje titana i njegovih legura je otežano, a uslovljeno je



Sl. 5. - Nomogram za proračun parametara obradljivosti

skupom njegovih fizičko-mehaničkih i hemijskih osobina, kao i pojavama prisutnim u kontaktnoj zoni.

- Izboru vrste i karakteristika abrazivnog materijala, kao i SHP mora biti posvećena naročita pažnja.
- Brušenje točilom C80J6V i uz primjenu sintasola "A" i "EP" kao SHP postižu se zadovoljavajući rezultati u pogledu obezbjedjenja traženog kvaliteta obradjene površine i postojanosti.
- Predloženi matematski modeli mogu poslužiti pri utvrđivanju parametara obradljivosti.
- Elementi režima rezanja u mnogome mogu izmijeniti utisak o eksploatacijskim karakteristikama SHP.
- Prije uvrštavanja u tehnološku banku podataka, predložene modele potrebno je testirati u proizvodnom uslovima i izvršiti eventualne korekcije.

Reference

- [1] Čubarov A.D., Krivouhov V.A., Obrabotka rezanijem titanovih splavov, Moskva, 1970.
- [2] Jovičić M., Osvrt na istraživanje procesa obrade brušenjem, Saopštenja IAMA Nr. 18, Beograd, 1973.
- [3] Maslov E.N., Teorija šlifovanja materijalov, Moskva, 1974.
- [4] Sajutin G.I., i drugi, Primenenije krugov iz elbora dlja šlifovanja titanovih i žaropročnih splavov, Stanki i instrument Nr. 2, 1975.
- [5] Urivskii F.P., Barvinok B.A., Isledovanije fazovogo sostava i karakteristik tonkoi strukturi titanovogo splava, Izvestija vuzov, Mašinstroenije, Moskva, 1975.
- [6] Vukelja D., Eksperimentalna termodinamika rezanja, IAMA Beograd, 1970.
- [7] Katalozi proizvođača titana: Ugine Aciers Paris; Otto Fuchs Metalwerke Meinerzhagen

N. Bajić

VON DER BEARBEITBARKEIT DES TITANS DURCH SCHLEIFEN

In dem Bericht ist in analitischer und graphischer Interpretation der Komplex der Parameter gebunden für die Bearbeitbarkeit der UT A6V Titans-Legure bei flachem Schleifen dargestellt in der Funktion der Kühlmittel und Schmierungen. Zu diesen Parametern kam man durch die Experimental-Analitischemethode die sich auf der Planierung eines vielfaktoralen Plans des Experiments basiert.

XIV SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980.

M. Vulović <sup>\*)</sup>

TRIBOLOŠKI EFEKTI TERMoeLEKTROMOTORNE  
SILE PRI OBRADI BUŠENJEM <sup>\*\*\*)</sup>

1. Uvod

Poznato je, da jugoslovenski proizvođači alata, najveći deo alatnih materijala obezbeđuju iz uvoza. Osim toga, prisutna je činjenica, da je procentualni porast potrošnje reznog alata, nesrazmerno veći od porasta bruto proizvoda metalopreradivačke industrije, koja, u samom procesu, ima obradu metala rezanjem.

Smanjenje trenda povećanja potrošnje reznih alata je neophodno izvesti, radi smanjenja proizvodnih troškova. Ovo se može postići, pored ostalog, i uvođenjem savremenih postupaka obrade. Jedan od tih postupaka je, takozvani, postupak kompenzacije toka termoelektromotornih sila - TEMS-a.

Već duže vreme, tačnije, od 1953. godine, uočen je pozitivan efekat kompenzacije TEMS-a [13 i 19]. Od tada, do danas, objavljen je veći broj radova, koji se odnose na razmatranje problema uticaja TEMS-a na elektromehaničko habanje alata.

U ovom radu je dat deo rezultata istraživanja uticaja TEMS-a na intenzitet habanja alata za bušenje, pri različitim brzinama rezanja, pri obradi poboljšanog konstrukcionog čelika, na različitim mašinama.

---

<sup>\*)</sup>Milivoje Vulović dipl.ing., zamenik gener.direktora FRA-Čačak

<sup>\*\*\*)</sup> Rad je nastao u okviru naučno-istraživačkog projekta RAZVOJ PROIZVODNJE REZNOG ALATA I SAVREMENIH TEHNOLOŠKIH POSTUPAKA U OBRADI METALA REZANJEM, koji finansiraju Osnovna zajednica za nauku, Regiona Kraljevo, FRA- Čačak i FAD - Gornji Milanovac.



Vredno je istaći da će se u Jugoslaviji, u 1980. godini, samo na operacijama bušenja, utrošiti standardnih spiralnih burgija u vrednosti od 276.106 dinara. Jasno je, da obzirom na cenu postupka kompenzacije, i ušteda od par procenata, predstavlja značajan doprinos.

## 2.- Kratak pregled savremenih pogleda na prirodu elektromehaničkog habanja alata

Savremeni postupci obrade metala rezanjem, zasnivaju se na povećanju brzina rezanja, sa velikim specifičnim opterećenjima radnih površina alata, u prisustvu visokih temperatura rezanja i smanjenju intenziteta habanja alata. Ovo se postiže proučavanjem prirode habanja, zasnovane na savremenim predstavama o mehaničkim, fizičkim i hemijskim procesima, koji se odigravaju u samom procesu rezanja - kontaktnim površinama.

Obrada metala rezanjem, ne može se razmatrati izolovano od opšteg problema trenja i habanja [5]. Iz kompleksa pojava, koje se javljaju pri trenju i rezanju, nedovoljno su, kod nas, proučene električne pojave. Na osnovu ispitivanja, izvedenih u zadnjim godinama, koristeći električne pojave, nemoguće je dobiti važne informacije o procesima, koje se dešavaju na kontaktnim površinama, pri trenju i rezanju metala [8].

Od 1953. godine, do danas, objavljen je veći broj radova, koji ukazuju na uticaj termoelektričnog toka na habanje, tj. postojanost alata. Jedan od radova, na osnovu eksperimenata, govori o veoma pozitivnom efektu kompenzacije termoelektričnog toka na intenzitet habanja alata.

Prvi su - AXER, 1953. godine [19] i OPITZ, 1957. godine - [13], ukazali na uticaj termoelektričnih struja na habanje alata od tvrdog metala - TM, pri struganju. Oni su, pomoću kompenzacionih elemenata, varirajući jačinu toka struje, dobili povećanje postojanosti alata za 100%.

GALEJ [14], 1962. godine, vrši ispitivanja uticaja protivtokova, pri bušenju čelika C45, spiralnim burgijama od brzoreznog čelika R18. Dovodjenjem protiv-toka, optimalne veličine, u zonu rezanja pri bušenju, dobija povećanje postojanosti od 2 do 4 puta. On je, prvi utvrdio, da pojava termoelektričnih tokova, negativnije utiče na postojanost alata od brzoreznih čelika, nego na alate od TM.

BOBROVSKIJ je, od 1969. do 1973. godine, objavio više radova i studija iz područja uticaja TEMS-a na habanje alata [13] i [14]. Zatim je, razvio sistem kompenzacije termoelektričnih tokova u sistemu MAŠINA-ALAT-RADNI PREDMET (MAP). Isto tako je razvio teoriju elektrodifuzionog habanja [14]. Pod elektro-difuziom, podrazumeva preraspodelu komponenata materijala, alata i radnog predmeta, što je uslovljeno uspostavljanjem kola TEMS-a, preko mikro-kontaktne površine alata, sa strugotinom i radnim predmetom. On dokazuje, da je intenzitet difuzije proporcionalan jačini toka zatvorenog kola TEMS-a.

POSTNIKOV, 1969. godine [12], izlaže da TEMS utiče na lepljenje kontaktnih površina - nastanak atezija, da su pojave elektroercije posledica visokih elektromotornih sila, u spoljašnjem sloju, u momentu kada dolazi do brzih odskoka alata od radnog predmeta.

SHAN, 1975. godine, razvija model elektromehaničkog habanja [21], eksperimentišući sa promenom elektromotorne sile (u zoni rezanja, alat - mašina), jačine struja (koje prolaze kroz sve kontaktne površine, pri svim polaritetima), omskog otpora (mašine, na mestu kontakta noža - radnog komada), brzine rezanja, posmaka i dubine rezanja. On zaključuje, da se, pri malim brzinama, odnosno, malom broju obrtaja vretena mašine (pri malom omskom otporu mašine), postižu veći efekti smanjenja elektromehaničkog habanja (izolacijom alata, pri struganju sa alatom od TM).

BAGCHI, 1973. godine [16], vrši ispitivanja uticaja termoelektričnih struja u sistemu MAŠINA-ALAT-RADNI PREDMET-MAŠINA (MARM), pri obradi struganjem čelika EN 24, sa alatom od TM. On zaključuje, da elektromehaničko habanje alata, može uticati termoelektričnom strujom, u zatvorenom kolu MARM, da brzina rezanja, posmak, dubina rezanja, vreme obrade i radijus vrha alata, imaju značajan uticaj na TEMS.

U Jugoslaviji je, relativno, mali broj radova, objavljen iz oblasti elektromehaničkog habanja alata [5 i 7]. Profesor Šolaja sa Pavlovskim, 1978. godine, vrši ispitivanja uticaja termoelektričnih pojava na oksidaciono habanje alata, pri struganju čelika Č.1431, sa alatom od TM (P20). Ispitujući kompenzaciju TEMS-a, pri normalnoj atmosferi, atmosferi argona i kiseonika, oni zaključuju, da postoje zavisnosti između termoelektričnih tokova i intenziteta habanja alata od TM.

### 3. Rezultati ispitivanja uticaja TEMS-a na habanje spiralnih burgija pri bušenju čelika

#### Eksperimentalni metod i plan ispitivanja

U radu su izloženi rezultati ispitivanja uticaja prekida kola toka termoelektromotorne sile, koja se pojavljuje pri bušenju u sistemu obrade bušenjem: MAŠINA-ALAT-RADNI PREDMET-PRIBOR-MAŠINA (MARPM), na pojas habanja ledjne površine spiralne burgije, pri bušenju čelika Č.1730 (poboljššan na 105 do 110 KN/mm<sup>2</sup>).

Ispitivanja su vršena sa tri dimenzije spiralnih burgija Ø8,9 HSS, JUS K.D3.020 - DIN 338 (bušene iz punog), Ø10,8 HSS, JUS K.D3.022 - DIN 345 (bušene iz punog) i Ø 11, HSS, JUS K.D3.022 - DIN 345, (valjane). Sa svakom od navedenih dimenzija spiralnih burgija, bušenje je izvodjeno na tri različite mašine (M1-stona bušilica - modela WKT 41/25; M2-stubna bušilica, modela BST-3, "Prvomajska" i M3-univerzalna alatna glodalica, modela ALG-200, "Prvomajska"), a na svakoj od mašina, bušenje je vršeno sa dve brzine ( $V_1$ -brzina za odgovarajući materijal, prema preporukama katalogom FRA i  $V_2$ -brzina uvećana od  $V_1$  za 20-60%, zavisno od raspoloživog broja obrtaja radnog vretena mašine).

Od svake dimenzije spiralnih burgija, uzeto je po 60 komada, proizvedenih u jednoj seriji, sa približno istim veličinama konstrukcionih elemenata. Svaka od njih obeležena je brojevima 1...12 (slika 1). Na svakoj mašini ispitivanja su vršena sa 4 različite brojne oznake a ispitivanja su ponovljena 5 puta. Sa neparnim brojnim oznakama bušenja su izvodjena sa zatvorenim kolom TEMS-a, a sa parnim brojnim oznakama bušenje je vršeno sa otvorenim kolom TEMS-a.

Bušenje je izvodjeno bez hladjenja u aktivnoj atmosferi, na odredjenom broju radnih predmeta.



Sl. 1.

Radni predmeti bili su proizvedeni iz šipkastog materijala  $\varnothing 30$ , iste šarže, kvaliteta Č.1730, isečen i zabušen na strugu, na dužine od 40 i 60 mm. a onda poboljššan na 105 do 110 KN/mm<sup>2</sup>.

Na radnim predmetima bušena je samo po jedna prolazna rupa, jer su isti bili namenjeni za dalja ispitivanja obrade upuštanjem i razvrtnjem. Program ispitivanja je dat u tabeli 1.

Tabela 1

Redni broj	Prečnik spiratnih burgija	Vrsta mašine	Zatvoreno kolo TEMS-a		Otvoreno kolo TEMS-a		Oblik radnog komada		Napomena
			V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	Ø	L	
1.	D <sub>1</sub>	M1	1	2	3	4	30	60	V <sub>1</sub> ≠ 1,5 i 9 3,7 i 11 V <sub>2</sub> ≠ 2,6 i 10 4,8 i 12
		M2	5	6	7	8			
		M3	9	10	11	12			
2.	D <sub>2</sub>	M1	1	2	3	4	30	60	V <sub>1</sub> ≠ 1,5 i 9 3,7 i 11 V <sub>2</sub> ≠ 2,6 i 10 4,8 i 12
		M2	5	6	7	8			
		M3	9	10	11	12			
3.	D <sub>3</sub>	M1	1	2	3	4	30	40	V <sub>1</sub> ≠ 1,5 i 9 3,7 i 11 V <sub>2</sub> ≠ 2,6 i 10 4,8 i 12
		M2	5	6	7	8			
		M3	9	10	11	12			
Prečnici			Mašina				Brzine-D <sub>1</sub>		
D <sub>1</sub> = $\varnothing 89$ JUS K.D3.020 /DIN 338/ brušene			M1-Ston.buš WKT 41/25				V <sub>1</sub> = 12,5 m/min V <sub>2</sub> = 20 "		
D <sub>2</sub> = $\varnothing 10,8$ JUS KD3.022 /DIN 345/brušene			M2-Ston.buš BST-3				V <sub>1</sub> = 11,3 m/min V <sub>2</sub> = 16 "		
D <sub>3</sub> = $\varnothing 11$ JUS K.D3.022 /DIN 345/ valjane			M3-Univ.atat.glod. ALG 200				V <sub>1</sub> = 13,5 m/min V <sub>2</sub> = 16,75 "		

Merenja su vršena sa uređajem OPTOTECHNIK tipa SM 80, sa tačnošću merenja 0,01 mm. (uvećanjem od 10x), na oba pera spiralne burgije. Zatim su računate prosečne vrednosti te dve veličine, za svako merenje.

Radni predmeti, pri bušenju su stezani u univerzalnu steznu glavu.

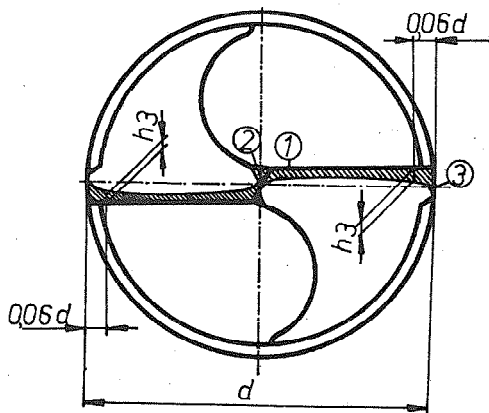
Zatvoreno kolo TEMS-a ostvareno je radom na mašinama, pod normalnim uslovima, kako se to sada radi u svim proizvodnim pogonima.

Otvoreno kolo TEMS-a ostvareno je prekidom kola pomoću ploče od tekstolita, debljine 5 mm. koja je postavljena na radni sto, ispod stezne glave, a oslonac je izolovan plastičnim crevom debljine zida 2,5 mm.

Sa svakom od spiralnih burgija, bušeno je 20 radnih predmeta, prema programu datom u tabeli 1. Posle izbušenih svakih pet komada, vršena su merenja veličine pojasa habanja  $h_3$  (Sl.2).

Za svaku eksperimentalnu brzinu i mašinu, pohabano je po pet spiralnih burgija.

Vrednosti, date u dijagramima, su srednje vrednosti pet izmerenih veličina širine pojasa habanja.



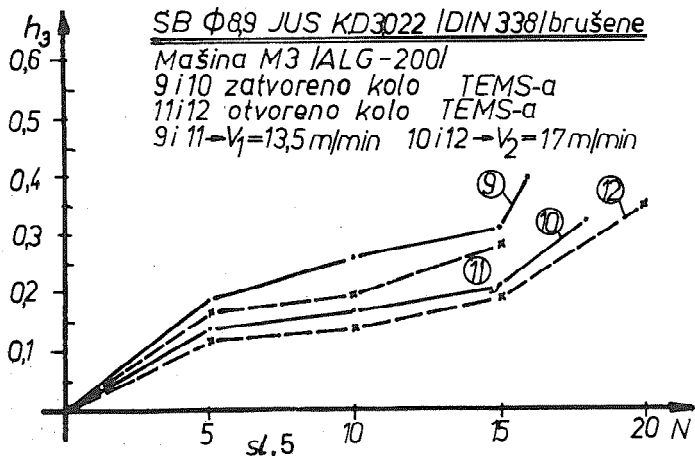
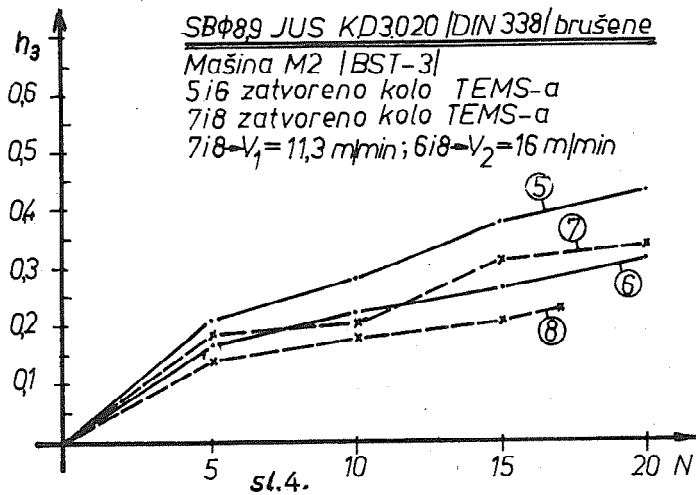
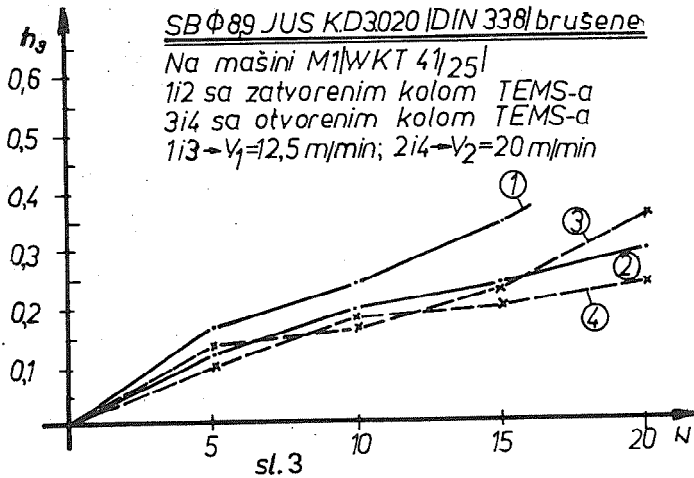
sl.2. Vrh spiralne burgije  
 $h_3$ -pojas habanja glavnog sečiva

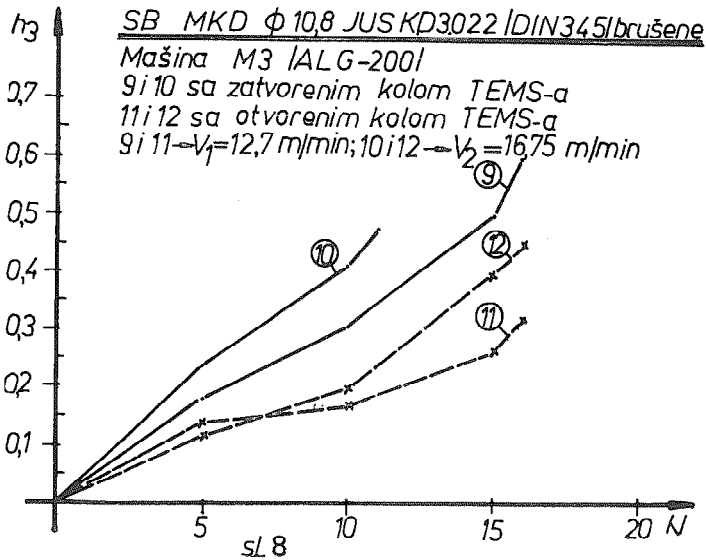
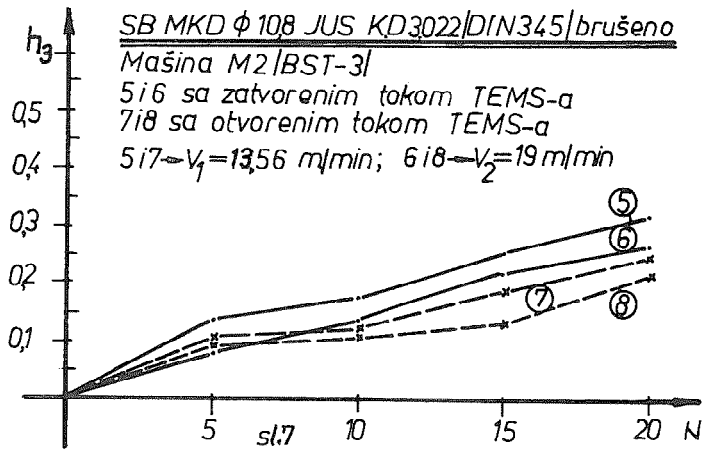
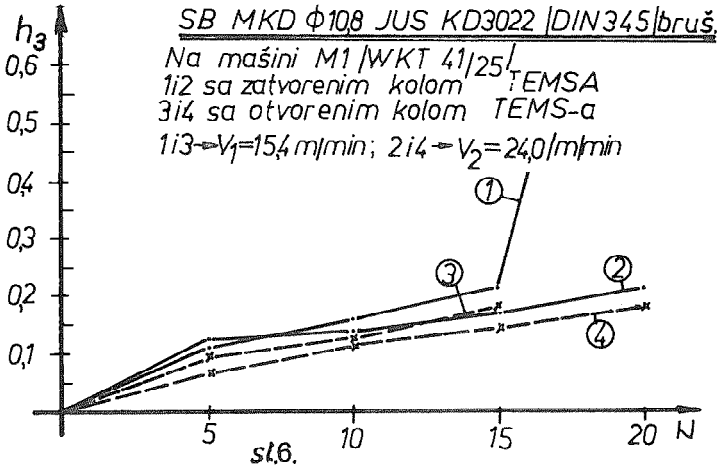
- 1-glavno sečivo
- 2-poprečno sečivo
- 3-uzdužna fazeta

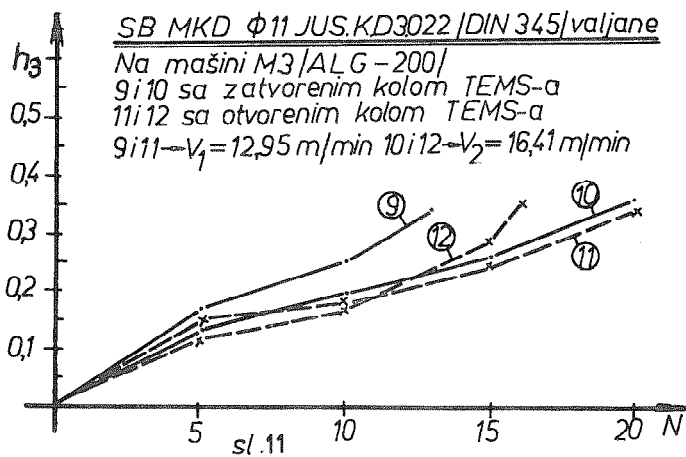
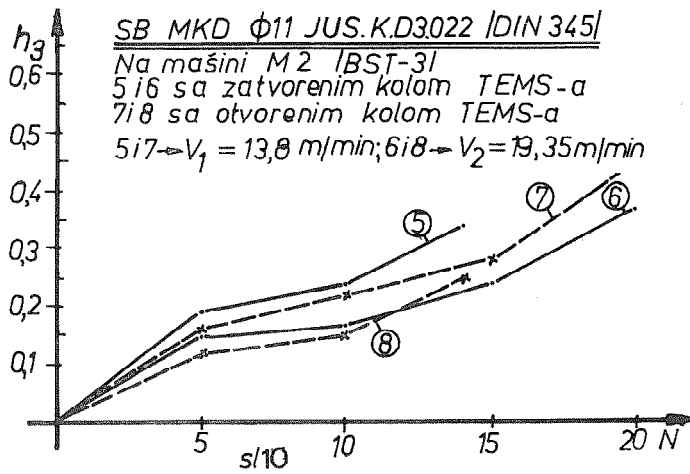
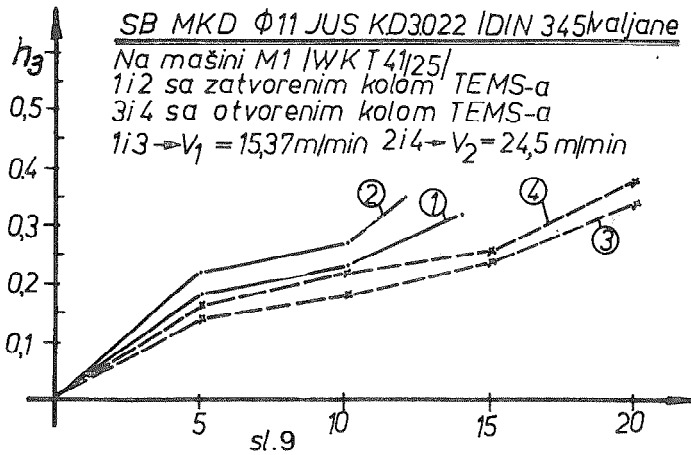
Rezultati eksperimenata i analiza

Tabela 2

Redni broj	Spiralne burgije	Vrsta mašine	Režim obrade						Prosečno smanjenje $h_3$ pri otvorenom kolu TEMS-a	
			Normalan			Uvećan			V1	V2
			$V_1$ m/min	$n_1$ o/min	$S_1$ mm/ob	$V_2$ m/min	$n_2$ o/min	$S_2$ mm/ob		
1	$\phi$ 8,9	M1	12,5	445	0,138	20	710	0,099	21%	10%
		M2	11,3	400	0,125	16	560	0,080	18%	18%
		M3	13,5	475	0,122	16,75	600	0,096	15%	14%
2	$\phi$ 10,8	M1	15,4	445	0,138	24	710	0,099	17%	22%
		M2	13,56	400	0,125	19	560	0,080	24%	16%
		M3	12,7	375	0,122	16,1	475	0,096	38%	49%
3	$\phi$ 11	M1	15,4	445	0,138	24,5	710	0,099	23%	23%
		M2	13,8	400	0,125	19,35	560	0,080	14%	10%
		M3	12,95	375	0,153	16,41	475	0,096	23%	4%









Na osnovu rezultata eksperimenata, može se uočiti pozitivan efekat kompenzacije, za sve tri eksperimentalne dimenzije i mašine, pri obe eksperimentalne brzine. Najveći efekat kompenzacije, registrovan je za drugu eksperimentalnu dimenziju  $\varnothing 10,8$ . Relevantna je činjenica, da je ovaj efekat izraženiji na mašini M3. Može se, takodje, reći da efekat kompenzacije ima značajnijeg uticaja na veličinu intenziteta habanja, pri promeni eksperimentalnih brzina. Ne može se govoriti o sistematskoj razlici za sve eksperimentalne brzine i mašine.

Dalja istraživanja, u ovom pravcu, pri obradi bušenjem, proširivanjem, razvrtanjem i urezivanjem, koja će biti izvedena u okviru pomenutog projekta, treba da daju odgovor da li je opravdano, postupak kompenzacije uvesti u tehnološke procese obrade.

#### 4. Zaključak

Na osnovu izloženog, mogu se doneti sledeći zaključci:

- TEMS utiče na veličinu intenziteta habanja,
- intenzitet habanja je različit, pri bušenju na različitim mašinama, za zatvoreno i otvoreno kolo TEMS-a,
- brzina rezanja ima uticaja na veličinu intenziteta habanja, za odredjenu dimenziju i mašinu u vezi sa postojanjem TEMS-a,
- opravdano je proširiti ispitivanja uticaja kompenzacije TEMS-a, na intenzitet habanja. Poredjenjem ovog postupka sa postupkom otvorenog kola, može se doći do rešenja i opravdanosti izbora jednog od njih.

#### R e f e r e n c e

- /1/ J. STANIĆ  
Analiza faktora kinetostatike procesa bušenja,  
Tehnika, br.11, 1967., str. 245-254.
- /2/ B. IVKOVIĆ  
Tribologija rezanja,  
Gradjevinska knjiga, Beograd, 1979.
- /3/ V. ŠOLAJA  
Habanje alata,  
Seminar RIO-11, Beograd, 1976.

- /4/ D. VUKELJA  
Prilog studiji habanja alata, pri obradi rezanjem,  
UDK 621.96.004.83 (07), 1975.
- /5/ Z. NIKIĆ  
Identifikacija triboloških procesa pri urezivanju navoja,  
Doktorski rad, Kragujevac, 1979.
- /6/ T.N. LOLADZE sa grupom autora  
Eksperimentaljnoe issledovanie vlijanija razriva cepi  
termo- EDS na stojikost sverl,  
Vestnik mašinstroenia , №6, 1979.
- /7/ V. PAVLOVSKI i V. ŠOLAJA  
Ispitivanje uticaja termoelektričnih pojava na oksidaciono  
habanje reznih alata i njegovo sprečavanje,  
XII Jug.savetovanje proizvod.maš., Maribor, 1978.
- /8/ J-u M. KOROBOV  
Issledovanie električeskij javlenij pri čistovom točenii,  
Nauka, Moskva, 1973.
- /9/ V.A. BOBROVSKIJ  
Elektrodifuzionijiiznos instrumenta,  
Mašinstroenie, Moskva, 1973.
- /10/ V.A. BOBROVSKIJ i V.S. PISAREV  
Termotoki pri sverlenii,  
Nauka, Moskva, 1969.
- /11/ A.A. RIŽKIN i V.S. DIMITRIEV  
Vlijanie termoelektričeskogo toka na nekatorie  
karakteristiki processa rezaniija metallov,  
Nauka, Moskva, 1973.
- /12/ S.N. POSTNIKOV, J-u. A. BORODKIN i V.A. OBIDIN  
Povišenje proizvoditeljnosti obrabotki putem ograničeniija  
termotokov v zone rezaniija,  
Nauka, Moskva, 1969.
- /13/ H. OPITZ  
Das Temperaturfeld am Drehmeizel und die Reaktionen  
in der kontaktzone,  
Microtechnic, №4, Band VIII, 1954.
- /14/ M.T. GALEJ  
Eksperimentaljno-teoretičeskije raboti po izučeniiju  
nekotopih javljenij pri rezanii i trenii metallov,  
Nauka, Moskva, 1969.
- /15/ H.S. SHAN and P.C. PANDEY  
Wear of cutting Tools: Thermo-elektric effects,  
Wear, 32/1975/, str. 167-179.
- /16/ H. BAGGHI and S.K. BASU  
Thermoelektric wear in Tools  
Wear 26/1973 str. 39-44.

- /17/ C.H. KAHNG  
New concepts in drilling performance,  
"Prac.int.conf. Prod.Eng." Tokyo, 1974.
- /18/ S.V. VASILJEV  
EDS i električeskaja provodimost v zone rezanija,  
Stanki i instrumenti, N<sup>o</sup>8, 1979., str. 30-31.
- /19/ N. AXER  
Temperatur Feld und elektro-hemischer Verscheiss am  
Drehmeissel Aufwand, Leistung und Wirtschaftlichkeit  
neuzeitlicher Werkzeugmaschinen,  
G.Achener Werk zaugmaschinen - K.1953, Essen, 1953.

XIV SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, ČAČAK, SEPTEMBAR 1980.

R. Milošević<sup>\*)</sup>

UTICAJ GEOMETRIJE ALATA I REŽIMA REZANJA NA GEOMETRIJU OTVORA  
PRI RAZVRTANJU.<sup>\*\*)</sup>

## 1. UVOD

Brzi razvoj novih postupaka obrade otvora, ni izbliza nije umanjio značaj i obim primene razvrtanja kao postupka završne obrade otvora - rupe. Razvrtanje sa višesečnim razvrtačima od brzoreznog čelika, obavlja se u području malih brzina rezanja - od 2 m/min do 30 m/min, a pri obradi čelika - od 2 m/min do 10 m/min. Kod razvrtača sa pločicama od tvrdog metala, brzine rezanja su veće ali još uvek znatno manje od ostalih vrsta obrade.

Razvojem novih vrsta alata za razvrtanje i obradu otvora (jednosečni razvrtači i burgije za duboko bušenje), znatno su povećane brzine rezanja, pa se kreću i iznad 100 m/min. Međutim, za ove alate potrebne su specijalne mašine i posebni uslovi rada. Zato se danas u srednje i visoko serijskoj proizvodnji i dalje zadržao klasičan način razvrtanja, a posebno u obradi delova na viševretenim mašinama gde je višesečni razvrtač ostao nezamenljiv.

\*) Rajo Milošević, dipl.ing. Direktor sektora za razvoj i investicije u Fabrici reznog alata - Čačak.

\*\*\*) Rad je nastao u okviru naučno istraživačkog projekta - Razvoj proizvodnje reznog alata i savremenih postupaka u obradi netočila rezanjem.

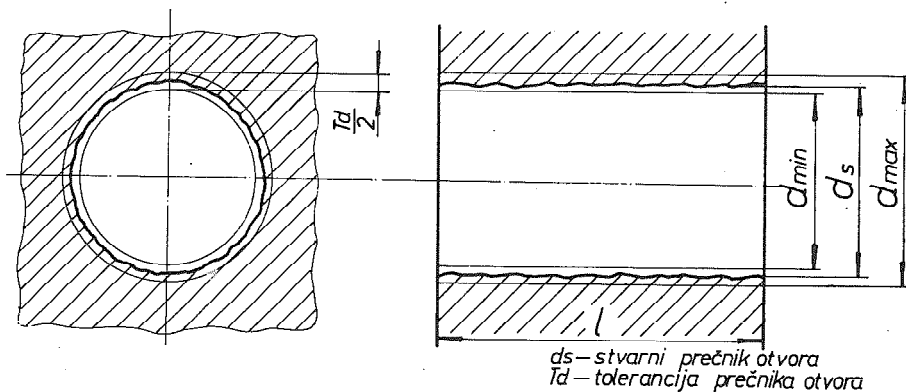
U poredjenju sa ostalim vrstama obrade, proces razvrtanja nije dovoljno istražen, pa se u okviru naučno istraživačkog projekta -Razvoj proizvodnje reznog alata i savremenih postupaka u obradi metala rezanjem, u laboratorijama FRA u Čačku izvode sistematska i obsežna istraživanja obrade razvrtanjem. Ovaj rad predstavlja izveštaj o delu istraživanja uticaja geometrije alata i nekih elemenata režima obrade na tačnost i oblik otvora.

## 2. GREŠKE OBLIKA OTVORA PRI RAZVRTANJU

Obzirom na relativno jednostavan geometrijski oblik otvora (rupe) - valjak, to se i zahtevi u pogledu geometrije kod razvrtanja mogu jednostavnije izraziti preko:

- Prečnika otvora "d" i njegove tolerancije izrade " $T_d$ "
- Kružnosti (održavanje oblika idealnog kruga) "Kr"
- Cilindričnosti uzduž ose "Cr"
- Hrapavosti obradjene površine "Hr"

Sva četiri zahteva predstavljaju geometrijske parametre za ocenu kvaliteta otvora. Medjutim postoje i drugi zahtevi koji se postavljaju pri razvrtanju kao naponsko stanje površinskog sloja otvora, kontinuitet površine itd. Prva tri zahteva se mogu lako postaviti i kriterijumi za njihovo održavanje postaviti i utvrditi prema Sl.1.



Sl.1.1. Geometrija otvora

Prema gornjoj slici, prečnik se mora naći u granicama propisane tolerancije, a kontura otvora da se što više približi idealnom krugu i idealnom cilindru.

Kontrola otvora se najčešće obavlja glatkim kontrolnim čepom-stranom "IDE" i stranom "NE IDE". Takvim načinom kontrole se kontroliše minimalna mera prečnika i donekle cilindričnost. Međutim, čepom se ne utvrđuje greška kružnosti i prava greška cilindričnosti, već specijalnim uredjajima za kontrolu.

Kontrolnim čepom se konstatuju sledeće greške:

- Strana "IDE" ne ulazi u razvrnuti otvor što znači da je prečnik otvora manji od propisanog, a što najčešće znači i od prečnika razvrtača (suženje otvora).
- Strana "NE IDE" ulazi u razvrnuti otvor, što znači otvor proširen.
- Strana "IDE" ili strana "NE IDE" delimično ulaze u otvor, što znači otvor nejednakog prečnika ili nepravilnog oblika uzduž ose.

Sve tri greške javljaju se kod obrade najčešće pri promeni alata, promena uslova obrade ili promene obradaka pri istim uslovima rada. Prema dosadašnjim iskustvima FRA u preduzećima motorne industrije (21 MAJ, IMR i drugim) i mašinogradnje (ZMAJ, IMT), podjednako je prisutan problem suženja i proširenja otvora. Oba slučaja se u praksi rešavaju tako, što se kod proširenja smanjuju režimi rezanja ili se razvrtač brusi na meru blizu donje granice istrošenja, što smanjuje vek razvrtača, a kod suženja razvrtač brusi na gornju meru. Brušenje razvrtača na gornju ili donju meru, uvek prouzrokuje pojavu većeg škarta, jer se uslovi rezanja menjaju tokom rada, bilo zbog nejednakih obradaka, bilo zbog promene režima i sl. Promena režima rezanja bez prethodnog ispitivanja i utvrđivanja odgovarajućih režima, dovodi takodje do povećanog škarta zbog drugih uticaja koji dovode do promene geometrije otvora.

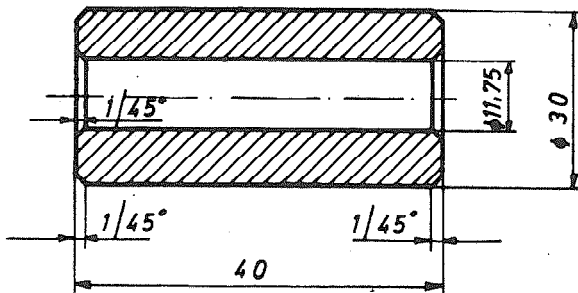
## EKSPERIMENTALNI METOD I PLAN ISTRAŽIVANJA

Razvrtnje je obavljeno na bušilici BST3-Dalmastroj, Split i glodalici ALG-200-Prvomajska, Zagreb, u Opitnom odeljenju FRA.

Bacanje vretena bušilice pri praznom hodu iznosi 0,004 mm, a glodalice 0,003 mm.

Komadi koji su razvrtani (Sl.1), prethodno su bušeni burgijom  $\varnothing$  11 mm, pa proširivani spiralnim upuštajem  $\varnothing$  11,75 mm.

Materijal obradaka je Č 1730, poboljšani na 98 do 105 kp/min<sup>2</sup>.

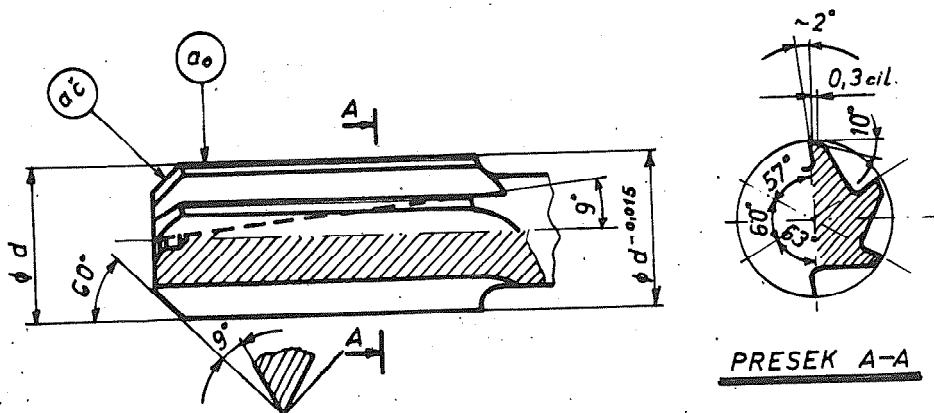


Sl. 2. Obradni komad

Obradni komad stezan je u tročeljustnu steznu glavu koja je posebnim adapterom po potrebi pričvršćivan na telo trokomponentnog dinamometra - KISTLER.

Sredstvo za hladjenje je emulzija ulja za bušenje u odnosu 1:5. Razvrtači za izvodjenje eksperimenata su prema standardu JUSK.D3.132 (DIN 208)  $\varnothing$  12H7, sa pravim i spiralnim žlebovima, bez posebnog tretmana, da bi se tokom rada približili uslovima primene. Rezna geometrija glavnog i pomoćnog sečiva, ugao zadnjeg konusa, ugao spirale i podela zuba (Sl.3), usvojena je prema dosadašnjim iskustvima FRA.

Ugao ulaznog konusa, odnosno napadni ugao od 60° i širina cilindrične faze  $f=0,3$  mm na vodećem delu, utvrđeni su prethodnim ispitivanjem kao najpovoljniji za razvrtnje ove vrste čelika.



### Sl.3. Geometrijski elementi razvrtača

Ispitivanje je vršeno sa pet razvrtača sa prečnicima " $\phi d$ ", bacanjem pomoćnih reznih ivica po obimu " $a_o$ " i bacanjem glavnih reznih ivica " $a_c$ " prema donjoj tabeli.

Tabela 1 PRAVI ŽLEBOVI

Broj razvr.	$\phi d_{H7}$ (mm)	$C_{lo}$ max (mm)	$C_{č}$ max (mm)
1	12,008	0,022	0,004
2	12,008	0,011	0,006
3	12,009	0,006	0,008
4	12,007	0,004	0,006
5	12,009	0,003	0,01

SPIRALNI ŽLEBOVI

Broj razvr.	$\phi d_{H7}$ (mm)	$C_{lo}$ max (mm)	$C_{č}$ max (mm)
1	12,009	0,016	0,008
2	12,008	0,008	0,006
3	12,01	0,008	0,003
4	12,007	0,006	0,01
5	12,009	0,003	0,012

Merenje kružnosti otvora, vršeno je na uređaju za merenje kružnosti od firme MAHR-PERTHEN, TYP: Formtester MMQ2. Merenje prečnika otvora obavljeno je sa specijalnim mernim tasterom za otvor sa mernim satom od firme MAHR.

Ispitivanje odstupanja od kružnosti i odstupanje mere prečnika razvrnutih otvora izvedeno je po planu prema tabeli 2.



Tabela 2

Broj razvrtača	Režimi razvrtnja		Odstupanje kružnosti $Kr (\mu m)$			Promena mere $\Delta d (\mu m)$		
	$V (M/min)$	$S (mm/obr)$	I	II	III	I	II	III
N°1	$V_1=4$	$S_f=0,125$						
		$S_f=0,31$						
		$S_f=0,5$						
	$V_2=65$	$S_f=0,125$						
		$S_f=0,31$						
		$S_f=0,5$						
	$V_3=12$	$S_f=0,125$						
		$S_f=0,31$						
		$S_f=0,5$						
N°2								
N°5								

Svaki opit je odmah ponovljen 2 puta, što znači da je bilo ukupno za obe vrste razvrtača 270 razvrtnja. Ovaj broj opita je mali u odnosu na broj opita za istraživanje drugih parametara, kao što je utvrđivanje uticajnih elemenata na hrapavost ili utvrđivanje optimalne geometrije razvrtača. Međutim, kako je ovo samo deo istraživanja i utvrđivanja uticajnih elemenata na geometriju otvora, koja se odnose na razvrtnje poboljšanog čelika Č1730, celokupna gradnja biće sistematizovana kada se završe ispitivanja i na ostalim materijalima.

#### REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Merenja su pokazala veoma velika odstupanja u prečniku otvora i obliku otvora između razvrtnja sa pojedinim razvrtačima.

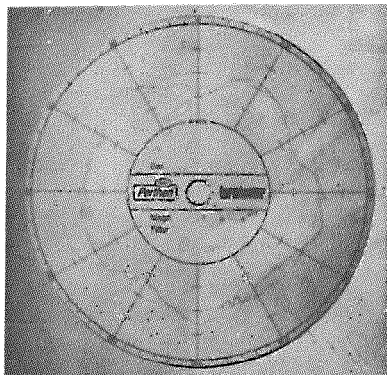
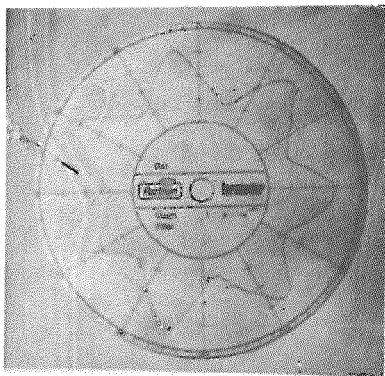
Posmatrajmo pojedine oblike otvora:

a) OBLIK OTVORA KOD RAZVRTAČA BR 1

$-V = 4 \text{ m/mm}$     $s = 0,31 \text{ mm/obr.}$

PRAVI ŽLEBOVI

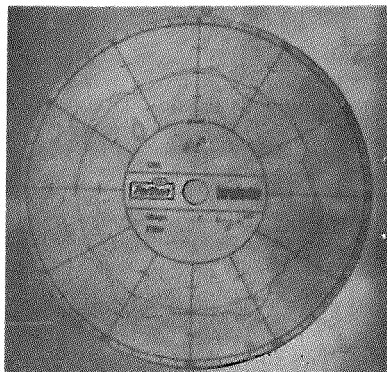
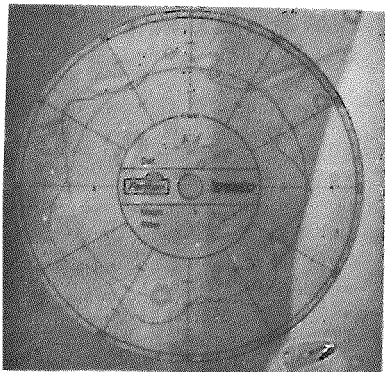
SPIR. ŽLEBOVI



b) OBLIK OTVORA KOD RAZVRTAČA BR 2

PRAVI ŽLEBOVI

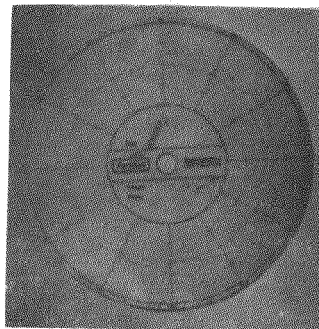
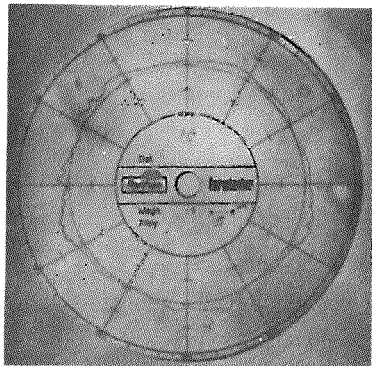
SPIR. ŽLEBOVI



c) OBLIK OTVORA KOD RAZVRTAČA BR 3

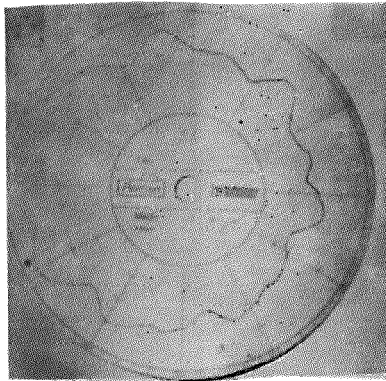
PRAVI ŽLEBOVI

SPIR. ŽLEBOVI



Sl. 4. Oblici otvora pri razvrtnju.

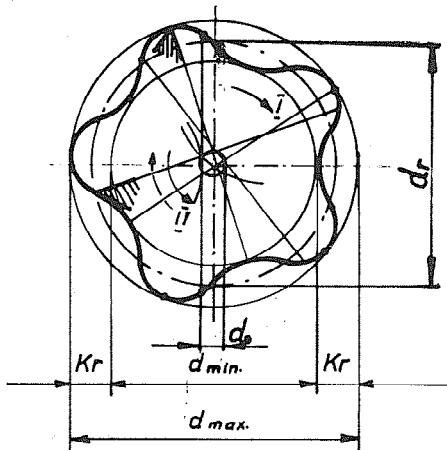
Povećanjem brzine rezanja i posmaka, oblik je ostao približno isti kao kod razvrtača No 1.



$V = 12 \text{ m/min}$   
 $s = 0,125 \text{ mm/obr.}$   
Pravi žlebovi

Sl.5. Oblik otvora za povećanom brzinom rezanja

Oblik otvora posle razvrtanja razvrtačem No 1 je veoma interesantan zbog svoje geometrije koja podseća na jedan pravilan mnogougaoNIK sa zaobljenjima. Vidi se da udubljenja i ispupčenja slede jedno drugo, dosta su pravilno rasporedjeni i podjednagog oblika. To se može predstaviti sa jednim idealizovanim mnogougaoNIKOM sličnog oblika:



$$\frac{d_{\max} - d_{\min}}{2} = K_r$$

$d_r$  - prečnik razvrtača

$d_{\min}$  - najmanja mera  
otvora

$d_{\max}$  - najveća mera  
otvora

$d_0$  - krug koji opisuje  
osa razvrt

Sl.6. Teoretski oblik mnogougaonika u otvoru pri razvrtanju

Iz prethodnih slika, a naročito iz slike 5 se vrlo jasno vidi zašto kontrolnik strana "IDE" ne ulazi u otvor. Minimalna mera otvora manja je od mere razvrtača. Ovakav oblik otvora pri razvrtanju je već odavno poznat. Zapadnonemački istraživači HEIDT, SCHMALZ, POBLOTZKI, zatim Mr. BRADARIĆ iz Novog Sada, su dosta pažnje posvetili ovom problemu. K. Schmalz i Von Poblitzki su detaljnije opisali nastanak ovakvog oblika. Nastavak prikazanog poligona prouzrokovan je izvodjenjem ose razvrtača iz ose otvora u samom početku rezanja, jer skoro da je nemoguće da svi zubi odjednom budu u zahvatu sa materijalom i da budu podjednako opterećeni, bilo zbog geometrijskih odstupanja, bilo zbog različitog otpora materijala koji se obradjuje. Izvodjenje ose javlja se i iz drugih razloga:

- Pomerana osa razvrtača u odnosu na prethodno izbušenu rupu.
- Vreteno mašine ima zazor u ležajima.
- Pomoćne rezne ivice (vodeći deo razvrtača) "bacaju" u odnosu na dršku kao baznu površinu ili ne leže na jednom krugu.
- Glavne rezne ivice imaju visinska odstupanja medjusobno.

Prema slici 5, ako se iz bilo kog razloga izvede osa razvrtača iz ose predobradjenog otvora, ona opisuje krug  $d_0$ . Najčešće to nije krug već opet neki poligon.

Od smerana pomercanja ose u odnosu na obrtanje razvrtača zavisi broj udubljenja i ispupčenja u rupi i prema Poblitzkom je:

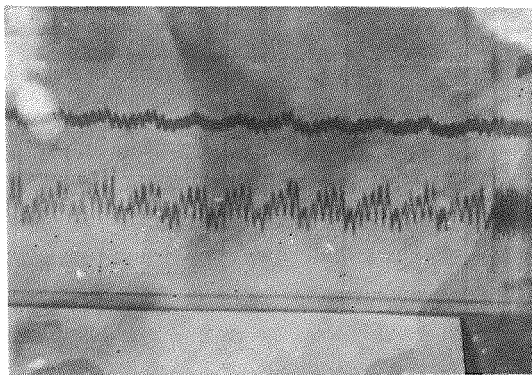
$$N = n \cdot Z \pm 1$$

N - broj udubljenja

n - ceo broj

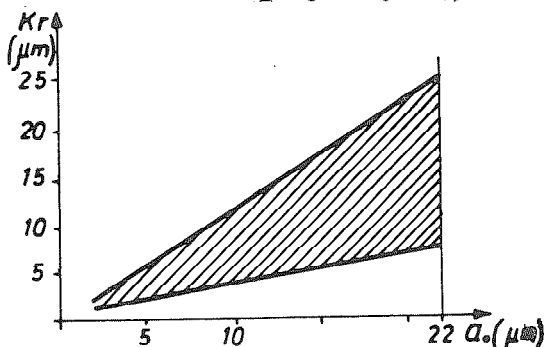
Z - broj zuba razvrtača

Proces nastajanja udubljenja i ispupčenja u otvoru kako je obrazložio Poblitzki na osnovu poznatog slučaja nastanka trouglastog oblika rupe pri bušenju lima sa burgijom nejednakih sečiva, potvrđen je i istraživanjima u FRA. Merenjem obrtnog momenta se jasno registruje njegova promena pri svakom zadiranju zuba u materijal kada nastaju udubljenja - ispupčenja.



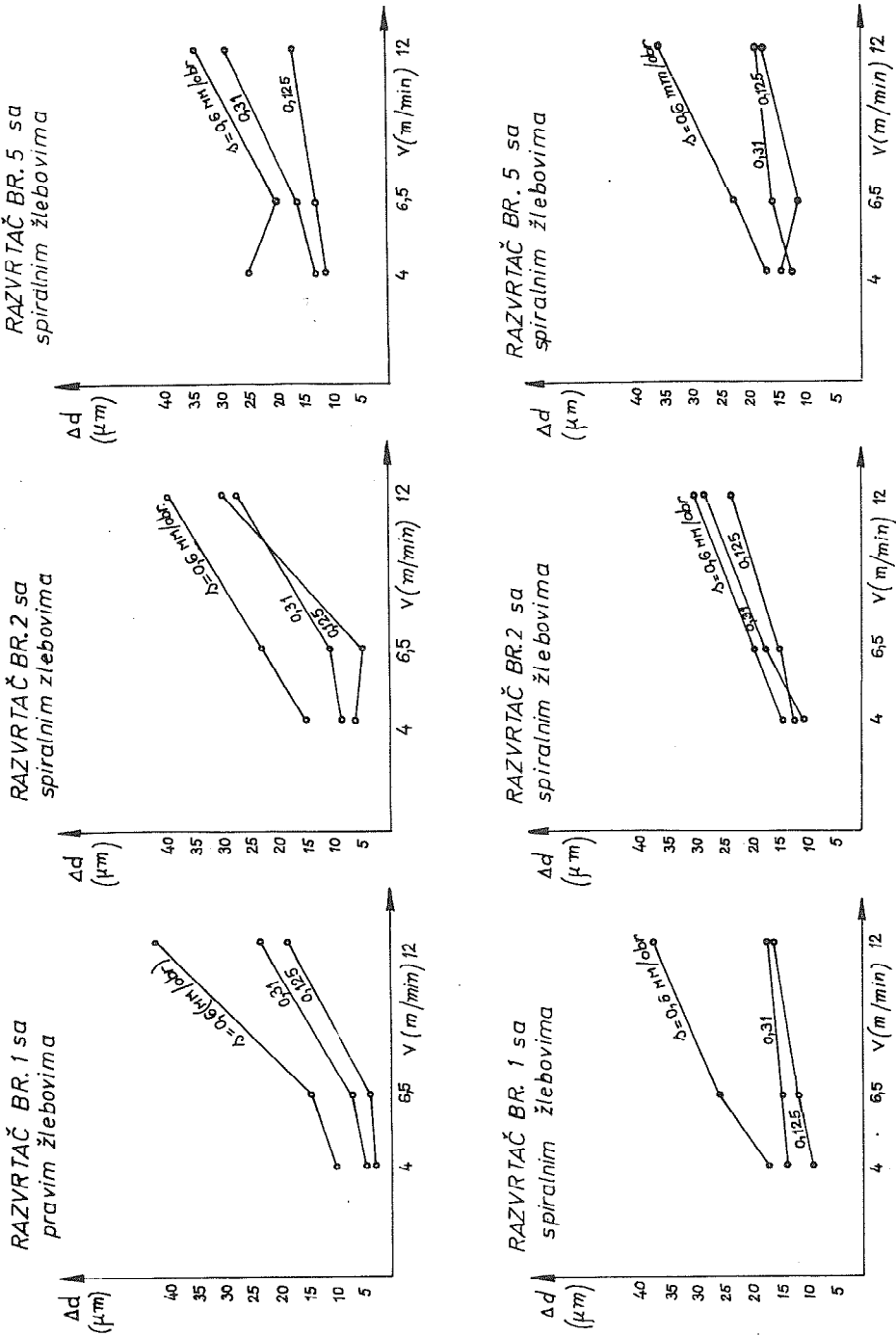
Sl.7. Promena obrtnog momenta pri obrazovanju mnogougona u otvoru.

Zbog velikog broja faktora koji mogu da prouzrokuju odstupanje od kružnosti, a posebno koji mogu da prouzrokuju stvaranje izrazitog poligona u otvoru, izvršeno je mnogo više ponavljanja nego prema planu experimenta i došlo se do zaključka da se kod razvrtača kod kojih pomoćne rezne ivice "bacaju" u odnosu na osu, stalno ponavlja skoro identičan poligon. Tako se može uspostaviti zavisnost greške "Kr" u odnosu na odstupanje "a<sub>0</sub>" razvrtača.



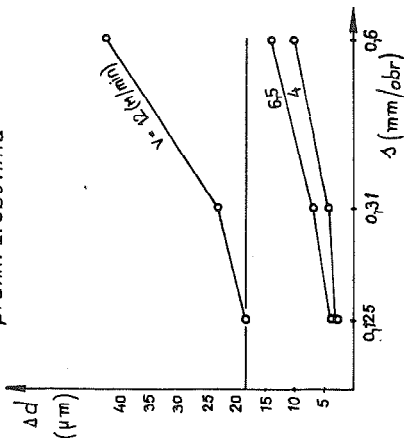
Sl.8. Zavisnost greške kružnosti od "bacanja" pom.sečiva.

U ovom istraživanju nije razmatran uticaj podele zuba po obimu na greške kružnosti. Dosadašnjim istraživanjima je utvrđeno da nejednak razmeštaj zuba po obimu ima veoma veliki uticaj na oblik razvrnutog otvora (Heidt, Schmalz). Usvojena nejednaka podela uzeta je prema dosadašnjim iskustvima FRA i prema navedenim istraživačima.

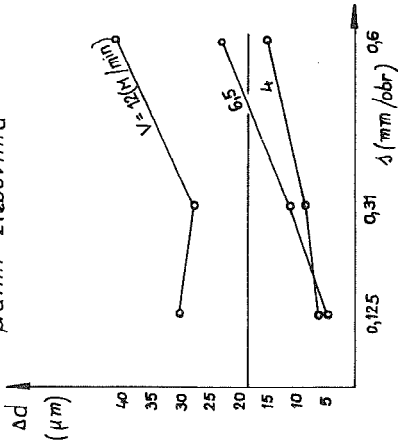


Sl.9. Promena mere prečnika otvora u zavisnosti od promene brzine

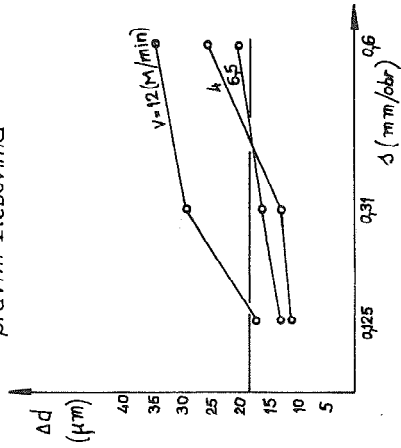
RAZVRTAČ BR.1 sa  
pravim žlebovima



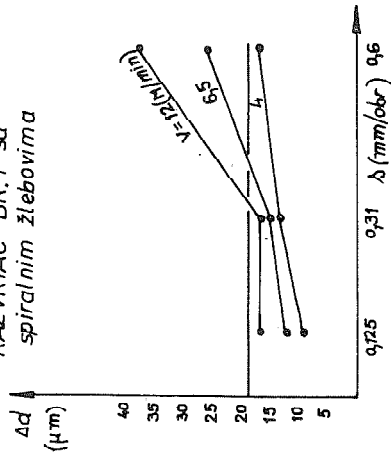
RAZVRTAČ BR.2 sa  
pravim žlebovima



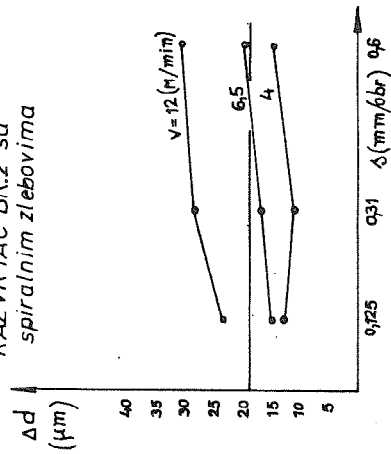
RAZVRTAČ BR.5 sa  
pravim žlebovima



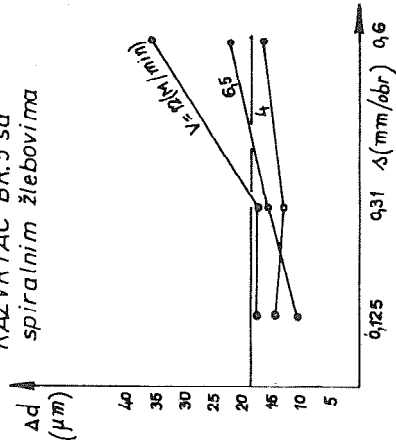
RAZVRTAČ BR.1 sa  
spiralnim žlebovima



RAZVRTAČ BR.2 sa  
spiralnim žlebovima



RAZVRTAČ BR.5 sa  
spiralnim žlebovima



Sl.10. Promena mere prečnika otvora u zavisnosti od promene posmaka.

U sledećem istraživanju treba uključiti i promenu "podele", posebno kod razvrtača sa spiralnim žlebovima, jer se i kod njih pojavljuje mnogougonaost u rupi. To govori da spiralni žlebovi pod uglom od  $9^{\circ}$  i nejednakom podelom ne umanjuju mogućnost pojave greški kružnosti.

Kako je već rečeno, povećanjem režima rezanja, ne izbegava se pojava mnogougonaostika u otvoru, ali se javlja druga greška koja se lako utvrđuje kontrolnim čepom, a to je proširenje otvora.

Najveći broj eksperimenata posvećen je ovom problemu. Rezultati merenja prečnika otvora, prenešeni su na dijagrame i za pojedine razvrtače prikazana zavisnost promene mere otvora od promene brzina rezanja i posnaka (Sl.9 i Sl.10).

Veličina  $\Delta d$  predstavlja promenu mere od nominalno utvrđene mere  $\varnothing 12$  mm, podešene pomoću graničnih merila. Navedeno ostupanje predstavlja najmanju nadjenu meru prečnika otvora. Inače, merenje je vršeno na tri mesta u otvoru, a date vrednosti odnose se na odstupanje mere prečnika merene na cca 10 mm od početka razvrtnja.

Ispitivanjima zone deformacija u okviru zone rezanja (Z. Nikić, R.Milošević: Deformacione zone u završnoj obradi otvora), se pokazalo da režimi obrade (brzina rezanja) u velikoj meri utiču na veličinu i oblik zone deformacije. Ovo je opet, dalje, u tesnoj vezi sa mikrodogadjajima na kontaktnoj površini zuba razvrtača.

Promene veličine prečnika otvora na mikronivou, o kojima je ovde reč, sigurno su u velikoj meri posledica dogadjaja u okviru zone rezanja, koji se geometrijski manifestuju u elastično-plastičnoj deformaciji nominalne mere otvora.

### 3. ZAKLJUČAK

Izvedena ispitivanja predstavljaju prilog istraživanju procesa razvrtnja sa nastojanjem da se daju odgovori i objasne pojave koje se najčešće u praksi javljaju. Iako se tokom istraživanja ograničilo samo na istraživanje pojave greški kružnosti i promene mere otvora u zavisnosti od geometrije alata i režima rezanja, uočene su vrlo interesantne pojave koje se mogu izraziti u sledećem:



- Pri razvrtanju sa višesečnim razvrtačima, formira se otvor u obliku mnogougona, ukoliko se osa razvrtača izvede iz ose otvora.
- Kod razvrtača sa nejednakom podelom kod kojih je bacanje pomoćnih reznih ivica po obimu veće, pojava mnogougona je izrazitija nego kod razvrtača sa manjim bacanjem.
- Pojava mnogougona je jedan od razloga suženja otvora. Drugi razlog pojave suženja otvora treba tražiti analizom elastično plastične deformacije kao i ostalih događaja u zoni rezanja.
- Pri izradi alata zbog gornja tri zaključka, bacanje pomoćnih reznih ivica mora biti svedeno na minimum. Maximalno odstupanje za različite materijale je različito i treba ga utvrditi. Kod čelika Č 1730, poboljšan od 98 do 105 kp/mm<sup>2</sup>, bacanje pomoćnih sečiva ne sme preći 0,005 mm.
- Pri razvrtanju sa razvrtačima sa spiralnim žlebovima, takodje se formira otvor u obliku mnogougona, ako pomoćne rezne ivice bacaju.
- Da bi se dao konačan odgovor u kojim se sve slučajevima pojavljuje mnogougona, mora se utvrditi međusobni uticaj bacanja i podele zuba.
- Pojava suženja otvora kod razvrtača sa spiralnim žlebovima je manja nego sa pravim žlebovima.
- Celokupna greška kružnosti otvora najviše zavisi od bacanja pomoćnih reznih ivica (Sl.8).
- Povećanje brzine i posmaka dovodi do proširenja otvora pri razvrtanju.

#### 4. LITERATURA

##### 1. Heinrich Schallbroch und Jürgen von Poblitzki:

Auswirkungen der Schneidenformen von Reibahlen und der Schnittbedingungen auf die Eigenschaften der Bohrung.  
Diss. Aachen 1958g.

2. Dieter Kress:  
Reiben mit hohen Schnittgeschwindigkeiten  
Vogel - Verlag 1975 g.
3. Heidt H. :  
Das Reiben mit Hartmetallwerkzeugen  
Das Industrieblatt 58.
4. K. Schmalz  
Reibahle für hohe Kreisformgenauigkeit  
Werkstatt und Betrieb 1970.
5. Handbuch Feinbearbeitung  
VEB VERLAG TECHNIK-BERLIN 1979 g.
6. Bradarić Nedeljko :  
Uticaj elemenata režima obrade i geometrijskih  
parametara reznog dela mašinskog razvrtača na  
kvalitet obradjene površine, geometrijske veli-  
čine otvora i postojanost pri obradi čelika.  
Magistarski rad. Novi Sad 1977 g.



XIV SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980.

V. Šolaja +)

O NEKIM KORELACIJAMA REZNOG PROCESA I KVALITETA GENERISANE POVRŠINE

1. Uvod

Problematika kvaliteta površina <sup>1)</sup> zauzima pažnju istraživača u toku poslednjih pedesetak godina (klasično je tu, na primer, delo G. Schmaltz-a [1], sa uvođenjem prvog, praktično upotrebljivog optičkog instrumenta za merenje hrapavosti), a takodje i prakse. Pritom su tri aspekta relevantna: parametrizacija merodavnih karakteristika i njihova identifikacija, korelacija specificiranih parametara sa upotrebnim svojstvima mašinskih delova, i tehnološko ostvarenje specificiranog kvaliteta [2].

Polazeći od prvog susreta sa ovom problematikom prilikom specijalizacije u Vel. Britaniji 1952/53 god. na Royal College of Science and Technology (RCST), Glasgow (kao rezultat se došlo i do opisa kvaliteta površine pri završnoj obradi na strugu jednostavnom stepenom funkcijom [3], što je u osnovi okosnica razmatranja i u ovoj informaciji), u toku proteklih godina nastalo je četrdesetak priloga (objavljeni radovi i dokumenti ograničene cir-

+) Vladimir B. Šolaja, dipl.maš.inž., red. profesor Mašinskog fakulteta, savetnik Instituta IAMA, Beograd

++) Prilog predstavlja kritički istorijski osvrt na jedan istraživački segment u kome je autor bio aktivan u toku poslednjih 28 godina, a odnosi se na deo problematike strateškog programa ROPOS (Razvoj i optimizacija proizvodnih sistema) - odeljak SIO (Sistematsko ispitivanje obradljivosti) u čijem finansiranju učestvuje Republička zajednica nauke u Beogradu. Uz respekt svežih okolnosti, prilog se posvećuje uspomeni na Desu Šolaja, koja je u proteklih dvadeset godina predstavljala inspiraciju i davala delotvornu podršku u mnogim preduzetnim poduhvatima.

1) Pošto je pored topografije (makro- i mikro geometrija) za realne tehničke objekte od bitnog značaja i stanje površinskog sloja, klasičan pojam kvaliteta površina može se, prema stavovima Međunarodne institucije za istraživanja u proizvodnom mašinstvu CIRP, proširiti na integritet površine kao iskaz sveobuhvatne upotrebne vrednosti.

kulacije u zemlji i inostranstvu), s time da je predloženi termin "koncentrisano habanje" i njegov generalni značaj za kvalitet kao vremensku funkciju u obradi rezanjem usvojen danas u svetu [4]<sup>2)</sup>, dok su ukupni nalazi sadržani u autorovoj doktorskoj disertaciji [6].

Danas je dokazana i generalno prihvaćena činjenica da u svim operacijama pri obradi čelika (ovo, međjutim, nije slučaj kod obojenih metala) u kojima se predeli sečiva podvrgnuti koncentrisanom habanju reprodukuju na obradjenoj površini, određeni parametri ovog fenomena upravljaju kvalitetom površine<sup>3)</sup>. Čini se, međjutim, da radi (i) metodoloških razloga, i (ii) potencijalnih mogućnosti da se generisani kvalitet površine koristi kao signal u vrednovanju obradnih jedinica, ili pak (uz razvoj odgovarajućih senzora) za adaptivno upravljanje procesa, ima razloga da se u ovom prilogu uradi jedan presek kroz, inače po autoru "hipotetični" slučaj obrade oštrim alatom.

Pokušavajući sa načelnim isticanjem mesta intelektualnog traganja da bi se razumele stvarne fizičke pojave u njihovom kompleksnom međudejstvu, u odnosu na inače elegantna i efektivna rešenja koja omogućuju moderni postupci i aparature, u drugom odeljku se pokušava sa jednim takvim skupom hipoteza namenjenih mogućnoj predikciji realnih stanja. Na osnovu odabrane sopstvene i tuđe eksperimentalne gradje iz završne obrade na strugu oštrim alatom, u trećem se odeljku pokušava sa verifikacijom istinitosti učinjenih hipoteza. Sa nekim ekstrapolacijama u pogledu mogućnih primena dosadašnjih rezultata i nagoveštajem daljih pravaca istraživanja, u poslednjem odeljku se formuliše i nekoliko mogućnih poruka.

---

2) Rezimirajući osnovne modele i nalaze pred domaćim eminentnim skupom [4], i sa dopunom u intenzivnim studijama i eksperimentalnim istraživanjima na Wolverhampton and Staffs. College of Technology, Wolverhampton, Vel. Britanija, 1956-1958 god., u međunarodnom časopisu Wear objavljeni prilog [5] korišćen je kao izvor i citiran u preko 50 radova objavljenih u svetskoj literaturi.

3) Od prvog empirijskog modela [7], autor je na osnovu geometrije formiranja karakterističnog žljeba na ledjnoj površini noža sa strane obradjene površine predložio svoj prvi teorijski model u [4], dok je u [6] razradjen konačni model za pouzdanu predikciju parametara  $R_a$  i  $R_z$ , sa programom za računar i verifikacijom u stručno-naučnoj javnosti (na primer, [8], [9] ili [10]).

2. Teorijski pristup topografiji obradjene površine pri obradi na strugu oštrim alatom

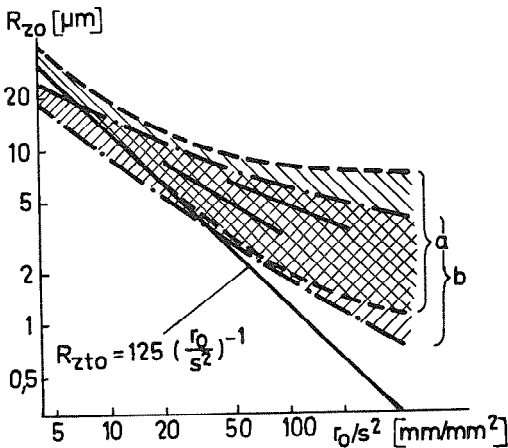
Uprkos različitim pokušajima u literaturi da se na osnovu geometrijsko-kinematskih parametara predikuje teorijska vrednost kvaliteta površine pri završnoj obradi na strugu, praktičnih razloga radi (prvenstveno veličine poluprečnika vrha alata  $r_o$  u odnosu na pomak  $s$ ) je najpodesnije da se za srednju visinu neravnina  $R_{zto}$  i srednje odstupanje profila  $R_{ato}$ , kao osnovne parametre (indeks  $t$  govori o teorijskoj veličini, a  $o$  o tome da je alat oštar) koriste obrasce [3], [6]

$$R_{zto} = 125 (r_o/s^2)^{-1} \quad (1)$$

i

$$R_{ato} = 32 (r_o/s^2)^{-1} \quad (2)$$

pri čemu je u (1) reč o drugačije iskazanom poznatom izrazu  $s^2/8r$ , dok je drugi izveden u [3];  $r_o$  i  $s$  su u mm, a  $R_{zto}$  i  $R_{ao}$  u  $\mu\text{m}$ . Poodavno je, međjutim, poznato (na primer, [1], [11] ili [12]) da su, posebno pri obradi oštrim strugarskim nožem različitih tehničkih mate-



Sl. 1. - Ishodi kvalitativnog rezonovanja o korelaciji  $R_{zo}$  i združene promenljive  $r_o/s^2$  (slično važi i za  $R_{ao}$ ).

rijala srednjim brzinama rezanja i manjim pomacima stvarne vrednosti parametara  $R_{zo}$  i  $R_{ao}$  nešto do znatno veće /iskustvo, međjutim, pokazuje da pri vrlo grubim površinama, hrapavost može da je i niža od predikovane jednačinama (1) i (2)/.

U nizu sličnih radova koji se mogu naći u objavljenoj literaturi i drugim dokumentima 40-tih i 50-tih godina, zadatak pred autorom u zimu 1952/53 god. na RCST je bio da u okviru preporuka koje je tražila brodogradjevna industrija Škotske za najpodesnije režime pri obradi velikih brodskih osovina, izvede eksperimentalno utvrđivanje hrapavosti uzoraka iz mekog ugljeničnog čelika sa 0,2% C obradjanog alatima iz brzoreznog čelika neobičajeno ve-

likog poluprečnika  $r_0 = 5 - 75$  mm.

U naporima da generalizuje niz eksperimentalno dobijenih podataka, autor je pošao od najjednostavnije moguće hipoteze <sup>4)</sup>: na porast stvarne u odnosu na teorijsku hrapavost prema jednačinama (1) i (2) ne utiču  $r_0$  i  $s$ , već drugi faktori (na primer, vrsta materijala, režim hladjenja, brzina rezanja ili dinamičko stanje mašine). Pošto se jednačina (1) - slično je i sa (2) - iskazuje kao prava u duplogaritamskoj mreži, na slici 1. je poljem rasturanja  $a$  ilustrovana hipoteza pogoršanja kvaliteta nezavisnog od promenljive  $r_0/s^2$ . U daljem koraku ona omogućava i pretpostavku da bi se za dovoljno uzak dijapazon promenljive  $r_0/s^2$  stvarna veličina  $R_{zo}$ . (ili  $R_{ao}$ ) mogla aproksimirati pravom, kako je to i naznačeno za dva slučaja. Tada bi se, međjutim, stvarna hrapavost iskazivala izrazom

$$R_{io} = k_i (r_0/s^2)^{n_i}, \quad (3)$$

gde se  $i$  odnosi na  $z$  (srednja visina neravnina  $R_z$ ) ili  $a$  (srednje odstupanje profila  $R_a$ ), a koeficijenti  $k_i$  i eksponenti  $n_i$  su funkcije niza drugih uticaja.

U pogledu na kvalitativno tvrdjenje koje proističe iz hipoteze, merodavni bi valjalo da budu faktori koji mogu da remete predikciju iskazanu pravom u području rasturanja  $a$  slike 1: (i) alat (preslikavanje oblika sečiva), (ii) proces rezanja (režim naslage na sečivu - promena oblika sečiva i bočno tečenje materijala sa depozitima), i (iii) obradna jedinica (uticaj dinamike na odstupanje od vektora pomaka i na njegovu jednolikost).

Od ovih faktora, sa pouzdanošću se može tvrditi da će se svaka mikronepravilnost sečiva (gledana za sebe) reprodukovati sa nepromenjenim efektom na hrapavost dok se god ona nalazi u području obradjene površine (tj. dela sečiva koji generiše ovu površinu u odnosu na površinu rezanja).

U pogledu plastičnog tečenja materijala i posebno naslage mogu nastupiti različiti slučajevi: u principu promena oblika sečiva na delu koji se reprodukuje na obradjenoj površini bi mogla

---

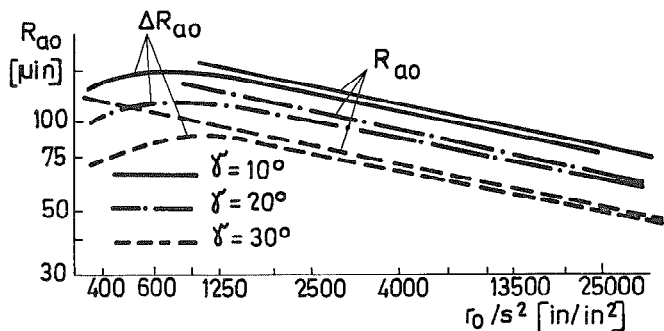
4) Stav o najjednostavnijoj hipotezi, u slučaju da ona samo obuhvata i objašnjava sva polazna fakta, opravdava se u metodologiji nauke poznatim Okamovim principom: "Entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem."

(i) smanjiti pogoršanje pri većim pomacima (usled očekivane bočne evakuacije naslage) i (ii) smanjiti pogoršanje pri vrlo malim pomacima usled smanjenja zapremine naslage i očekivane tendencije da se na slučajan način "koriguju" mikronepravilnosti sečiva. Međutim, valja očekivati i određeno bočno tečenje materijala obratka u površinskom sloju, kao i dejstvo bočnog deponovanja evakuisane naslage, što bi moglo da dovede do izvesnog smanjenja razlike pri vrlo velikim pomacima (tj. pri manjoj združenoj promenljivoj  $r_0/s^2$ ).

Dinamika obradne jedinice je poseban problem, i uz neka bliža pojašnjenja u četvrtom odeljku, moglo bi se u prvom približavanju pretpostaviti nasuprotno dejstvo dva faktora: varijacije amplitude u horizontalnoj ravni duž ose noža i upravno na nju usled izmenjenog sistema sila promenom  $r_0$  i  $s$ , i preslikavanja realne trajektorije vrha noža s obzirom na interferenciju sa režimom. I ovde bi se, međutim, moglo očekivati neko smanjenje razlike stvarne u odnosu na teorijsku hrapavost pri većim  $s$  i manjim  $r_0$  (tj. sa smanjenjem združene promenljive  $r_0/s^2$ ).

Sigurno je pritom da proces rezanja, režim naslage i dinamika obradnog sistema, na koje, pored ostalog, znatan uticaj ima i grudna geometrija alata, brzina rezanja ili tečnost za hladjenje, utiču na položaj izmerenih veličina hrapavosti u polju očekivanog rasturanja

prema slici 1.



Sl. 2. - Zavisnost  $R_{a0}$  od  $r_0/s^2$  pri obradi na strugu mekog čelika brzoreznim alatom bez hladjenja [3]

Bez obzira što izvedena razmišljanja ne mogu da pruže pouzdanu kvantitativnu predikciju očekivanog ponašanja jedne realne obradne jedinice pri završnoj obradi finih površina, moglo bi se pretpostaviti da

bi bilo korisno polaznu hipotezu o konstantnosti razlike korigova-



ti s time da se pri vrlo malim i vrlo velikim vrednostima združene promenljive  $r_0/s^2$  može očekivati izvesno smanjenje porasta razlike hrapavosti  $\Delta R_{i0}$  ( $\Delta R_{i0} = R_{ito} - R_{i0}$ ). To je omogućilo da se u slici 1. ucrtta i polje b kao poboljšana hipoteza, s time što se i prema ranijim praktičnim iskustvima sugerije da pri malim vrednostima  $r_0/s^2$  razlika  $\Delta R_{i0}$  može po pravilu da bude i negativna.

Uzged se napominje da je, iako to ne može biti uzrok, već samo posledica eventualnog nagomilavanja eksperimentalnih podataka oko pravih ograničenih u nekom intervalu polja očekivanog raturanja, u skladu sa konkurentnom hipotezom i tok razlike ordinata tačaka koje leže na bilo koje dve prave u duplologaritamskom koordinatnom sistemu.

### 3. Primeri verifikovanja predikcija na osnovu autorovih hipoteza

Bez opterećivanja detaljima (na primer, ucrtanim eksperimentalnim tačkama, koje se inače nalaze u izvornim dokumentima) u ovom se odeljku pokušava proveriti ispravnost autorovih hipoteza i izvedenog rezonovanja.

Na slici 2. se, pre svega, prikazuje deo sada već istorijskih opitnih rezultata iz 1952/53 god., koji se odnosio na obradu mekog čelika sa 0,2% C bez tečnosti za hladjenje pri  $v = 32$  m/min [3]: iz sentimentalnih razloga su pritom zadržane originalne anglosaksonske mere ( $R_{a0}$  u mikrocolovima,  $r_0$  i  $s$  u colovima), pri čemu se (uz uvaženje uticaja grudnog ugla  $\gamma$ ) daje i matematski opis

$$R_{a0} = (967 - 13,6 \gamma)(r_0/s^2)^{-0,22}, \quad (4)$$

dok su u identičnim opitima, ali uz primenu tečnosti za hladjenje, ostvarene površine veće finoće,

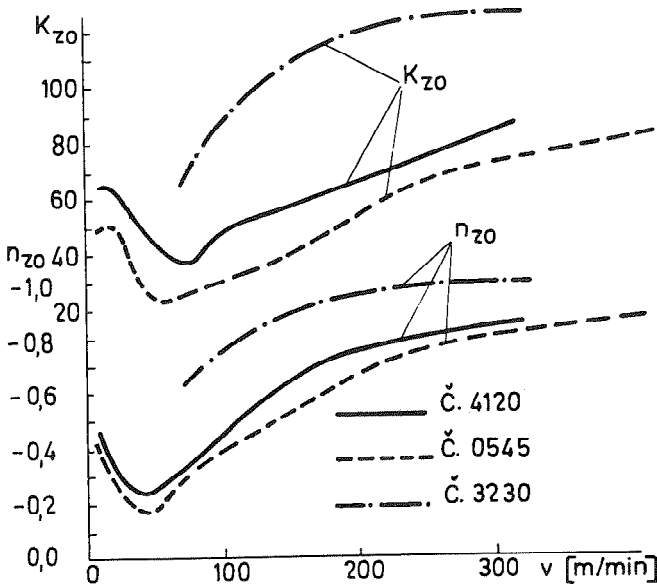
$$R_{a0} = (1183 - 16,0 \gamma)(r_0/s^2)^{-0,31}. \quad (5)$$

Isprekidanim linijama je na dijagramu 2. ucrtana razlika  $\Delta R_{a0} = R_{a0} - R_{ato}$ : bez obzira što je ova razlika u celom ispitanom području pozitivna, uočava se da od manjih vrednosti  $r_0/s^2$  ona raste do nekog maksimuma pri  $r_0/s^2 = 500 - 1200$  in/in<sup>2</sup> i da onda opada.

U Zavodu za mašine alatke Mašinskog fakulteta i Industriji motora Rakovica je potom u toku 1953 i 1954 god. izveden jedan

ekstenzivan (preko 14.000 pojedinačnih merenja) program istraživanja sa pet vrsta čelika, pri čemu je poseban akcent dat ispitivanju uticaja brzine rezanja, kao i statističkoj proverbi pouzdanosti predikcija [13]. Iako je koncentrisano habanje identifikovano kao jedan od najznačajnijih faktora koji remeti pouzdanost izlaza, što je i opredelilo docnija dugogodišnja istraživanja u

tom smislu, bilo je moguće da se, uz svu potrebnu pažnju pri izvodjenju eksperimenata i interpretaciji rezultata, dodje do zavisnosti koeficijenta  $k_{zo}$  i eksponenta  $n_{zo}$  od brzine rezanja  $v$ . Za tri od ispitanih pet vrsta konstrukcijskog čelika se na slici 3. prikazuje ova zavisnost, dok su na osnovu tih podataka obračunate razlike



Sl. 3. - Koeficijenti i eksponenti u jednačini (3) za tri vrste čelika pri obradi karbidnim alatima P.10,  $r_0 = 0,45 - 1,35$  mm,  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\alpha = 6^\circ$ ,  $r_0/s^2 = 6 - 65$  mm/mm<sup>2</sup> [13]

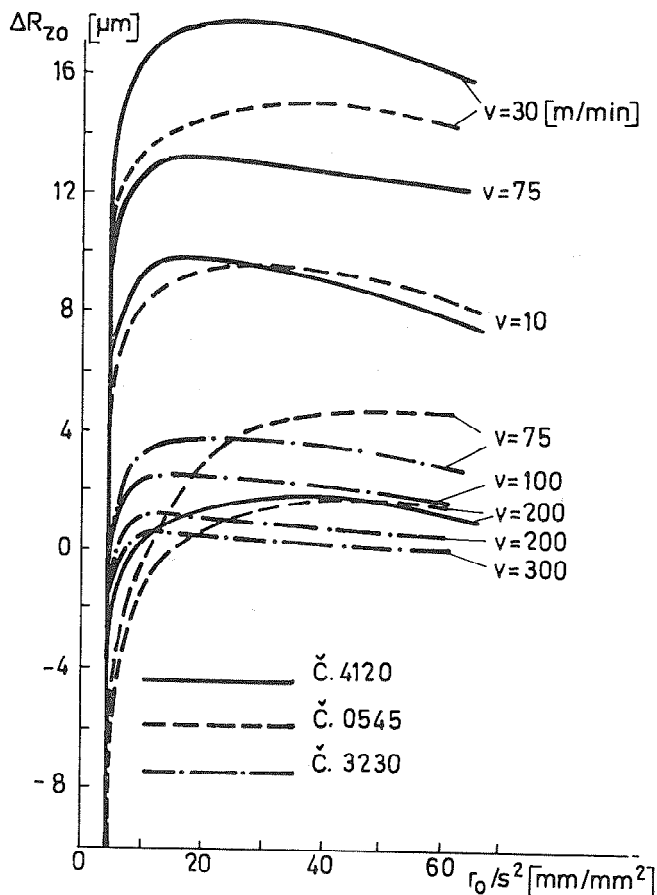
$\Delta R_{zo} = R_{zo} - R_{zto}$  i prikazane na slici 4. Uočava se: (i) validnost korigovane hipoteze iz prethodnog odeljka, s time da, zavisno od vrste čelika i brzine rezanja, u području  $r_0/s^2 = 5 - 15$  ta razlika postaje negativna (tj.  $R_{zo} < R_{zto}$ ), sa tendencijom njenog blagog opadanja i sa povećanjem združene promenljive  $r_0/s^2$  posle nekog postignutog maksimuma, (ii) odlučujući uticaj vrste čelika na  $\Delta R_{zo}$ , i (iii) veoma značajan uticaj brzine rezanja na  $\Delta R_{zo}$ .

Ne smatrajući potrebnim da se iznose dalji primeri iz sopstvenih istraživanja, na slikama 5. - 7. se daju na naš način in-

terpretirani rezultati istraživanja inostranih autora.

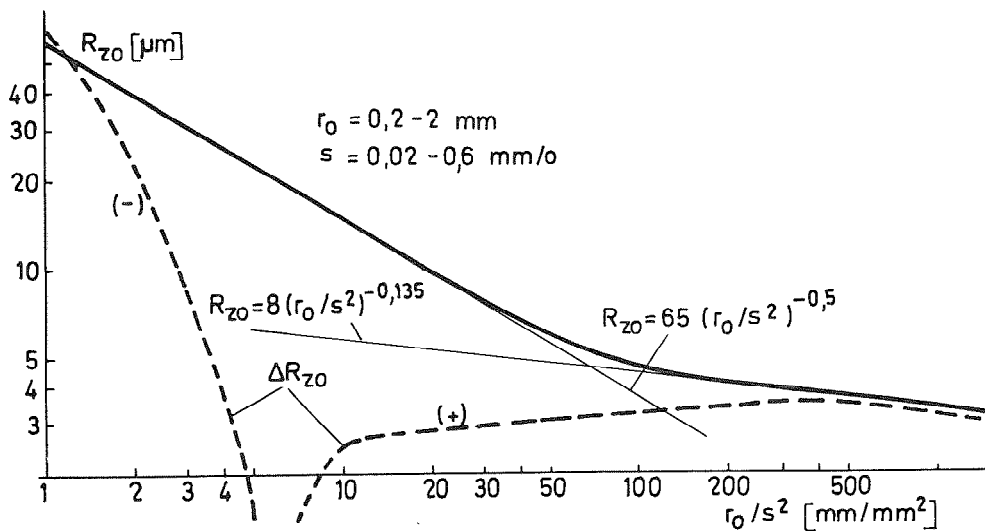
Japanski istraživači H. Takeyama i T. Ono su u svom radu [14] prezentovali rezultate u širokom intervalu vrednosti  $r_o$  i  $s$ , što je zahtevalo

da se na slici 5. odgovarajuća punom linijom izvučena kriva aproksimira sa dve prave koje su opisane odgovarajućim stepenim jednačinama. U pogledu razlike  $\Delta R_{zo}$  izvučene isprekidanom linijom uočava se (i) da ona pri vrednosti  $r_o/s^2 \approx 6$  postaje negativna (zbog logaritamske podele ucrtana je u levom delu slike u pozitivnom području, sa naznačenim negativnim predznakom), i (ii) zaustavljanje porasta  $\Delta R_{zo}$  pri velikim vrednostima  $r_o/s^2$ , sa tendencijom naknadnog blagog opadanja.

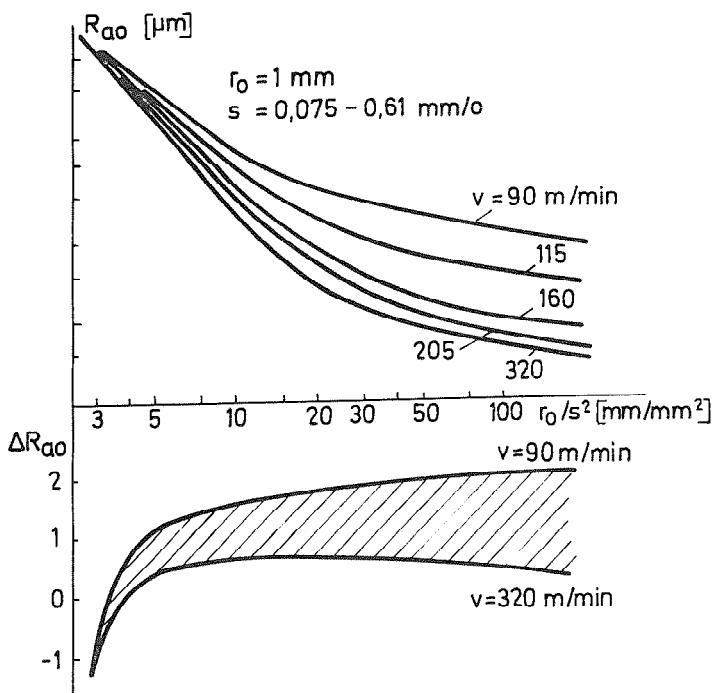


Sl. 4. - Razlike  $R_{zo}$  za tri vrste čelika prema slici 3. u zavisnosti od združene promenljive  $r_o/s^2$

Niz svojih radova danski istraživač K. V. Olsen posvećuje završnoj obradi na strugu. Iz [15] se na slici 6. na naš način prezentuju njegovi rezultati, i u rasponu brzine rezanja  $v = 90 - 320$  m/min potvrđuju se raniji nalazi: dok pri  $r_o/s^2 \approx 4$  razlika  $\Delta R_{ao}$  postaje negativna, polje razlike  $\Delta R_{ao}$  se sa porastom  $r_o/s^2$  širi, s tim da se pri većim  $v$  uočava tendencija opadanja posle postignutog nekog maksimuma.



Sl. 5. - Zavisnost  $R_{z0}$  od združene promenljive  $r_0/s^2$  i razlike  $\Delta R_{z0}$  prema istraživanjima H. Takeyama i T. Ono [14]



Konačno, od inostranih rezultata se na slici 7. na naš način pokazuju rezultati talijanskog istraživača G.

Sl. 6. - Zavisnost  $R_{ao}$  (gore) i razlike  $\Delta R_{ao}$  (dole) od združene promenljive  $r_0/s^2$  prema istraživanjima K.V.Olsen [15]

Balbo [16] 5), koji je, valja istaći, svoje rezultate pri obradi ugljeničnog čelika brzoreznim alatom pri  $v = 80$  m/min šesnaest godina posle autora [3]

interpretirao na sličan način

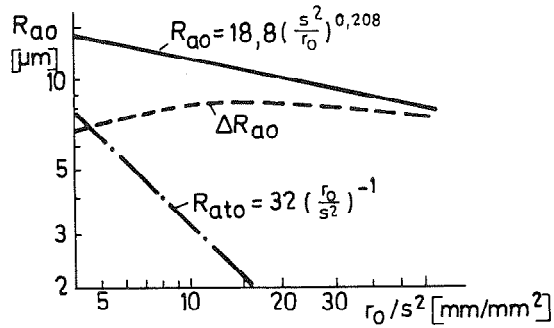
$$R_{ao} = 18,8 (s^2/r)^{0,208} \quad (6)$$

Iako pri datim okolnostima pri malim vrednostima  $r_o/s^2$  raz-

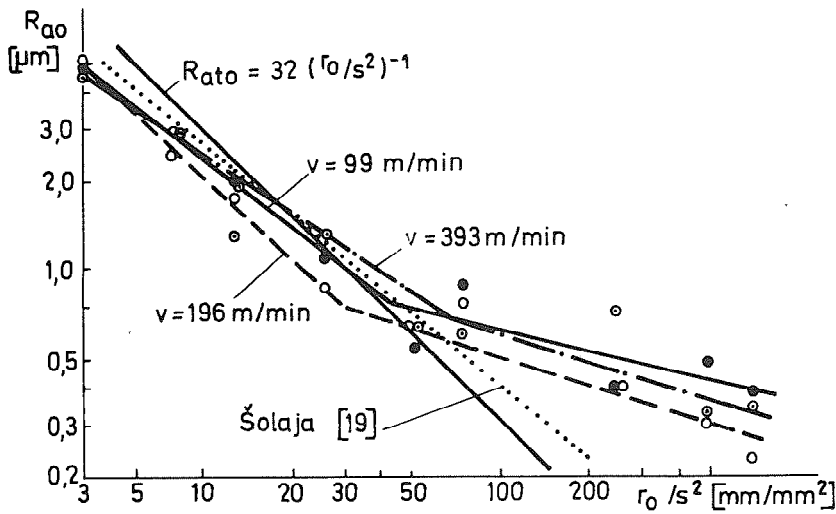
Sl. 7. -

Zavisnost  $R_{ao}$  i razlike  $\Delta R_{ao}$  od združene promenljive  $r_o/s^2$  prema istraživanjima G. Balbo [16]

lika  $\Delta R_{ao}$  nije negativna, ona ima tendenciju opadanja, kao i pri njenom porastu.



U svetlu postignute kvalitativne pozitivne verifikacije hipoteza indukovanih



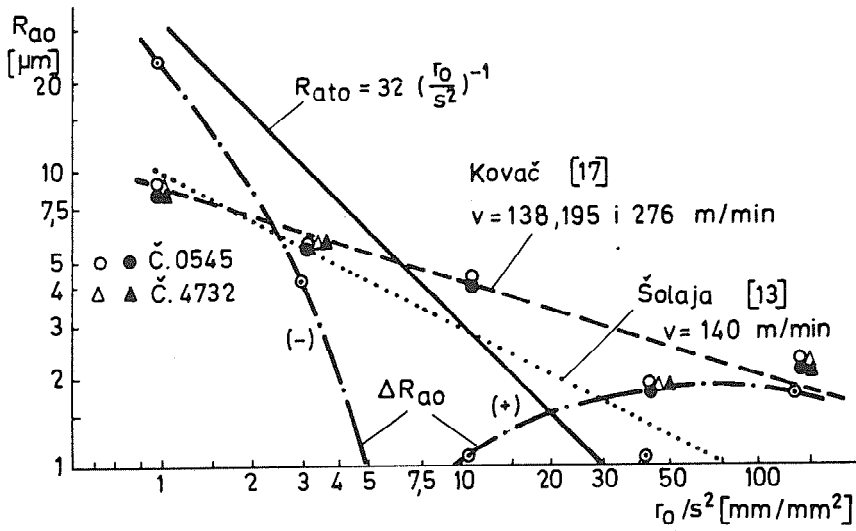
Sl. 8. - Zavisnost  $R_{ao}$  od združene promenljive  $r_o/s^2$  u poredjenju sa  $R_{ato}$  prema istraživanjima u [16]

5) U [16] se citira rad G. Balbo, Finibilita superficiale lavorazioni su tornio, Macchine utensili, (1966) 1 - 2, str. 4 - 9, koji autor nije imao prilike da vidi, već obrazac (6) prenosi iz [16]

u 2. odeljku posredstvom sopstvenih nalaza, kao i rezultata nekoliko inostranih autora, daje se kratak osvrt na dva rada domaćih autora: već pomenuti prilog E. Kuljanića na VII savetovanju proizvodnog mašinstva [16], a takodje i nedavno odbranjeni magistarski rad P. Kovača na Mašinskom fakultetu u Novom Sadu [17].

Opređeljujući se za obradu mesinga karbidnim alatima ( $v = 100 - 400$  m/min), E. Kuljanić je pretpostavio eksponencijalnu zavisnost izmedju hrapavosti, režima obrade i oblika noža, i metodom multiregresione analize došao do izraza

$$R_a = 1,241s^{0,444}v^{0,040}a^{0,006}r^{-0,655} \quad (7)$$



Sl. 9. - Zavisnost  $R_{a0}$  i razlike  $\Delta R_{a0}$  od združene promenljive  $r_0/s^2$  prema istraživanju P. Kovača [17]

što je izazvalo autora da na Savetovanju formuliše pitanja u pogledu dinamičkih karakteristika obradne jedinice, neočekivano većeg uticaja  $r_0$  (eksponent 0,655) nego  $s$  (eksponent 0,444), suprotnog dosadašnjim iskustvima, i da iskaže skepsu za mogućnost ekstrapolacije dobijenih rezultata na druge materijale [18]. Slika 8. ilustruje glavne rezultate iz [16] (tačkastom linijom su uneti i autorovi rezultati iz [19]): čini se da odstupanja kod većih vrednosti  $r_0/s^2$  potvrđuju autorovu pretpostavku o dinamičkoj nestabilnosti opitne mašine istaknutu u [18].

U sa velikom pažnjom i ulaganjem značajnog truda uradjenom

magistarskom radu [17] se, primenjujući kibernetiski model takođe došlo do nalaza koji mogu izazvati opravdana pitanja. Po mr Kovaču, na primer, nije u nekim modelima signifikantna brzina rezanja, zatim je veći značaj (preko eksponenta)  $r_0$  nego  $s$ , a takođe nije se moglo doći do zaključka o uticaju vremena na kvalitet generisane površine. Neke od ovih tvrdnji uočavaju se i na slici 9., kojom se interpretiraju rezultati iz [17] na naš način: pojedine tačke se neočekivano gomilaju za tako različite materijale kao što je Č.0545 (tačkasta prava se odnosi na autorove rezultate za ovaj materijal pri  $v = 140$  m/min iz [13]) i Č.4732, i pri varijaciji brzine rezanja  $v = 138 - 276$  m/min. U, međjutim, isprekidanom linijom aproksimaciji uočava se da razlika  $\Delta R_{a0}$  sleđi u principu isti trend kao i ranije opisano (sl. 2., 4. - 7.).

#### 4. Neke moguće ekstrapolacije sa zaključnim napomenama

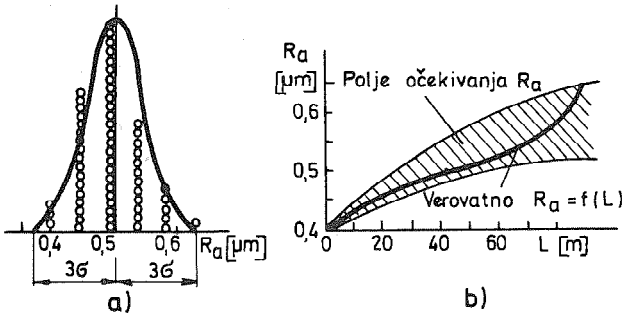
Iako su hipoteze i rezonovanje razvijeni u drugom odeljku interpretacijom odabranih rezultata iz različitih izvora pozitivno verifikovani u trećem, valja, nažalost, naglasiti da je, pri remećenju polaznog stanja koncentrisanim habanjem u završnoj obradi čelika, do koga sistematski dolazi od samog početka rezanja, mogućnost praktičnog korišćenja nalaza za predikciju hrapavosti u toku vremena ništavna. Ne otvarajući, međjutim, inače detaljno izučenu problematiku uticaja ovog vida habanja alata na kvalitet površine (na primer [6], ili matematski model prikazan u [9]), pažnja se upućuje na mogućnosti koje pružaju izneta razmatranja za analizu (i) rezljivosti (mogućnosti da reže) alata (materijal, geometrija), (ii) obradljivost materijala obratka (mogućna korelacija  $\Delta R_{i0}$  sa režimom naslage na sečivu, površinskim plastičnim tečenjem materijala i integritetom površine), i (iii) podobnost obradnih jedinica i pribora za završnu obradu.

Autor se kratko zadržava na trećem aspektu: zapazivši već u prvim sistematski izvedenim istraživanjima [13] da način stezanja obratka na istoj mašini utiče na ostvareni kvalitet, pokušao je da predloži postupke za utvrđjivanje podobnosti strugova [20] - docnije, primenom epruveta iz mesinga umesto čelika, unapredio je postupak praktičnog opita [19] - za završnu obradu, a takođe i obrtnih šiljaka [21]. Predloženi standardni postupci se u principu sastoje u određivanju indeksa podobnosti preko odnosa ostvarenog kvaliteta na ispitivanoj i jednoj eksperimentalnoj mašini.

Metode i razvijene instrumentalne mogućnosti za statističku analizu stacionarnih i ergodičnih stohastičkih procesa, opisanih kontinualnom vremenskom funkcijom, pružaju, nadalje, preko spektara snage i korelacionih funkcija prednosti za dublju analizu zapisa kvaliteta površine ostvarenog na ispitivanoj obradnoj jedinici. U [22] je stoga proverena primena ove metodologije, te se analizom spektara snage i određivanjem slučajnog udela obezbedilo dobro razlikovanje različitih jedinica i njihovo moguće objektivnije vrednovanje.

Čini se, međjutim, da je tek na osnovu mobilisanja značajnih saznanja iz dinamike obradnih sistema i kompleksnih međuzavisnosti niza podsistema, bio mogućan pristup jedinstvenoj identifikaciji kvaliteta ovih sistema, definisanjem integralnog dinamičko-tehnološkog parametra određenog kao odnos "tehnološke mirnoće" i "mirnoće rada" mašine: dok su osnovne ideje bile iznete pred sud kompetentnog međunarodnog foruma [23], ova problematika se razmatra u zasebnom prilogu na XIV savetovanju [24].

Imajući u vidu značajnost metodološke strane poruke koja može da proistekne iz prezentovanog teksta, autor želi da ukaže na važnost da se, pored angažovanja (uz, po mogućstvu, učestvovanje



Sl. 10. - Normalna distribucija hrapavosti (a) prema Olsen-u [15] i (b) autorova interpretacija uz respekt koncentrisanog habanja [9]

U dilemi između apsolutne objektivnosti pri istraživanju koja u krajnjoj instanci dovodi eksperimentatora do "slepog" dela tragalačkog aparativnog sistema, i stalno mislećeg, na uočavanje svih anomalija adaptabilnog i za nove ideje spremnog stvaraoca, autor toplo zastupa drugi stav (videti, na primer, [25]).

u njihovom stvaranju) novih saznanja, pristupa i disciplina u inženjerskom istraživanju, gde je to moguće pokušati razumeti i bar delimično ući u složen prostor prirode nepoznatog (crna kutija), jer to može olakšati neplodnost u rezonovanju i pogrešne interpretacije.



U prilog mogućnim zabudama do kojih, pri inače formalno korektnoj interpretaciji može da dodje prilikom nesagledavanja (ili neuvažavanja) realnih fenomena, jasno govori 10. slika. Prof. Olsen je u [15] pretpostavio stacionarnost procesa na ukupno obradjenom površini  $A = 60 \text{ cm}^2$  (obradak iz Č.1530, karbidni alat P.10 sa  $r_o = 1,35 \text{ mm}$ ,  $v = 150 \text{ m/min}$ ,  $a = 0,5 \text{ mm}$ , dok pri  $s = 0,07 \text{ mm/o}$ , ukupna dužina puta rezanja  $L \approx 86 \text{ m}$ ), te je pri ukupno 60 merenja  $R_a$  (sistematski rasporedjenih na svaki  $\text{cm}^2$  obradjene površine) pokušao dokazati da je reč o normalnoj distribuciji ( $a$ ). U pokušaju istinitije interpretacije dobijenih podataka, autor je, medjutim, pošao od saznanja prirode stvarnog toka procesa u datom vremenu, i uz pretpostavke o monotonom rastu koncentrisanog habanja i hrapavosti  $R_a$ , kao i proporcionalnosti pojedinih grupnih intervala predjenom putu, došao je prema (b): (i) do mogućnog polja očekivanja stvarne vrednosti  $R_a$  (po ranijim iskustvima bi se ona mogla kretati u intervalu  $R_a = 1,3 - 1,6 R_{a0}$ ), i (ii) do verovatnog toka  $R_a = f(L)$  unutar tog polja [9].

## 5. Reference

- [1] G. Schmaltz, Technische Oberflächkunde, Springer Verl., Berlin (1936)
- [2] V. Šolaja, Kakvoća površina u mašinskoj tehnici, Tehnika (Mašinstvo i elektrotehnika), Beograd, 4 (1955) 2, str. 217-224
- [3] V. Šolaja, The Dependence of Surface Finish on Tool Radius, Rake and Feed, Research Report, Royal College of Science and Technology, Glasgow (1952/53)
- [4] V. Šolaja, Prilog proučavanju problema pri završnoj obradi na strugu, Zbornik radova Mašinskog instituta SANU, Beograd, 54 (1957) 7, str. 185 - 227
- [5] V. Šolaja, Wear of Carbide Tools and Surface Finish Generated in Finish Turning of Steel, Wear, Delft, 2 (1958/59) 1, str. 40 - 58
- [6] V. Šolaja, Prilog teoriji završne obrade na strugu, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd (1972)
- [7] V. Šolaja, Neka pitanja ekonomije jednosečnih reznih alata iz tvrdog metala, Mašinoprojekt, Beograd, Tehnički godišnjak (1955) 149 - 156
- [8] V. Šolaja, A Contribution to the Surface Finish Evaluation in Machining, Annals of the CIRP, Berne, 21 (1972) 1, str. 151 - 152; Saopštenja IAMA, Beograd, 16 (1972) 2265 - 2276
- [9] V. Šolaja, Novi model korelacije habanja alata i kvaliteta površine pri strugovanju, Tehnika (Mašinstvo), 28 (1973) 2, str. 298 - 301
- [10] V. Šolaja, The Control of Surface Finish in Turning, SME

- Techn. Paper MR.73-242, Dearborn, Mich. USA (1973)
- [11] H. Opitz, H. Moll, Die Herstellung hochwertiger Drehflächen, Ber. über betr.-wissenschaftliche Arbeiten, Aachen, 14 (1940)
  - [12] G. Schlesinger, Surface Finish, Inst.Prod.Engs., London (1942)
  - [13] V. Šolaja, Ispitivanje završne obrade nekih čelika na strugu, Zbornik Mašinskog fakulteta, Beograd (1954/55) 136 - 144
  - [14] H. Takeyama, T. Ono, Study on Roughness of Turned Surface, Bull. Jap. Soc. of Prec. Engg., 1 (1966) 274
  - [15] K. V. Olsen, Surface Roughness as a Function of the Cutting Data when Fine Turning Steel, Europäischer Maschinenmarkt, (1964) 4
  - [16] E. Kuljanić, Primjena planiranja pokusa i multiregresione analize za određivanje zavisnosti hrapavosti površine o najutjecajnijim faktorima obrade, Zbornik saopštenja VII savetovanja proizvodnog mašinstva, Novi Sad (1971) knj. I, str. OR.25.01 - 10
  - [17] P. Kovač, Hrapavost obradjene površine u funkciji parametara rezanja pri završnoj obradi na strugu, magistarski rad, Mašinski fakultet Novi Sad (1980)
  - [18] V. Šolaja, diskusija uz rad pod [16], Zbornik saopštenja VII savetovanja proizvodnog mašinstva, Novi Sad (1973) knj. IV, str. 160 - 162
  - [19] V. Šolaja, Neke napomene uz "praktičan opit" pri ispitivanju strugova, Tehnika (Mašinstvo), 12 (1957) 9, str. 1503 - 1505
  - [20] V. Šolaja, Prilog ispitivanju podobnosti strugova za završnu obradu, Tehnika (Mašinstvo i elektrotehnika), Beograd, 11 (1956) 2, str. 221 - 225
  - [21] V. Šolaja, S. Stanić, Uticaj stanja obrtnih šiljaka na kvalitet površine pri završnoj obradi na strugu, Tehnika (Mašinstvo i elektrotehnika), Beograd, 11 (1956) 6, str. 1363-1368
  - [22] V. Šolaja, M. Tomašević, Prilog analizi geometrijskih parametara obradjene površine, Proc. of the III World Congress for Theory of Machines and Mechanisms (IFTOMM), Kupari, (1971) vol. E, str. 337 - 352
  - [23] V. Šolaja, M. Kalajdžić, R. Albijanić, On a New Comparative Index of Machine-Tool Working Performance, Annals of the CIRP, Berne, 25 (1976) 1, str. 277 - 280
  - [24] M. Kalajdžić, V. Šolaja, Obradni sistem, osnovna tehnološka celina - mogućnosti jedinstvene identifikacije u eksploatacijskim uslovima, Zbornik XIV savetovanja proizvodnog mašinstva, Čačak (1980) - u štampi
  - [25] V. Šolaja, Metod i organizacija naučnoistraživačkog rada, Mašinski fakultet, Beograd (1970); inovirana kraća verzija: Centar za matematičko-tehnički nauki, Mašinski fakultet, Skopje (1978)

V. Šolaja

On Some Correlations of the Cutting Process and the Quality of Generated Surface

Although concentrated wear when finish turning steel was proved to be the main obstacle in predicting the time function of surface finish by extrapolating the data when the tool is sharp, the author induces some hypotheses explaining the discrepancies between the theoretical values of surface finish  $R_{zto}$  and  $R_{ato}$  and the actual values  $R_{zo}$  and  $R_{ao}$  with an unworn tool. By interpreting his previous results, as well as the selected data published by some other researchers in the form of Equation (3), the general validity of the author's hypotheses was proved. The author strongly advocates a good understanding of basic physical phenomena before some modern theoretical and instrumental means are mobilized in attacking the problem identified in the relevant field.

XIV SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980.

V. Mečanin \*

\*\*

JEDAN MODEL OPTIMIZACIJE PROCESA OBRADE NA NC MAŠINAMA

1. Uvod

Analize koje prate razvoj na području alatnih mašina pokazuju da je nastupio period naglog razvoja i primjene numeričkih upravljanih alatnih mašina.

Predpostavlja se, da će za sledećih petnaest do dvadeset godina od svih instaliranih alatnih mašina oko (50-75)% biti mašine sa numeričkim upravljanjem.

Ispitivanja porasta primjene NC mašina u Sjedinjenim Američkim Državama i nekim zemljama Zapadne Evrope idu u prilog ovim predpostavkama.

Imajući u vidu prednosti NC mašina u odnosu na klasične kao i tendencije razvoja obradnih sistema i obradnih procesa, problemima projektovanja i optimizacije procesa obrade posvećena je posebna pažnja.

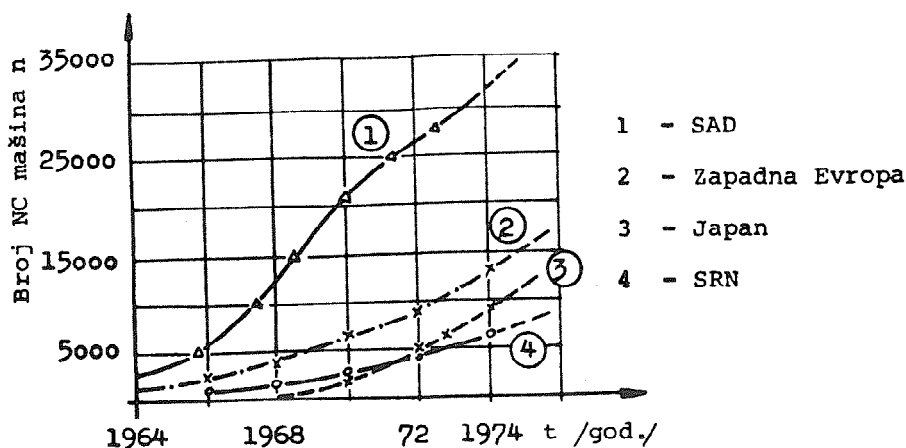
Kada se govori o optimizacionim procesima potrebno je istaći, da oni nisu interesantni samo za obradne procese na numerički upravljanim mašinama, nego su isto tako bitni i neophodni i pri obradama na klasičnim alatnim mašinama.

Prateći razvoj na području alatnih mašina i jugoslovenska industrija alatnih mašina se uključila u razvoj i proizvodnju NC mašina /"Prvomajska", "Ivo Lola Ribar", "Porisje" i dr./ i tržištu ponudila NC mašine domaće proizvodnje. Na slici /1/ prema /1/ prikazan je porast primjene numerički upravljanih alatnih mašina u industrijama nekih zemalja.

---

\* Doc.mr. Vučko Mečanin dipl.inž., Mašinski fakultet Univerziteta "Džemal Bijedić" u Mostaru, adresa stana: Konjic 15.septembra br.22.

\*\* Rad je deo projekta "OPTIMIZACIJA PROCESA OBRADE NA NUMERIČKI UPRAVLJANIM ALATNIM MAŠINAMA" koga finansiraju Republička Zajednica Nauke BiH - OSNOVNA ZAJEDNICA MOSTAR i radne organizacije sa područja Hercegovine.



Slika /1/. Porast primjene NC mašina u industrijama nekih zemalja.

Smatra se da je u našim radnim organizacijama instalirano oko 250. NC mašina sa tendencijom naglog porasta primjene, a naročito na području: strugova, glodalica i obradnih centara.

Neka ispitivanja koja se ne mogu uzeti dovoljno pouzdanim pokazuju, da će za sljedećih pet godina biti instalirano više od 100, obradnih centara, što će u odnosu na 1975-tu godinu predstavljati povećanje za oko 20. puta.

Danas u proizvodnim procesima imamo četvrtu generaciju numerički upravljanih alatnih mašina CNC mašine koje se odlikuju visokom produktivnošću i velikom pouzdanošću u radu.

Imajući u vidu ovako brz razvoj i primjenu NC mašina, treba učiniti veći napor na području: optimizacije i projektovanja obradnih procesa, klasifikacije alata i upravljanja alatom, programskih jezika i programiranja, razvoja tehnološke baze podataka i školovanja kadrova.

## 2. Osnovne podloge optimizacije obradnih procesa

Jedan od centralnih problema u obradnim procesima na području proizvodnog mašinstva predstavljaju optimizacioni procesi, čiji je zadatak, da odvijanje procesa obrade iz prostora mogućih rješenja usmjere u područje rješenja, koje će obezbijediti maksimalne tehnološke i ekonomske efekte obradnog procesa /2/. /3/.

Ovim problemima u posljednjih tridesetak godina posvećena je velika pažnja i op-

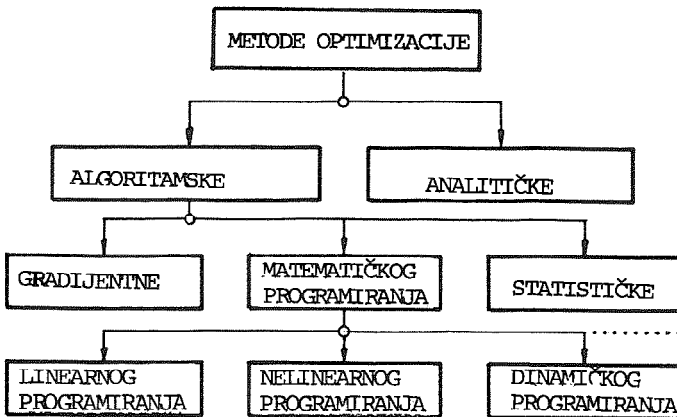
timizacioni procesi su obuhvatili praktično sva područja ljudske djelatnosti. Naročito brz razvoj optimizacionih metoda i postupaka omogućio je razvoj i usavršavanje digitalnih računara čije su mogućnosti na ovom području praktično neograničene.

Razvoj nekih disciplina u domenu vojne nauke kao što su: vazduhoplovna industrija, kosmička i raketna tehnika i tehnologija i dr., zahtjevale su i zahtjevaju nove pristupe u pogledu odvijanja obradnih procesa, teorije automatskog upravljanja i drugih postupaka, koji se oslanjaju na optimizacione procese.

Na polju teorije optimizacije razvijeno je više metoda koji u manjoj ili većoj mjeri rješavaju određene probleme, sa velikom ili dovoljnom tačnošću za uspješno odvijanje procesa.

Klasifikacija metoda optimizacije u suštini predstavlja složeniji problem nego što na prvi pogled izgleda, jer su se pojedine metode i postupci razvijali nezavisno jedna od druge, pri čemu su se koristili različiti matematički postupci.

Takav pristup imao je za posljedicu određene sličnosti i preklapanja, te se bilo koja klasifikacija treba smatrati uslovnom. Imajući u vidu iznesene primjedbe, na slici /2/ prikazan je pregled optimizacionih metoda /4/.

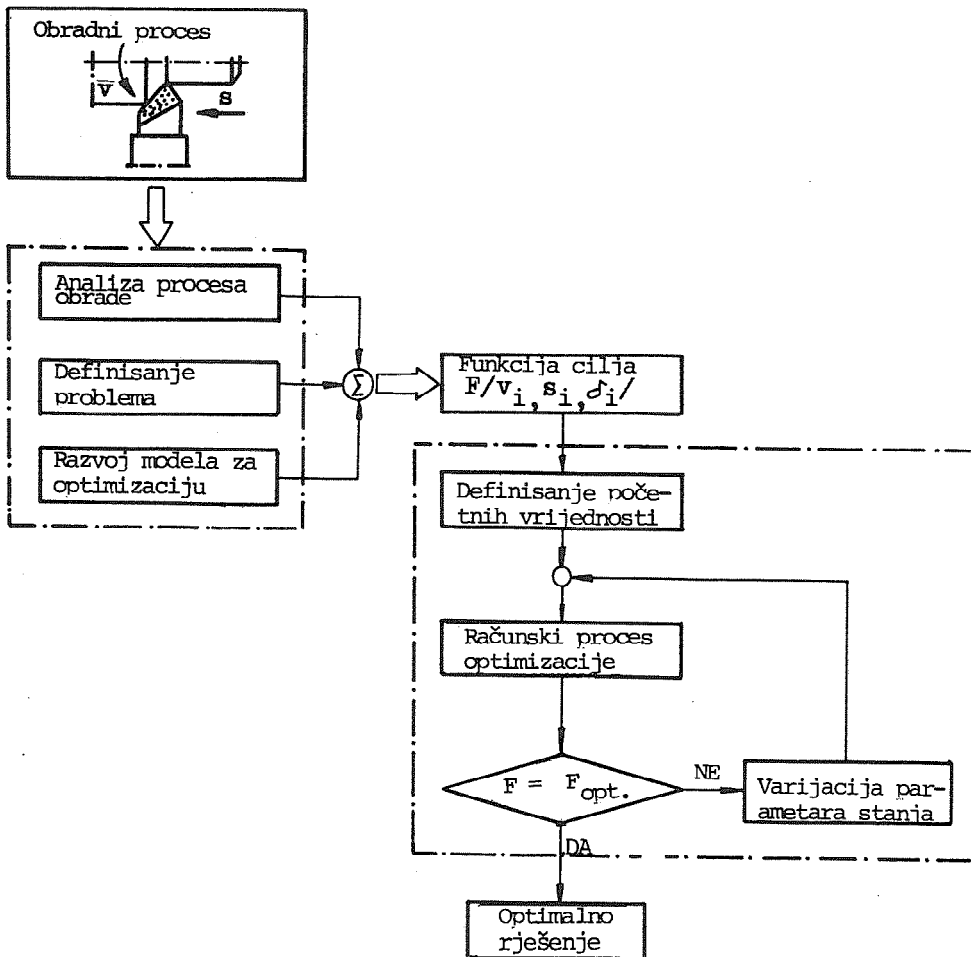


Slika /2/. Pregled optimizacionih metoda.

Iz pregleda proizilazi da se optimizacione metode u osnovi dijele na analitičke i algoritamske. I ovu podjelu treba takodje shvatiti uslovno, jer se u najviše

slučajeva u optimizacionim procesima koriste istovremeno obe. Naprimjer, kada u postupku optimizacije analitičke metode grade složene funkcije u kom slučaju računski proces postaje neefikasan, optimizacioni proces se nastavlja algoritamskim metodama i slično.

Gledano sa stanovišta optimizacije obradnih procesa pri obradi rezanjem na klasičnim i NC mašinama, mogu se sa određenim stepenom efikasnosti koristiti sve iznešene metode.



Slika /3/. Algoritam optimizacije obradnog procesa pri obradi rezanjem.

Polazeći od činjenice da pri obradi na numerički upravljanim alatnim mašinama obradni procesi po pravilu grade složene nelinearne modele, u okviru istraživanja\* stvoren je jedan pristup optimizacije metodom nelinearnog optimiranja za koji je razradjen algoritam i razvijen sistem programa za optimizaciju na računaru.

Na slici /3/ prikazan je opšti algoritam optimizacije obradnih procesa pri obradi rezanjem sa nekim karakterističnim fazama.

Kada se govori o optimizacionim metodama nelinearnog programiranja treba istaći, da iste grade dvije osnovne grupe:

- a) Metode nelinearnog programiranja bez ograničenja i
- b) Metode nelinearnog programiranja sa ograničenjima.

METODE NELINEARNOG PROGRAMIRANJA BEZ OGRANIČENJA FUNKCIJA /Sa derivacijama/			
1.	Najbržeg spusta	8.	Pearson-a 3.
2.	Newton-a	9.	Projek.Metod Newton-a
3.	Greenstadt-a	10.	Projek.metod Zautendijk-a
4.	Marquardt-a	11.	Fletcher-a
5.	Broyden-a rang 1.	12.	Fletcher-Reeves-a
6.	Davidon-a Fletcher- er-a Powell-a	13.	Greenstadta i Goldfarb-a
7.	Pearson-a 2.	:	.....

METODE NELINEARNOG PROGRAMIRANJA SA OGRANIČENJIMA FUNKCIJE CILJA			
1.	Apioksimir, programi- ranje	7.	Metod dopustivih pravaca
2.	POP	8.	Metod usmjerenog gradijenta
3.	NLP	9.	Rosenbrock/Metod kaznenih funkcija/
4.	Rosen-a/Projekc. gradijenta/	10.	Davidon-a/Metod kaznenih funkcija/
5.	Davidon-Fletcher- Powell/pr.gradij./ -	11.	Kombinovani metod kaznenih funkcija
6.	Gener.gradij.metod /Cross i kephart/	12.	Metode direktnog pretraživanja

Slika /4/ Optimizacione metode nelinearnog programiranja,

\* Doktorska disertacija autora u toku



Osnovna razlika između navedenih grupa sastoji se u tome što se metode bez ograničenja funkcije cilja, zasnivaju na korištenju derivacija, dok metode druge grupe koriste projektivne metode i metode direktnog pretraživanja.

Na slici /4/ prikazana je podjela i pregled metoda nelinearnog programiranja.

Grupa metoda optimizacije direktnog pretraživanja, u kom slučaju nije potrebno izračunavati parcijalne izvode da bi se odredio minimum nelinearne funkcije sa više varijabli /5/. /6/, sačinjavaju:

- metod direktnog pretraživanja po koord. osama,
- postupak po Heokeu i Jeevesu,
- postupak po Powellu,
- metode Neldera i Meada,
- metod Paviani - Himmelblau.

### 3. Model i metod optimiranja

Optimizacija obradnih procesa obuhvata; definisanje optimizacionog modela, izbor metode i strategije optimizacije i realizaciju optimizacionog procesa na računaru.

Za određivanje modela optimizacije postoji više kriterija, ali zajedničke podloge i zahtjevi su isti, a one se sastoje u tome, da odabrani model obuhvata karakteristike obradnog procesa.

Optimizaciju procesa obrade moguće je sprovesti sa stanovišta minimalnih troškova, maksimalne proizvodnosti i nekih drugih kriterija. Optimizacija se najčešće izvodi preko kriterija troškova, što je i pri ovom radu korišteno.

Istraživanja čiji je ovaj rad samo jedan segment, usmjerena su na optimizaciju parametara obrade na obradnim centrima kao NC\*mašinama sa visokim stepenom koncentracije operacija obrade i automatizacije.

Pošlo se od postavke, da će obradni proces u cjelini biti optimalan, ako su sve etape obradnog procesa optimalne. Drugim riječima, to znači, da na svakoj etapi procesa treba odrediti parametre obrade  $\{v, s, d\}$  koji će vodeći računa o funkcijama ograničenja minimizirati troškove elementarnih operacija pojedinih vrsta obrade. U okviru istraživanja razvijeni su programi za optimizaciju pomoću računara za slijedeće vrste obrade: struganje, bušenje, glodanje, razvrtanje i rezanje navoja,

\* Pod pojmom NC misli se na sve nivoe upravljanja /NC, CNC, .../

pojedinačno i poseban program za optimizaciju na obradnim centrima.

Isto tako, pri formiranju funkcije troškova pošlo se od postavke, da se troškovi obrade na NC mašinama sastoje od tri grupe troškova. Troškova opreme, radne snage i troškova alata.

U prvu grupu spadaju: troškovi NC mašine, mašine za podešavanje alata, mašine za oštrenje alata, opreme za programiranje i optimiranje i opreme za simulaciju obradnog procesa.

Drugu grupu sačinjavaju troškovi: Pripreme alata i NC mašine, podoštravanja alata, podešavanja alata "unaprijed", optimiranja, programiranja, simulacije obradnog procesa, troškovi posluživanja NC mašine, ..

Treću skupinu čine troškovi vezani za alat i obuhvataju: nabavku alata, skladištenje, upravljanje alatom, zatim troškove alata u funkciji parametara obrade, troškove nosača i držača alata i dr., svedene na troškove alata po periodu postojanosti.

Polazeći od iznijetih postavki, model troškova pri obradi struganjem na NC mašini naprimjer, nakon određenih transformacija ima oblik:

$$K = \text{CMR} \sum_{i=1}^n T_{pi} + \frac{\text{CMR}}{318} \left[ \sum_{i=1}^n \frac{C_{1i}}{v_i s_i d_i} + \sum_{i=1}^n C_{2i} v_i^{\frac{1}{m}-1} s_i^{\frac{1}{m}-1} d_i^{\frac{1}{m}-1} \right] \quad /1/.$$

u kome su:

$K$  = troškovi obrade

$\text{CMR}$  = izraz koji obuhvata troškove ukupne opreme i rada /ovdje se radi obimnosti neće razvijati/,

$$C_{1i} = D_i L_i a_i \quad \text{ i } \quad C_{2i} = \frac{D_i L_i a_i}{C_v^{\frac{1}{m}} / m} / t_{si} + \frac{C_{ai}}{\text{CMR}} \quad - \text{konstante u}$$

$i$  - tom optimizacionom prolazu,

$C_{ai}$  - troškovi alata po periodu postojanosti /din./per.post./,

$t_{si}$  - vrijeme zamjene istrošenog alata u/min/,

$n$  - broj alata u obradi

$k_i$  - popravni faktori,

$C_v$  - konstanta uslova obrade

$V_i$  - brzina rezanja  $i$ -tog alata u obradi u/m/min/,

$s_i$  - pomak i-tog alata u obradi, koji se transformiše u brzinu pomoćnog kretanja u /mm/min/,

$d_i$  - dubina rezanja i-tog alata u /mm/,

$a_i$  - dodatak za obradu na i-toj operaciji u /mm/,

$T_{pi}$  - suma pomoćnih vremena na i-toj operaciji u /min./,

$m, x$  i  $y$  - eksponenti obradivosti

U procesu obrade, što će reći u optimizacionom postupku, određene vrijednosti ostaju konstantne i nemaju uticaj na proces optimizacije, te bi funkcija cilja čiji se minimum traži u našem slučaju imala oblik:

$$\text{Min. } F/v_i, s_i, d_i / = \text{Min.} \left( \sum_{i=1}^n \frac{C_{1i}}{v_i s_i d_i} + \sum_{i=1}^n C_{2i} v_i^{\frac{1}{m}-1} s_i^{\frac{y}{m}-1} d_i^{\frac{x}{m}-1} \right) \quad /2/.$$

Kao što se vidi funkcija cilja u kojoj su varijable  $/v_i, s_i, d_i/$  predstavlja nelinearan optimizacioni model i za istu i slične funkcije, razvijeni su programi za optimizaciju na računaru. Konstante  $C_{1i}$  i  $C_{2i}$  su zadržane u funkciji cilja radi izračunavanja troškova na i-toj etapi obradnog procesa.

Centralni procesorski program može da rješava ne samo prikazani model, nego i bilo koju nelinearnu funkciju sa znatno većim brojem varijabli i ograničenjima u vidu jednačina i nejednačina, koje mogu biti linearne i nelinearne.

U ovom slučaju razumije se, potrebne su izvjesne intervencije u program radi adaptacije na određeni model, uvodjenje i izlaz informacija, ograničenja itd.

Pri optimizaciji uzeta su u obzir ograničenja koja karakterišu pojedine vrste obrade koja ovdje ne možemo razmatrati.

Ilustracije radi, prikazan je dio programa za optimizaciju na računaru UNIVAC.

```
98 SUBROUTINE PROB
99 DIMENSION X(50),X1(50,50),X2(50,50),R(100),SUM(50),F(50),SR(50),
00 1 ROLD(100), H(50)
01 COMMON NX,NC,NIC,STEP,ALFA,BETA,GAMA,IN,INF,FDIFER,SEQL,K1,K2,
02 1K3,K4,K5,K6,K7,K8,K9,X,X1,X2,R,SUM,F,SR,ROLD,SCALE,FOLD
03 COMMON LFEAS,L5,L6,L7,L8,L9,R1A,R2A,R3A
04 COMMON/T1/ M,XT,Y,CV,TE,KVP,YF1,XF1,P,ETA,CF1,VS,YF3,XF3,PS,
05 1ETAS,CF3,KF3,FA,EA,BI,HI,KF1,LI,KFP,FP,EP
06 COMMON/T2/ DPI,LPI,RT,HT,D,AT,DELMIN,TR,C2,C3
07 ENTRY PROB1
08 1 CONTINUE
09 GO TO 5
10 ENTRY PROB2
11 2 CONTINUE
12 R(1)=-X(1)*(X(2)**Y)*(X(3)**XT)+((CV*KVP)/(TE**M))
13 R(2)=-X(1)*(X(2)**YF1)*(X(3)**XF1)+((6120.*P*ETA)/CF1)
14 R(3)=-VS*(X(2)**YF3)*(X(3)**XF3)+((6120.*PS*ETAS)/(CF3*KF3))
15 R(4)=-X(2)**YF1)*X(3)**XF1+(FA*EA*BI*HI**3.)/(CF1*KF1*40.*LI**3.)
16 R(5)=-X(2)**YF1)*(X(3)**XF1)+((KFP*FP*EP*DPI)/(CF1*KF1*LPI**3.))
17 R(6)=-X(2)+(8.*RT*HT)**0.5
18 R(8)=X(1)-0.012
19 R(9)=X(1)-(D*20.)/318.
20 R(10)=-X(1)+(D*2800.)/318.
21 R(11)=X(3)-DELMIN
22 R(12)=-X(3)+AT
23 GO TO 5
24 ENTRY PROB3
25 3 CONTINUE
26 R(13)=G2/(X(1)*X(2)*X(3))+C3*(X(1)**(1./M-1.)*(X(2)**(Y/M-1.)*X(3)
27 1*(XT/M-1.)))
28 5 RETURN
29 END
```

Dio programa za optimizaciju na računaru.

#### 4. Zaključak

Na osnovu razmatranja u radu mogu se izvesti slijedeći zaključci:

- a) Imajući u vidu trend razvoja i primjene NC mašina, potrebno je učiniti više napora za razvoj optimizacionih procesa koji će obezbijediti maksimalne tehnokonomske efekte obrade,
- b) Istraživanja u okviru rada su pokazala da je pri optimizaciji kompleksnih oblika obrade kao što je obrada na NC mašinama neophodna primjena računara.

#### R e f e r e n c e

- /1/. Koschnick G., Meyer E., Rohs H., Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen, Akademie Esslingen 1977.
- /2/. Stanić J., Matematičke osnove tehnokonomske optimizacije obradnih procesa, Beograd 1976.
- /3/. Mečanin V., Prilog analizi obrade složenih struktura na NC mašinama, XIII savjetovanje proizvodnog mašinstva B.Luka 1979.
- /4/. Gavrilov A.N., Osnovi tehnologiji priborostroenija, Moskva "Visčaja škola" 1976.
- /5/. Paviani D., Himmelblau D.M., Operations Res., 17 (1969).
- /6/. Turk S., Budin L., Analiza primjenom računala, školska knjiga - Zagreb, 1978.

V.Mečanin

#### EIN MODELL DES BEARBEITUNGSVORGANGS AUF DEN NC MASCHINEN

Der Bearbeitungsvorgang auf den Werkzeugmaschinen mit der numerischen Steuerung hat seine Spezifität in Verhältniss zur klassischen Werkzeugmaschinen und deshalb fordert er die entsprechende Zugänge für die Projektion und Optimierung.

In dem Werk wird über den Zugang und einem Modell der Optimierung des Bearbeitungsvorgangs auf den NC Maschinen mit der Methode der nichtlineare Programmierung gesprochen.

XIV SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, ČAČAK 1980.

M. Kaplarević, R. Dimitrijević<sup>\*)</sup>

PRILOG TEHNOLOGIJI BUŠENJA HARTIJE <sup>\*\*)</sup>

1. Uvod

Tehnologija obrade hartije nije dovoljno obradjena u stručnoj literaturi. To se odnosi i na performaciju hartije bušenjem otvora pomoću specijalne burgije cevastog oblika, što je predmet ovog rada.

Ovaj rad proistekao je iz istraživanja tehnologije i razvoja specijalne bušilice za poništaj pohabanog papirnog novca za potrebe Narodne banke Jugoslavije.

Osnovni problem u osvajanju ove tehnologije bio je optimizacija režima bušenja i geometrije burgije pri bušenju dubokih otvora većeg prečnika u novčanom papiru.

Rezultati istraživanja su verifikovani na izvedenim bušilicama i mogu biti interesantni za šire korišćenje pri bušenju drugih vrsta papira.

---

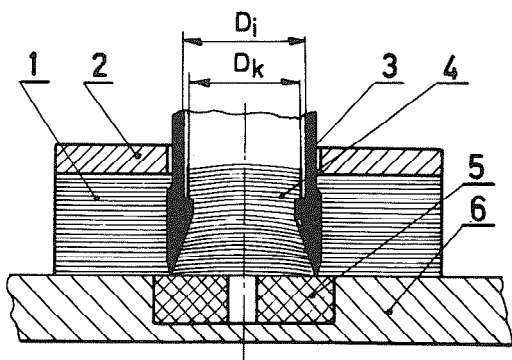
<sup>\*)</sup> Miloš Kaplarević, dipl.inž., samostalni saradnik Instituta za alatne mašine, IAMA, Beograd.

Relja Dimitrijević, dipl.ecc, Naročna banka Jugoslavije

<sup>\*\*)</sup> Saopštenje iz Instituta za alatne mašine i alate, Beograd, predstavlja deo integralnog projekta RAZVOJ I OPTIMIZACIJA PROIZVODNIH SISTEMA - ROPS, u čijem finansiranju učestvuje Republička zajednica nauke Srbije i privredne organizacije.

## 2. Osnovne karakteristike procesa bušenja hartije

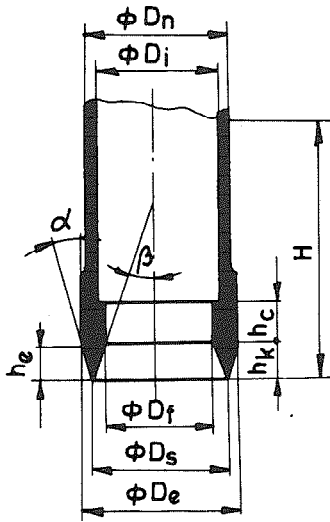
Hartija se buši isključivo u pravcu -ormale na ravan lista i to bez stvaranja strugotine u procesu bušenja.



Sl. 1. Skica bušenja hartije:

- 1.- paket hartije,
- 2.- stezač i vodjica,
- 3.- burgija, 4.- konfete,
- 5.- gumeni umetak i 6.- sto.

Kako je prikazano na slici 1, bušenje kružnog otvora u paketu hartije 1 vrši se pomoću cevaste burgije 3 sa konusnim vrhom, koja ima obrtno i aksijalno kretanje sa pomakom  $S$  po obrtaju. Paket hartije stegnut je potisnom pločom 2 na sto 6 u kome je postavljen gumeni uložak 5 radi zaštite sečiva pri izlazu burgije iz hartije. Kod bušenja otvora veće dubine, potisna ploča 2 služi istovremeno i kao vodjica za navodjenje burgije pri ulasku u hartiju. U toku bušenja formira se u otvoru burgije stub konfeta čiji je prečnik  $D_k$  manji od prečnika otvora burgije  $D_i$ . Stub konfeta koji se formira pri prodiranju burgije u hartiju odvodi se kroz burgiju do vretena na koje se ona priključuje, gde se konfete izvođe napolje kroz radijalno izveden otvor. Kod novijih rešenja bušilica konfete se odvođe kroz otvor u osovini pogonskog elektromotora na koju je burgija direktno pričvršćena.



Sl. 2. Skica burgije: -  $D_e$ -spoljašnji prečnik glave;  $D_s$ -prečnik sečiva;  $D_f$  i  $h_c$ -prečnik i dužina otvora za formiranje konfeta;  $D_i$ -prečnik otvora burgije,  $D_n$ -nazivni spoljašnji prečnik burgije;  $\alpha$  i  $h_e$ -ugao i dužina spoljašnjeg konusa;  $\beta$  i  $h_k$ -ugao i dužina unutrašnjeg konusa i  $H$  - dubina bušenja.

Formiranje stuba konfeta sa prečnikom  $D_k < D_i$  neophodan je uslov koji moraju zadovoljiti burgije za bušenje otvora veće dubine pri  $H > 6 D_n$ . Ovo se postiže specijalnom burgijom čija je skica prikazana na slici 1. Sečivo prečnika  $D_s$  formira se na preseku spoljašnjeg i unutrašnjeg konusa, sečene konfete potiskuju se u toku bušenja kroz unutrašnji konus, dobijajući sferni oblik zbog smanjenja prečnika. Nakon prolaska kroz otvor  $D_f$ , koji služi za kalibriranje konfeta i kao rezerva za oštrenje, konfete prodiru u otvor  $D_i$ , pri čemu se prečnik konfete povećava na  $D_k$ . Prema tome, razlika prečnika  $D_k - D_f$  predstavlja elastičnu relaksaciju konfete i  $D_s - D_k$  plastičnu deformaciju konfete.

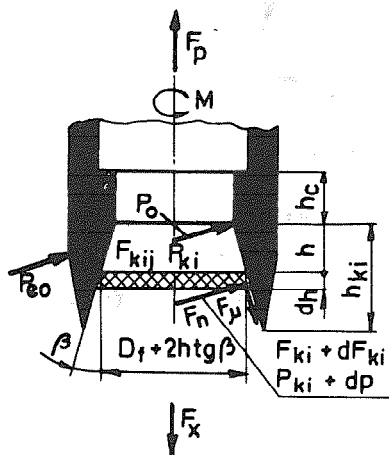
Geometrija burgije za otvore manjeg prečnika i manje dubine razlikuje se od geometrije prikazane na slici 2. One nemaju spoljašnji konus na vrhu, a prečnik  $D_f$  prelazi preko blagog konusa na prečnik  $D_i$  na dužini  $H$ .



### 3. Analiza geometrije burgije i otpora rezanja

Hartija je anizotropan materijal sa složenim fizičko-hemijskim svojstvima, koje se znatno menjaju pod dejstvom vlažnosti, temperature i mehaničkog delovanja. Ovo ima znatnog uticaja na proces bušenja.

Rezultati ispitivanja otpora bušenja papirnog novca ukazali su da na njega dominantan uticaj ima trenje, te je na ovoj pojavi baziran fizičko-matematički model za analizu i optimizaciju geometrije burgije.



Sl. 3. Otpori rezanja.

Na burgiju deluju: otpor obrtanja burgije  $M = M_o + M_v$  ( $M_o$  - moment usled trenja na omotaču burgije i  $M_v$  - moment usled trenja čelu burgije), otpor prodiranja  $F_p = F_i + F_e$  ( $F_i$  - otpor prodiranja stuba konfeta,  $F_e$  - otpor prodiranja burgije usled trenja na spoljašnjem omotaču) i  $F_v$  otpor izvlačenja burgije iz izbušenog otvora usled trenja na spoljašnjem omotaču.

Konfete se skupljaju klizeći duž unutrašnjeg konusa, te se usled otpora deformaciji na kraju konusa javlja pritisak  $P_o$  na njegovu površinu. Takođe, usled širenja otvora zbog prodiranja spoljašnjeg konusa javlja se na njegovom kraju pritisak  $P_{oe}$ . Obe deformacije su u zoni plastičnosti, s tim što je komponenta plastične deformacije više izražena na unutrašnjem konusu, dok je na spoljašnjem konusu veće temperaturno opterećenje na tarnoj površini.

Za ove pritiske usvojena je linearna zavisnost od stepena redukcije preseka:

$$P_o = K_c \left( 1 - \frac{D_f^2}{D_s^2} \right) \quad (1)$$

$$P_{oe} = K_e \left( 1 - \frac{D_s^2}{D_n^2} \right) \quad (2)$$

Koeficijenti linearnosti,  $K_c$  - specifični otpor sabijanja stuba konfeta i  $K_e$  - specifični otpor širenja otvora određeni su eksperimentalno.

Takodje je usvojena pretpostavka o ravnomernom rasporedu pritiska u poprečnom preseku konusa, ma da to odstupa od realnog modela zbog unutrašnjih otpora u stubu konfeta. Detaljnija analiza praktično nije ostvarljiva zbog disperatnih fizičko-hemijskih svojstava hartije, a nije ni neophodna radi tačnosti proračuna otpora bušenja.

U posmatranom poprečnom preseku konusa na rastojanju  $H$  deluje otpor  $F_{ki}$  i pritisak  $P_{ki}$  koji se prenosi na zid konusa zbog prisutne elastično-plastične deformacije konfete. U preseku na rastojanju  $dh$  otpor je  $F_{ki} + dF_{ki}$  i pritisak  $P_{ki} + dP$ .

Usvajajući pretpostavku da je priraštaj sile  $dF$  usledio zbog sile trenja biće

$$F_{ki} + \frac{dF_n \mu_o}{\cos \beta} = F_{ki} + dF_{ki},$$

$$dF_{ki} = \frac{dF_n \mu_o}{\cos \beta}$$

$$\text{Kako je } dF_n = P_{ki} d\lambda = P_{ki} (D_f + 2htg\beta) \frac{\int dh}{\cos \beta}$$

$$\text{i } dF_{ki} = A_p dP = \frac{(D^2 + 2htg\beta)^2}{4} \int dP$$

$$\text{biće } \frac{dP}{P_{ki}} = \frac{4\mu_o}{\cos^2\beta} \frac{dh}{D_f + 2htg\beta}$$

Integral diferencijalne jednačine ima oblik

$$P_{ki} = e \left( \frac{D_f + 2htg\beta}{D_f} \right)^{\frac{4\mu_0}{\sin 2\beta}} \quad (3)$$

Kako je za  $h = 0$   $P_{ki} = P_0$ , biće konačno pritisak na konusu

$$P_{ki} = K_c \left( 1 - \frac{D_f^2}{D_c^2} \right) \left( \frac{D_f + 2htg\beta}{D_f} \right)^{\frac{4\mu_0}{\sin 2\beta}} \quad (4)$$

Gornja formula izvedena je pri zanemarivanju uticaja infizitemalne promene stepena redukcije na ravnotežu sila u pomatranom preseku.

Pri konstantnoj razlici  $D_s - D_f = 2\delta$  biće  $\delta = h_k \cdot tg\beta = c \cdot \text{const}$ , pa se dužina konusa  $h_k$  povećava sa smanjenjem ugla  $\beta$ .

Granična vrednost pritiska  $P_{ki}$  ako  $\beta \rightarrow 0$  i za  $h \neq \delta / tg\beta$  biće

$$\lim_{\beta \rightarrow 0} P_0 \left( \frac{D_f + 2htg\beta}{D_f} \right)^{\frac{4\mu_0}{\sin 2\beta}} = P_0 e^{\frac{4\mu_0 h}{D_f}}$$

Ova granična vrednost predstavlja formulu za pritisak na otvoru prečnika  $D_f$

$$P_{ei} = K_c \left( 1 - \frac{D_f^2}{D_s^2} \right) e^{\frac{4\mu_0 h}{D_f}} \quad 0 \leq h \leq h_c \quad (5)$$

Pri postojanju pritiska

$$P_{ci} = P_0 e^{\frac{4\mu_0 h_c}{D_f}},$$

na početku konusa menjaju se početni uslovi u integralu diferencijalne jednačine (3), te je  $C = P_{ci}$ , pa je ukupni pritisak u posmatranom preseku

$$P_i = P_0 e^{\frac{4\mu_0 h_c}{D_f}} \left( \frac{D_f + 2htg\beta}{D_f} \right)^{\frac{4\mu_0}{\sin 2\beta}} \quad (6)$$

Pritisak na čelu burgije za  $h = h_k$  i  $2h_k \cdot tg\beta = 2\delta$  biće

$$P_{imax} = K_c \left( 1 - \frac{D_f^2}{D_i^2} \right) e^{\frac{4\mu_0 h_c}{D_f}} \left( \frac{D_s}{D_f} \right)^{\frac{4\mu_0}{\sin 2\beta}} \quad (7)$$

Unutrašnji otpor prodiranja je

$$F_i = \frac{D_s^2}{4} P_{imax},$$

$$F_i = K_c \frac{D_s^2 - D_f^2}{4} \mu_0 e^{\frac{4 \mu_0 h_c}{D_f}} \left( \frac{D_s}{D_f} \right)^{\frac{4 \mu_0}{\sin 2\beta}}$$

Sila neograničeno raste za  $\beta = 0$  i ima minimum za  $\beta = 45^\circ$ , dok za  $\beta = 90^\circ$  funkcija nema fizičkog smisla zbog granične veličine ugla  $\beta$  usled trenja na konusu.

Da bi bilo moguće klizanje konfeta uz konus mora biti zadovoljena nejednakost za posmatranu elementarnu površinu na konusu

$$F_n \mu_0 \leq F_t \cot \beta$$

pa je najveća vrednost ugla

$$\beta = \arctg \frac{1}{\mu_0}$$

Pri smanjenju ugla  $\beta$  dužina konusa se poveća na  $h = \frac{\delta}{\operatorname{tg} \beta}$ . Kako pritisak duž konusa raste eksponencijalno a površina poprečnog preseka konusa linearno,  $A_k = \delta^2 / 2 \operatorname{tg} \beta$ , naprezanje na istežanje u zidu konusa dostići će pri nekom malom uglu  $\beta$  kritičnu vrednost sobzirom na izdržljivost materijala burgije.

Ukupna sila koja opterećuje zid konusa na istežanje je

$$F = \int_0^{h_k} P_i \, da \cos \beta,$$

te se za  $da = (D_f + 2h \operatorname{tg} \beta) \, dh$  i za  $P_i$  iz (6) dobija sila

$$F = P_0 D_f^2 \frac{\cos^2 \beta}{4 \mu_0 + 2 \sin \beta} e^{\frac{4 \mu_0 h_c}{D_f}} \left[ \left( \frac{D_s}{D_f} \right)^{\frac{\sin 2\beta}{4 \mu_0 + 2 \sin \beta}} \right]$$

Zavisnost sile od ugla  $\beta$  ima komplikovan oblik i nije pogodna za rešavanje po  $\beta$  jednačinom  $F - A_k \sigma_{\text{doz}} = 0$ .

Povoljnije je da se podje od srednje vrednosti pritiska  $P_i$  na konusu, čime se vrši linearna aproksimacija eksponencijalne zavisnosti pritiska u intervalu  $h_c + h_c + h_k$ . Pri tome se za  $\beta = 2^\circ - 15^\circ$  čini greška od 0,5% do 1%, što nema praktičnog značaja za ovu analizu. Iz jednačine (6) dobija se

$$\frac{P_{(h_k)} + P_{(h_c+h_k)}}{2} = \frac{P_0}{2} e^{\frac{4 \mu_0 h_c}{D_f}} \left[ 1 + \left( \frac{D_s}{D_f} \right)^{\frac{4 \mu_0}{\sin 2\beta}} \right]$$

Kako je površina aksijalnog preseka konusa  $A = h_k (D_f + D_s) / 2$  i njegovog zida  $A_k = h_k (D_s - D_f)$ , biće napon istežanja u zidu konusa

$$\tilde{\sigma}_{doz} = \frac{P_o}{2} \frac{D_s + D_f}{D_s - D_f} e^{\frac{4\mu_o h_c}{D_f}} \left[ 1 + \left( \frac{D_s}{D_f} \right)^{\frac{4\mu_o}{\sin 2\beta}} \right] \quad (10)$$

Pritisak na spoljašnjem konusu ne menja se isto kao na unutrašnjem konusu, zbog toga što specifični otpor deformacije istežanja hartije  $k_e$  u zoni otvora ne odgovara specifičnom otporu deformacije pri stezanju konfete, i zbog toga što se pritisak u hartiji u zoni otvora, u pravcu bušenja vrlo malo prenosi u radijalnom pravcu na omotač burgije. Za proračun otpora prodiranja i obrtanja burgije merodavan je pritisak  $P_{oe}$ , nastao usled širenja otvora pri prodiranju burgije,

$$P_{oe} = K_e \left( 1 - \frac{D_s^2}{D_n^2} \right) \quad (11)$$

i pretpostavlja se da je konstantan duž burgije.

Polazeći od gornje zavisnosti, dobijen je moment sile trenja na omotaču.

$$M_o = \frac{1}{2} P_{oe} D_n^2 \tilde{f}_r H \mu_r \quad (12)$$

gde je  $\mu_r$  kinematički koeficijent trenja na omotaču burgije.

Pored ovog otpora prisutan je moment sile trenja na čelu burgije.

On je izveden pod pretpostavkom ravnomernog rasporeda pritiska

$P_i \max$  iz formule (7) na čelu burgije.

$$M_v = K_e \mu_r D_s (D_s^2 - D_f^2) e^{\frac{4\mu_o h_c}{D_f}} \left( \frac{D_s}{D_f} \right)^{\frac{4\mu_o}{\sin 2\beta}} \quad (13)$$

Otpor deformacije  $k_c$  određen je eksperimentalno na osnovu merenja rezultujućeg momenta sile trenja  $M = M_o + M_v$ .

Analizom eksperimentalnih rezultata utvrđeno je da se izmerene vrednosti rezultujućeg momenta  $M$  smanjuju u odnosu na proračunate po formulama (12) i (13) pri povećanju brzine ili smanjenju pomaka.

Zbog toga je, polazeći od formule (13) i usvajajući pretpostavku o linearnoj zavisnosti momenta  $M_o$  od specifičnog energetskog opterećenja na omotaču burgije, dobijena empirijska formula

$$M_o = \frac{1}{2} P_o D_n^2 \sqrt{H} \mu (1 - B P_{oe} V_o / s) \quad (14)$$

gde su: B - eksperimentalna dimenziona konstanta,  $E_s = P_{oe} V_o / s$  - specifično energetsko opterećenje,  $V_o$  - obimna brzina burgije i s - korak burgije.

Gornja formula važi za  $P_{oe} V_o / s \leq 1$ . Iz ovog razmatranja može se zaključiti da postoji kritično specifično energetsko opterećenje  $E_{s \text{ krit}}$ , pri kome dolazi do samozapaljenja hartije u trajnoj zoni, zbog slabog odvodjenja toplote koje karakteriše ovaj postupak bušenja. Za eksperimentalno određenu konstantu  $E_{s \text{ krit}}$  moguće je proveriti da li usvojeni parametri režima obrade zadovoljavaju u pogledu samozapaljenja hartije.

Spoljašnja sila prodiranja pri maloj obimnoj brzini burgije je  $F_e = P_{oe} D_n \sqrt{H} \mu$ . Polazeći od ove analitičke zavisnosti, analognu prethodnom razmatranju, dobijena je empirijska formula

$$F_e = P_{oe} D_n \sqrt{H} \mu (1 - D P_{oe} V_o / s) \quad (15)$$

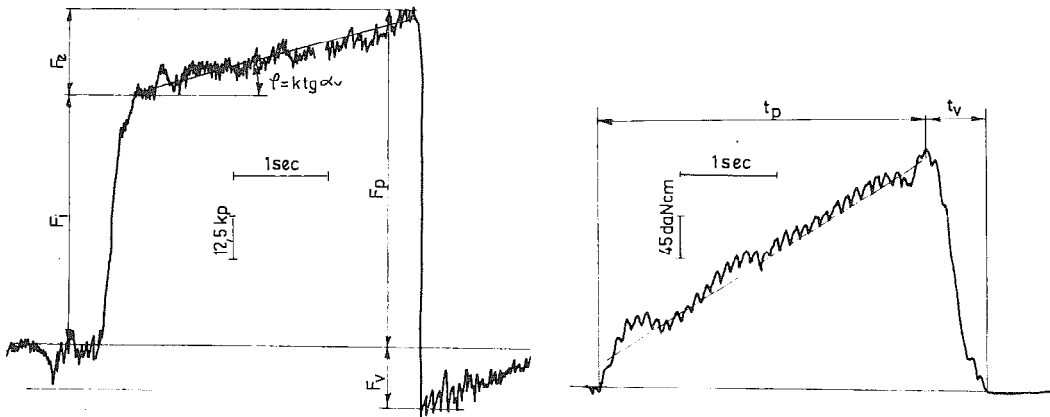
gde je D - empirijska dimenziona konstanta.

Formula daje empirijsku zavisnost spoljašnje sile prodiranja od specifičnog energetskog opterećenja u trajnoj zoni i važi za  $D P_{oe} V_o / s \leq 1$ .

Na osnovu sračunatog ukupnog otpora prodiranja  $F_u = F_i + F_e$ , rezultujućeg momenta  $M = M_o + M_u$  proverava se na poznat način složenno naprezanje u korenu burgije za usvojen materijal burgije i prečnike  $D_n$  i  $D_i$ .

#### 4. Razvoj bušilice za poništaj papirnog novca.

Idejnim tehnološkim rešenjem predvidjen je poništaj novčanica bušenjem dva simetrično rasporedjena otvora na novčanici na stonjoj bušilici koja prihvata paket od 1.000 novčanica.



Sl. 4. a) Vremenska funkcija ukupnog otpora prodiranja  $F_p$   
 b) Vremenska funkcija rezultujućeg momenta  $M$

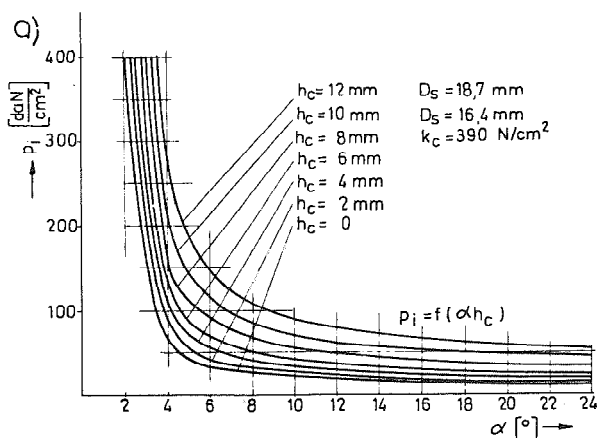
Razvoj tehnološkog rešenja obuhvatio je ispitivanje otpora rezanja, optimizaciju geometrije burgije i razvoj specijalne bušilice na osnovu utvrđenih parametara režima obrade. Merenje otpora rezanja sa probnom burgijom izvršeno je na radijalnoj bušilici.

Vremenski dijagrami otpora prodiranja  $F_u = F_u(t)$  i rezultujućeg momenta  $M = M(t)$  dati su na slici 4. Karakterističan oblik primene ukupnog otpora prodiranja omogućio je merenje njegovih komponenti  $F_i$  i  $F_e$ .

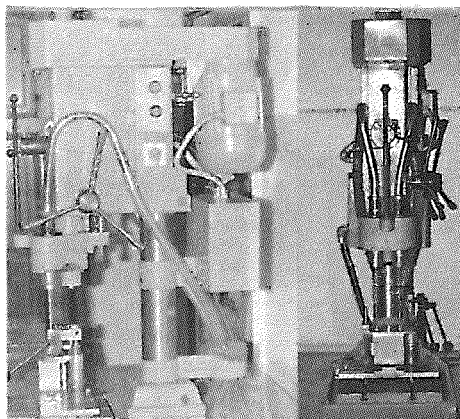
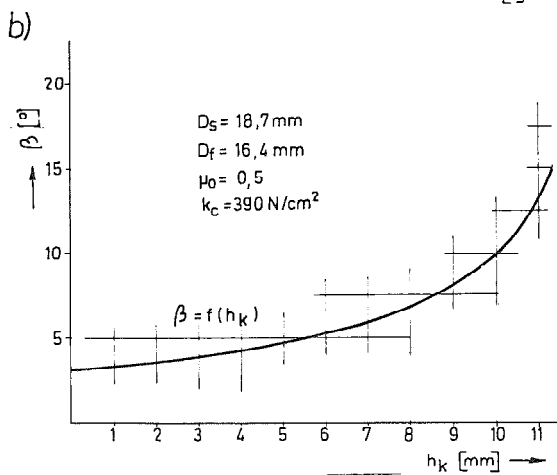
Na osnovu iznetog teorijskog razmatranja, primenom statističke matematičke metode, određene su vrednosti sledećih eksperimentalnih konstanti i veličina:

- $k_c = 390 \text{ N/cm}^2$  - specifični otpor deformacije pri radijalnom sabijanju konfeta,
- $k_e = 2040 \text{ N/cm}^2$  - specifični otpor deformacije pri istezanju novčanog papira,
- $B = 1,2 \times 10^{-2}$  - dimenziona konstanta  $M$  za  $P_{0e} [\text{N/cm}^2]$   $V_0 [\text{m/min}]$  i  $s [\text{mm/o}]$
- $D = 5,1 \times 10^{-2}$  - dimenziona konstanta  $F_e$  za  $P_{0e} [\text{N/cm}^2]$   $V_0 [\text{m/min}]$  i  $s [\text{mm/o}]$
- $E_s \text{ krit} = 44,35 \text{ W/cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{mm}$ .

Optimizacija geometrije obuhvatila je geometrijski oblik i dimenzije burgije.



Na slici 5. prikazan je dijagram unutrašnjeg pritiska  $P_i = f(h_c)$  prema (6) i kritične veličine ugla unutrašnjeg konusa  $\beta = f(h_k)$  prema (10), na osnovu čega su usvojene dimenzije i uglovi burgije. Za pravilno formiranje konfete mora biti zadovoljen uslov  $D_s = (2D_n + D_f)/3$  i  $D_i = 1,1 D_f$



Sl. br. 5.

Sl.br.6.

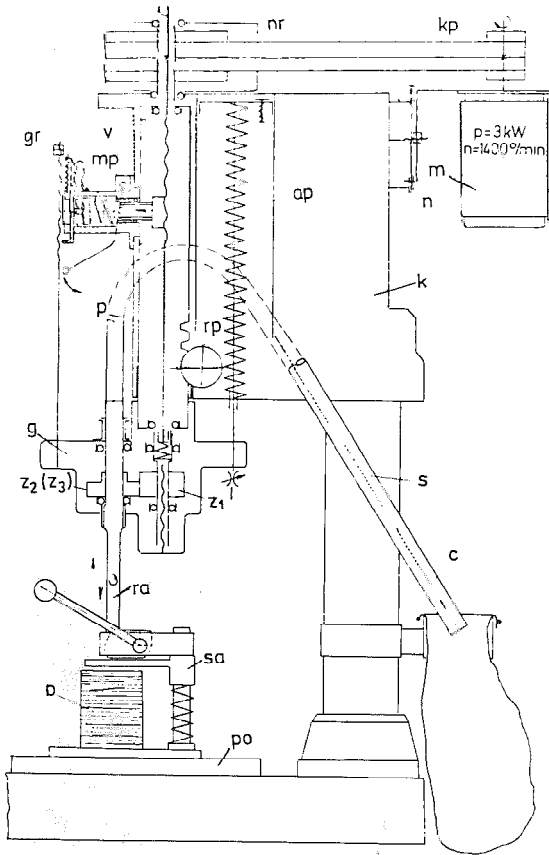
- a) dijagram unutrašnjeg pritiska  $P_i$   
 b) dijagram kritičnog ugla  $\beta$

Izgled izvedene bušilice BK-20

Izvedena bušilica za poništavanje papirnog novca prikazana je na slici 6. Ona omogućuje varijantna izvodjenja za siru primenu.



Specijalna bušilica izvedena je kao stona sa poluautomatskim računim ciklusom.



Sl. br. 7. - kinematska šema bušilice: m - motor, n-nosač motora, kp-kaišni prenosnik, nr-nosač remenice, p-pinola, v-radno vreteno, mp-mehanizam pomaka, gr-graničnik hoda, ap-amortizer sa povratnikom, d-dvovretena glava, ra-rezni alat, sa-stezni alat, po-po stolje, s-stub, k-kućište, rp-ručni pomak, c-plastično crevo i b-bunt.

Ona ima dvovretenu glavu (g) koja buši pomoću burgija ra dva simetrično raspoređena otvora u paketu novčanica stegnutom u alat (sa). Automatizacija računog ciklusa obezbeđena je mehanizmom pomaka (mp) koji ukopčava jednodelnu navrtku sa navojnim vretenom (v) pinole. Vraćanje glave u gornji položaj izvedeno je pomoću zavojne opruge sa pneumatskim amortizerom. Bušilica ima zatvoreni sistem odvodjenja konfeta i radni kapacitet 1,5 - 2,5 miliona novčanica pri radu u jednoj smeni.

## 5. Zaključak

Realizacija ovog istraživanja omogućila je kompleksnije sagledavanje problematike bušenja papira i razvoj tehnologije i opreme za poništaj papirnog novca. Prema informacijama sa kojima raspolaže Narodna banka Jugoslavije ovo je za sada najsavremenije rešenje, što je potvrđeno i interesovanjem stranih kupaca.

Ovim je takodje učinjen skromni doprinos domaćem razvoju grafičke opreme koja se najvećim delom uvozi.

## Literatura

- [1] M.Kaplarević, D. Butorajac, Tehnička dokumentacija bušilice za poništavanje papirnog novca BK-20, Institut za alatne mašine i alate-IAMA, Beograd (1977).

M.Kaplarević, R. Dimitrijević

La contribution la technologie de la persage du papier

Les auteurs ont donné l'analyse theoretique et experimentale de la persage du papier-monnaie. On presente le developpement la special foreuse pour l'annulation du papier-monnaie.



XIV SAVETOVANJE PROIZVODNOG MASINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980.

S.M. Urošević<sup>x)</sup>

PODSTICANJE VEROVATNOĆE GRUPISANJA OBRADAKA U TEHNOLOŠKIM PROCESIMA KROZ RAZVOJ METODA OPERATIVNOG PLANIRANJA

### 1. U v o d

Uslov za korišćenje grupne tehnologije u procesima optimizacije tehnoloških procesa je mogućnost grupisanja operacijski sličnih obradaka na odgovarajućim operacijama (fazama) njihove obrade.

Pod grupisanjem obradaka treba razumeti proces formiranja njihovih aditivnih ili združenih serija u formi "procesnih", odnosno "operacijskih" grupa /1, str.132/. Proces grupisanja je realan ako se obradci, koji po primenjenim metodama njihove klasifikacije pripadaju istim procesnim, odnosno operacijskim grupama, pojavljuju u istom vremenskom terminu na lokacijama odgovarajućih obradnih sistema.

Uspeh primene koncepta grupne tehnologije u realnim uslovima proizvodne prakse zavisi, dakle, od mogućnosti grupisanja operacijski sličnih obradaka. Da bi se proces grupisanja obradaka uspešno mogao da realizuje, neophodno je razviti odgovarajući koncept tehničke pripreme proizvodnje koji se u ovom slučaju odnosi na razvoj odgovarajućih metoda tehnološkog projektovanja, operativnog planiranja i upravljanja proizvodnjom. Naročito je važno da se kroz pripremu proizvodnje obezbedi da se proces grupisanja obradaka odvija po zakonitošću oslobodjene raznih operativnih intervencija, odnosno svakodnevne "prinude" koje proističu iz želje da se po svaku cenu obezbedi formiranje združenih serija obradaka radi istovremene obrade na odredjenim lokacijama. Ovakva težnja može imati i štetne posledice.

Prihvatljiv model grupisanja obradaka u procesima njihove obrade treba kontinualno da reprodukuje celishodno razvijen sistem tehni

1) Dr. Sreten M. Urošević, dipl.ing., redovni profesor Pedagoško tehničkog fakulteta, Čačak, Cara Dušana 34.

čke pripreme proizvodnje. Nesumnjivo je da osnova ovakvog sistema leži na celishodno razvijenim metodama operativnog planiranja i upravljanja tehnološkim procesima. Metode operativnog planiranja treba da obuhvate ona rešenja i postupke u obradi operativno planskih informacija kojima će se stimulirati, odnosno povisiti verovatnoća grupisanja obradaka. Prema tome, verovatnoća grupisanja se može povisiti razvojem metoda tehničke prepreme proizvodnje koje u prvom redu obuhvataju:

- (i) Razvoj i primenu odgovarajućih modela za osnovno operativno planiranje proizvodnje,
- (ii) razvoj i primenu postupka ABC u klasifikaciji obradaka, i
- (iii) razvoj i primenu odgovarajućih modela finog operativnog planiranja (terminiranja), raspodele poslova u pogonu, odnosno upravljanja proizvodnim radnim (lanserskim) naložima.

## 2. Uticaj osnovnog operativnog planiranja na verovatnoću grupisanja obradaka u tehnološkim procesima

Na proces grupisanja obradaka u tehnološkim procesima utiče onaj deo osnovnog operativnog planiranja kojim se regulišu količine, redosled i dinamika izrade pojedinih proizvoda iz osnovnog plana proizvodnog sistema. U fazama osnovnog operativnog planiranja rešavaju se zadaci u vezi sa uskladjivanjem dinamike isporuke proizvoda kupcima s jedne i tehnološko materijalnih mogućnosti proizvodnog sistema s druge strane. Verovatnoća grupisanja obradaka zavisi od načina rešavanja obe grupe zadataka, pri čemu:

- (i) Dinamika isporuke proizvoda kupcima može presudno da utiče na redosled lansiranja u proizvodnju odgovarajućih proizvoda. Podsticanje procesa grupisanja obradaka zahteva zajedničko ili tako redosledno lansiranje onih proizvoda koji su medju sobno više ili manje tehnološki slični, odnosno sadrže u sebi zajedničke sastavne komponente, a zatim komponente koje se mogu izradjivati po sličnim (tipiziranim ili grupnim) tehnološkim procesima.
- (ii) Intenzitet opterećivanja tehnoloških kapaciteta s proizvodnim zadacima ito po pojedinim lokacijama radnih (obradnih) mesta, mora biti ravnomerno izbalansiran. Ovo je najvažniji

uslov koji se mora obezbediti tokom rešavanja druge grupe zadataka. Ovaj uslov često onemogućuje stvaranje kroz sistem operativnog planiranja većih aditivnih (združenih) serija od delova istih procesnih, odnosno operacijskih grupa.

Rešavanje druge grupe zadataka pripada funkciji osnovnog operativnog planiranja. Pri rešavanju ovih zadataka, mogu se ( i treba) da koriste sledeće metode i tehnike:

- (i) Razrada studija i ovladavanje metodologijama u vezi sa realnim odredjivanjem (izračunavanjem) stvarnih dužina proizvodnih ciklusa pri izradi pojedinih finalnih proizvoda u proizvodnom sistemu. Ovi proizvodi često mogu biti veoma složeni te to govori o složenosti ovog zadatka pri čemu se mora voditi i računa o uslovima okruženja u kojima izvršavaju svoje zadatke naši proizvodni sistemi.

Stvarne dužine proizvodnih ciklusa se moraju temeljiti na podacima o obimu i dinamici (poznato vreme i prostor) zadataka koji se moraju obaviti na odredjenim lokacijama obradnih sistema u datom proizvodnom sistemu.

- (ii) Planiranje i otpočinjanje ranije s proizvodnjom niza sitnijih komponenti, dakle komponenti čije su pojedinačne vrednosti relativno male, a naročito one koje su zajedničke za više finalnih proizvoda. Na ovaj se način, na osnovu visoko pouzdanih prognoza tržišta, unapred završava značajan deo proizvodnih zadataka.

Izračunavanje stvarnih i realnih dužina proizvodnih ciklusa za pojedine proizvode je često veoma složen i time odgovoran zadatak. Međutim, bez njegovog poznavanja nema u praksi realnog - kvalitetnog osnovnog operativnog planiranja. Značaj ove delatnosti je izuzetna. Podaci koje daje osnovni operativni plan su osnova za rad svih funkcija proizvodnog sistema koje razradjuju fine operativne planove, otvaraju radne (lanserske) naloge i kontrolišu tokove njihovog izvršavanja.

Rad izračunavanja stvarnih dužina proizvodnih ciklusa, neophodno je razviti odgovarajuće metodologije i tehnike. Osnovne informacije za ovu aktivnost pruža tehnološka dokumentacija na osnovu koje se realizuje proces izrade proizvoda. Ako je ova kvali

tetna, sa izvesnim dopunama relevantnih podataka, izračunavanje dužina proizvodnih ciklusa se može automatizovati kroz primenu elektronskih računara.

Što se tiče planiranja proizvodnje "sitnijih" komponenti unapred, ova mera stavlja pred funkciju osnovnog operativnog planiranja zadatak da prouči podatke u vezi sa :(i) - protočnošću kapaciteta na odgovarajućim lokacijama obradnih sistema, (ii) - mogućnost finansiranja i skladištenja povećanih zaliha poluproizvoda kao i njihovu ekonomsku opravdanost, (iii) - mogućnost snabdevanja s repromaterijalima i sl.

### 3. Klasifikacija obradaka po metodi "ABC" i njen doprinos podsticanju verovatnoće grupisanja

Mera podsticanja grupisanja obradaka pomoću njihove klasifikacije primenom kriterijuma "ABC" je nastavak aktivnosti započetih u okvirima faza osnovnog operativnog planiranja. Ima se u vidu kriterijum klasifikacije delova po njihovoj ceni, odnosno složenosti izradi, pri čemu klasifikacionu oznaku "A" nose osnovni (skupi i složeni) konstrukcioni delovi, oznaku "B" nose srednje složeni, a "C" jednostavni (tipični) delovi.

I kao što se kriterijum "ABC" primenjuje u strategiji planiranja nabavki repromaterijala, odnosno optimizaciji zaliha svih materijala i alata na skladištima proizvodnog sistema, tako se on sa istim ili sličnim motivima treba da primenjuje u operativnom planiranju izrade delova kao elementarnih komponenti mnoštva različitih proizvoda.

Primena kriterijuma "ABC" u toku odredjivanja termina izrade pojedinih serija delova, što znači da se delovi s klasifikacionim oznakama "B" i "C" lansiraju u izradu sa "najranijim" nultim terminom koji često znatno prethodi terminima njihove ugradnje pri montaži odgovarajućih serija proizvoda, čini osnovnu pretpostavku za realno povećanje mogućnosti grupisanja delova u okviru njihovih združenih serija.

### 4. Uticaj metoda finog terminiranja radnih - lancerskih naloga na verovatnoću grupisanja obradaka

Presudan uticaj na verovatnoću grupisanja obradaka imaju prime

njene metode finog operativnog planiranja njihove izrade i kontrola tokova izvršavanja planiranih zadataka. Operativno planiranje treba da obezbedi:

- (i) Grupisanje istih delova klasifikacionih oznaka "B" i "C" iz više proizvodnih serija definisanih osnovnim planom proizvodnje i lansiranje u izradu pomoću jednog radnog - lancerskog naloga,
- (ii) istovremeno lansiranje u izradu svih delova grupa "B" i "C" koji po nekom od poznatih sistema tehnološke klasifikacije pripadaju jednoj procesnoj grupi,
- (iii) terminiranje pojedinih faza izrade delova tako da se njihove faze obrade na pojedinim obradnim (radnim) lokacijama događaju u istom vremenskom periodu (koincidencija po vremenu i prostoru), i
- (iv) obezbedjenje neophodnih organizacionih pretpostavki radi realizacije finih operativnih (terminskih) planova u skladu s planiranim programima.

Ako su napred opisani uslovi zadovoljeni, onda postoje realne osnove za spontano reprodukovanje u sve većem intenzitetu grupisanja obradaka na obradnim lokacijama na kojima se realizuju pojedine faze njihove obrade. Razume se da realizacija koncepta grupne obrade, koja se temelji na mogućnošću grupisanja združenih serija obradaka na obradnim lokacijama (procesne i operacijske grupe obradaka), je uslovljena relevantnim pripremama i na razvoju grupnog koncepta u obradi konstrukcijske i tehnološke informacije, odnosno specifičnog tehnološkog informacionog sistema. Bez ovih pretpostavki, korišćenje koncepta grupne tehnologije je nemoguće u praksi ili se preduzeti parcijalni naponi završavaju u praksi s minimalnim pozitivnim rezultatima.

Fino operativno planiranje i terminiranje tehnoloških procesa u kojima se izrađuju delovi su ključne aktivnosti u lancu tehničke pripreme proizvodnje. Od njih u najvećoj meri zavisi mogućnost primene koncepta grupne obrade u praksi.

U toku izrade finih operativnih planova, odnosno u toku finog - detaljnog terminiranja faza niza procesa za veliki broj pojedinačnih radnih - lancerskih naloga, potrebno je obraditi veoma veliki broj podataka. Da bi podaci bili realni, obrada mora biti ažu



rna što znači da se mora odvijati velikom brzinom i biti završena za što je moguće kraći vremenski period. Zbog toga korišćenje tehnike elektronske obrade podataka pruža realne šanse za rešavanje prethodnog zadatka, te se u nastavku teksta daje osvrt na jedan segment projekta elektronske obrade u fazi finog operativnog planiranja grupne proizvodnje. Ovim segmentom se ilustruje postupak grupisanja procesnih i operacijskih grupa, odnosno stvaraju uslovi za realno povišenje mogućnosti grupisanja.

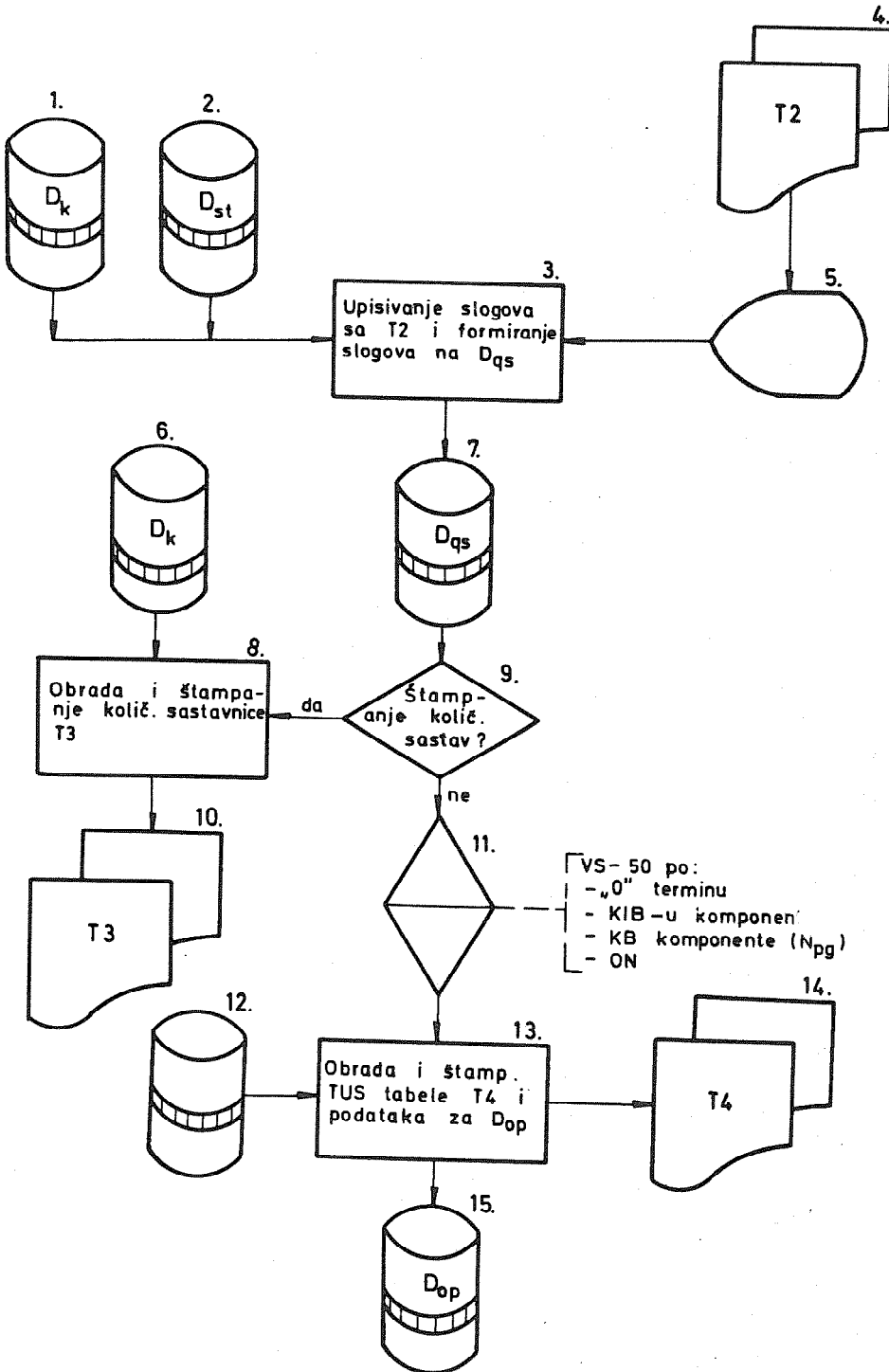
Na slici 1 je prikazana opšta organizacija toka obrade podataka na elektronskom računaru u toku definisanja operativnih radnih - lancerskih naloga.

Karakteristika organizacije obrade podataka prema dijagramu na slici 1 su operacije grupisanja radnih - lancerskih naloga. To čini ovu obradu specifičnom te nije moguće koristiti poznate - razvijene pakete programa za obradu podataka na elektronskom računaru u toku operativnog planiranja i terminiranja komadne proizvodnje.

Osnovne karakteristike obrade podataka u okviru segmenta obuhvaćenim dijagramom na slici 1 je u sledećem:

- (i) Ulazni podaci se uzimaju sa tabele T2. Njihovo unošenje u sistem se ostvaruje po pravilu preko perifernih jedinica ekran skog tipa. Tabela T2 sadrži podatke o osnovnom operativnom planu proizvodnje. Ove podatke obradjuje funkcija osnovnog operativnog planiranja i oni treba da obuhvate što duži vremenski period.
- (ii) Korišćenjem matične datoteke sa specifičnim sadržajem podataka ( $D_k$ ) kao i strukturne datoteke proizvoda ( $D_{st}$ ), vrši se u čvoru 3 obrada slogova za prelaznu - privremenu datoteku ( $D_{qs}$ ) - čvor 7 dijagrama na slici 1.
- (iii) Podaci koje sadrže slogovi datoteke  $D_{qs}$  omogućuju račvanje dalje obrade (čvor 9) radi štampanja količinske sastavnice za svaki proizvod koji je u planu proizvodnje, ili pak radi obrade podataka i štampanja tabele T4 koja sadrži operativne podatke za definisanje radnih - lancerskih naloga.

Sadržaj obradjenih podataka u okviru tabele T4 omogućuje donošenje definitivnih odluka o načinu grupisanja delova u procesne serije.



Sl.1

Naime, treba imati u vidu da podaci u tabeli T4 nisu automatski i operativni. U fazi finog operativnog planiranja, podaci tabele T4 se isključivo koriste radi donošenja definitivnih - operativnih odluka o sadržaju svakog radnog - lancerskog naloga, odnosno na osnovu njih se daju neposredni podaci za ispisivanje lancerske dokumentacije (definiše se za svaki deo broj komada u seriji, od redjuje "nulti" termin za seriju i sl.).

##### 5. Korelacije za opšte numeričke vrednosti verovatnoće grupisanja obradaka

Organizacija obrade podataka prema dijagramu na slici 1 pruža osnovne numeričke podatke na osnovu kojih se može analizirati opšta verovatnoća grupisanja obradaka u procesima njihove izrade u datom proizvodnom sistemu. Naime, u skladu s programom sortiranja podataka koji se štampaju u tabeli T4 (čvor 11 na slici 1), dobijaju se sortirani i sabrani podaci za brojeve delova u klasifikacionim grupama (KB). Ove brojne vrednosti su na dijagramu obeležene sa  $N_{pg}$  i označavaju maksimalne brojeve delova koji se mogu pojaviti u odgovarajućim procesnim grupama u datom vremenu i prostoru.

S druge strane, združena procesna serija sadrži u skupu  $N_{ps}$ , te orijski posmatrano, uvek manji broj delova od broja delova u procesnoj grupi. Razlozi su u nizu smetnji koje deluju na objedinjavanje svih delova jedne procesne grupe u jednu lancersku (procesnu) seriju tokom finog operativnog planiranja proizvodnje. Prema tome, verovatnoća grupisanja obradaka u procesnim serijama, može da se izradi korelacijom:

$$P(N_{ps}) = \frac{N_{ps}}{N_{pg}} \quad (1)$$

U idealnom slučaju je  $P(N_{ps}) = 1$ . Treba očekivati da je  $P(N_{ps}) < 1$  i da se u dobro organizovanoj grupnoj pripremi proizvodnje ova vrednost može kretati u intervalu od 0,7- 0,9.

Pored grupisanja obradaka u procesnim serijama, u proizvodnim procesima nastaje njihovo mnogo značajnije grupisanje u okvirima operacijskih serija. Obzirom na karakter grupnih tehnoloških opera

cija, broj obradaka u makojoj operacijskoj seriji je višestruko veći od broja delova u procesnoj seriji. U skladu s definicijom procesne grupe ( $N_{pg}$ ), procesne serije ( $N_{ps}$ ), odnosno operacijske grupe ( $N_{og}$ ) i operacijske serije ( $N_{os}$ ) - / 1, str.132/, mogu se uspostaviti sledeće korelacije:

$$N_{og} = m_1 \cdot N_{pg1} + m_2 \cdot N_{pg2} + \dots + m_n \cdot N_{pgn} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot N_{pgi} \quad (2)$$

$$N_{os} = m'_1 \cdot N_{ps1} + m'_2 \cdot N_{ps2} + \dots + m'_n \cdot N_{psn} = \sum_{i=1}^n m'_i \cdot N_{psi} \quad (3)$$

odnosno,

$$N_{og} = f(N_{pg1}, \dots, N_{pgn}) \quad (4)$$

$$N_{os} = f(N_{ps1}, \dots, N_{psn}) \quad (5)$$

gde je  $N_{pgi}$  broj delova u korespodentnim procesnim grupama koje parcijalno učestvuju u formiranju skupa obradaka u operacijskoj grupi  $N_{og}$ , a  $N_{psi}$  su brojevi delova u procesnim serijama koje učestvuju u formiranju operacijske serije  $N_{os}$ .

Nakon definisanja korelacija (2) - (5) moguće je definisati i opštu korelaciju za numeričku vrednost verovatnoće grupisanja obradaka u okvirima odgovarajućih operacijskih serija. Ova korelacija ima oblik:

$$P(N_{os}) = \frac{N_{os}}{k \cdot X_s} \quad (6)$$

odnosno,

$$P(N_{os}) = f'(N_{ps1}, \dots, N_{psn}) \quad (7)$$

jer se može uzeti da je za dato vreme i prostor (planski period u definisanom proizvodnom sistemu)  $X_s = \text{const}$  i označava broj obradnih sistema (broj lokacija radnih mesta) kroz koje obradci koji pripadaju datoj operacijskoj seriji prolaze pre nego što dođu na matičnu lokaciju - matična grupna operacija. Koeficijentom  $k$  se vrši popravka broj  $X_s$ . Ovač koeficijent je manji od jedinice. Zavisí od vrednosti faktora protoka i s porastom ovog faktora njegova vrednost opada i obrnuto.

## 6. Z a k l j u č a k

Verovatnoću grupisanja obradaka u procesima njihove grupne obrade, preslikava funkcija (7). Najpovoljnije vrednosti funkcija (7) do

bija s progresivnim rastom njenih članova  $N_{psi}$ . Prema tome, podsticanje verovatnoće grupisanja obradaka na njihovim obradnim lokacijama radi korišćenja metoda grupne obrade mora se rešavati kroz razvoj orgovarajućih metoda operativnog planiranja i upravljanja proizvodnjom. Sa razvojem i sve širom primenom elektronske obrade podataka u toku operativne pripreme proizvodnje u našim uslovima, stvaraju se realne osnove za organizovanje procesa grupisanja obradaka i tako i mogućnosti za značajnu tehnonomsku optimizaciju tehnoloških procesa u kojima se izrađuju delovi.

## 7. Literatura

- /1/ S.M.Urošević, Tipska i grupna tehnologija u metalnoj industriji, Priručnici IAMA br.1 (1967)
- /2/ S.M.Urošević, M.Jocković, B.Vratonjić, Model interaktivnog dijaloga sa ERM u projektu IKGT, Zbornik radova sa V.JUPITER konferencije, Miločer (1979)
- /3/ Grupa autora, JUPITER SYSTEM, Tehnološka banka podataka, Mašinski fakultet - JUR za proizvodno mašinstvo i primenu kompjutera, Beograd (1978).

S.M.Urošević

STIMULATION DER WARSCHANLICHKEIT DER TEILEGRUPPIERUNG IN DER OPERATIONSGRUPPEN DURCH ENTWICKLUNG DER METHODEN DER PRODUKTIONSPLANUNG

Im Artikel wird das Problem der Entwicklung der spezifischen Methoden der Produktionplanung von Gruppenbearbeitung betrachtet. Die Anwendung der Gruppentechnologie fordert die entsprechenden Verfahren in der Tätigkeiten der Technischevorbereitung der Teileherstellung. Die Modelle die in Technischevorbereitung verwendet werden, sollten so akzeptiert werden dass die Warschanlichkeit der Teilegruppierung in der Operationsgruppen stimuliert worden sein wird.

XIV SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980.

Dr D.Zelenović\*  
Mr I.Čosić\*\*

PRILOG RAZMATRANJU MOGUĆNOSTI PRIMENE  
POSTUPAKA GRUPISANJA U PROCESIMA MONTAŽE

1. Uvod

Montaža je poslednja etapa izrade proizvoda složene strukture, u kojoj se sjedinjavaju svi prethodni radovi. Zbog toga pri projektovanju tehnološkog procesa proizvodnje, montaža ima jednu od vodećih (glavnih) uloga.

Kvalitet montažnih radova, značajno utiče na funkcionalnu podobnost proizvoda, ili radnu sposobnost mašine, na pouzdanost, vek trajanja itd.

U svim vidovima proizvodnje, obim montažnih radova je značajan i dostiže (20-50)% ukupnog rada na jednom proizvodu.

U zavisnosti od tipa proizvodnje, udeo montažnih radova u ukupnom vremenu dat je prema tabeli 1:

Tabela 1.

SERIJNOST PROIZVODNJE	Udeo montažnih radova u ukupnom vremenu proizvodnje %
Masovna i velikoserijska	15 - 20
Serijska	20 - 25
Pojedinačna i maloserijska	25 - 40

Istraživanja, vršena na Institutu za industrijske sisteme u Novom Sadu pokazuju da je za različite programe proizvodnje učešće montaže u ukupnom vremenu izrade proizvoda sledeće:

- mašine alatke	31%
- električne mašine od	48 - 77%
- poljoprivredne mašine	22% + (30% zavarivanje)
- metalna galanterija	35%

\* Dr Dragutin Zelenović, redovni profesor, Institut za industrijske sisteme Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu

\*\* Mr Ilija Čosić, asistent, Institut za industrijske sisteme, FTN-a N.Sad

Ako se još zna podatak da u troškovima proizvodnje, montaža učestvuje sa oko 70% onda su postupci grupisanja u uslovima nižih tipova proizvodnje jedina mogućnost za razrešenje osnovne suprotnosti u smislu:

- potrebe primene razvijenih tehnoloških struktura i
- nerentabilnosti primene ovih struktura u uslovima malih količina.

## 2. Osnove grupisanja u montaži

Osnovu grupisanja u montaži kao i u obradi elemenata predstavlja oblikovanje operacijskih grupa na osnovu kriterijuma razvrstavanja. Prvo razvrstavanje predstavlja podelu delova prema fazama montaže, gde se mora imati u vidu da "Deo u montaži" predstavlja skup elemenata objedinjenih u celinu u nekoj fazi montaže. Montirani proizvod je u stvari skup delova sjedinjenih medjusobno elementima veze u nizu faza montaže. Drugo razvrstavanje predstavlja oblikovanje operacijskih grupa na svakoj fazi. Tako se na osnovu kriterijuma prvog razvrstavanja oblikuju TEHNOLOŠKE GRUPE kao grupe delova proizvoda koje se montiraju na istoj vrsti (fazi) montaže. Do sada su poznate sledeće vrste spajanja delova:

- vijcima
- zavarivanjem
- zakivanjem
- klinovima
- žljebovima raznih oblika
- presovanjem
- lemljenjem
- lepljenjem
- savijanjem
- ulivanjem, itd.,

koje ujedno predstavljaju kriterijume za definisanje tehnoloških grupa.

Kriterijumi drugog razvrstavanja su dati kao elementi klasifikacionog sistema na osnovu koga se formira klasifikacioni broj ( $K_{bji}$ ) za svaki deo svakog proizvoda u svakoj fazi montaže. Delovi sa istim klasifikacionim brojem koji se mogu montirati na istom obradnom sistemu (radnom mestu) sa grupnim priborima i alatima sa ili bez učešća ručnog rada čine OPERACIJSKU GRUPU delova u montaži. Kriterijumi razvrstavanja su sledeći:

- vrsta i način spajanja
- dimenzije elemenata koji ulaze u montirani deo i dimenzije montiranog dela

- mase delova
- složenost elemenata koji se ugradjuju u deo
- broj elemenata koji se ugradjuju
- količina utrošenog rada
- transportno sredstvo, itd.

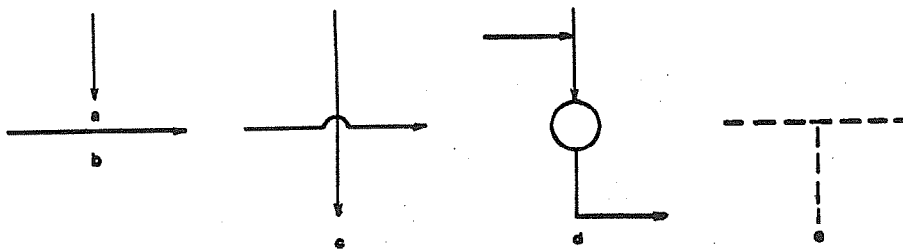
Za slučaj proizvodnog programa od

$p = 1 \dots j$  proizvoda gde svaki ima  
 $q = q_1 \dots q_j$  komada proizvoda  $i$   
 $Q = Q_1 \dots Q_i$  delova u proizvodu

moгу se postaviti u osnovi tri grupe tokova montaže i to:

- tipski
- grupni  $i$
- kombinovani

kao tri osnovne tehnološke strukture.



Slika 1.

- horizontalna linija označava ulaz delova u proces montaže (sl.1b)
- pri ukrštanju horizontalna linija se uklanja (sl.1c)
- krug predstavlja operaciju sklapanja odnosno radno mesto montaže (sl.1d)
- crtkana linija predstavlja put baznog elementa (ili bazne grupe) (sl.1e).

Pri montaži proizvoda koji zadovoljavaju uslove pod (a) odnosno sa-  
drže iste delove različitih veličina dobijaju se statičke, dinamičke strukture  
i karte tokova koje su identične za svaki proizvod.

Ako se  $i$ -ti tehnološki rang obeleži sa  $TR_i$  a  $(i+1)$ -i konstruktivni  
rang sa  $KR_{i+1}$  onda se može napisati zavisnost:

$$TR_i = KR_{i+1}$$

gde je:

$$i = 1 \dots (m-1)$$

$m$  - index najvišeg konstruktivnog ranga.



Dakle  $i$ -tom tehnološkom rangu odgovara  $(i+1)$ -vi konstruktivni rang i oni se uvek medjusobno poklapaju, (zbog grupisanja sklopova i podsklopova po principu redosleda operacije), dok prvi konstruktivni rang  $KR_1$  nema svoj odgovarajući tehnološki rang jer se ovde ne vrši montaža već kontrola funkcionalnosti proizvoda.

OD \ KUDA	$Kb_1$	$Kb_2$	$Kb_3$	$Kb_4$	$Kb_j$	$Kb_{j+1}$	$Kb_k$
$Kb_1$			1				
$Kb_2$			1				
$Kb_3$					1		
$Kb_4$						1	
$Kb_j$							1
$Kb_{j+1}$							1
$Kb_k$							

Karta toka "OD-KUDA"

Slika 2.

Pomoću klasifikatora svaki deo dobija svoj klasifikacioni broj ( $Kb_{i(j)}$ ) gde se  $j$  kreće od  $j=1 \dots k$  - proizvoda, a  $i=1, 2, \dots, m$  - operacija. Kodiranjem svih delova datog proizvodnog programa mogu se sačiniti karte "OD-KUDA" posebno za svaki proizvod, čiji je opšti izgled dat na slici 2.

Na osnovu karte "OD-KUDA" može se utvrditi mesto ugradnje delova pri montaži proizvoda.

Za prikaz sistema grupisanja na principu redosleda operacija montaže potrebna je statička struktura i karta toka proizvoda. Tipove treba izabrati tako da bude moguć redni način izvršenja operacija. Za ovo je potrebno definisati neke dosad nepoznate pojmove, a to su:

- čvorna operacija,
- slobodna grana i
- nivo ugradnje.

čvorna operacija je ona operacija sklapanja gde se spajaju dve ili više grana na karti toka proizvoda.

Slobodna grana je ona grana na karti toka proizvoda koja sadrži sve operacije sklapanja koje se javljaju levo od čvorne operacije, odnosno operacija koje treba izvršiti pre čvorne operacije.

Nivo ugradnje pokazuje do koje faze je izvršena montaža pojedinih proizvoda iz proizvodnog programa.

U zavisnosti od složenosti statičke strukture, za montažu svakog proizvoda je potrebno više nivoa ugradnje. Svaki nivo ugradnje sadrži u sebi sklapanje svih delova koji pripadaju slobodnim granama kod svakog proizvoda.

Prvi nivo ugradnje sadrži montažu svih delova (slobodne grane) do nailaska na prve čvorne operacije, koje mogu biti na raznim tehnološkim rangovima. Kada je izvršena montaža prvog nivoa, prelazi se na drugi nivo ugradnje, itd.

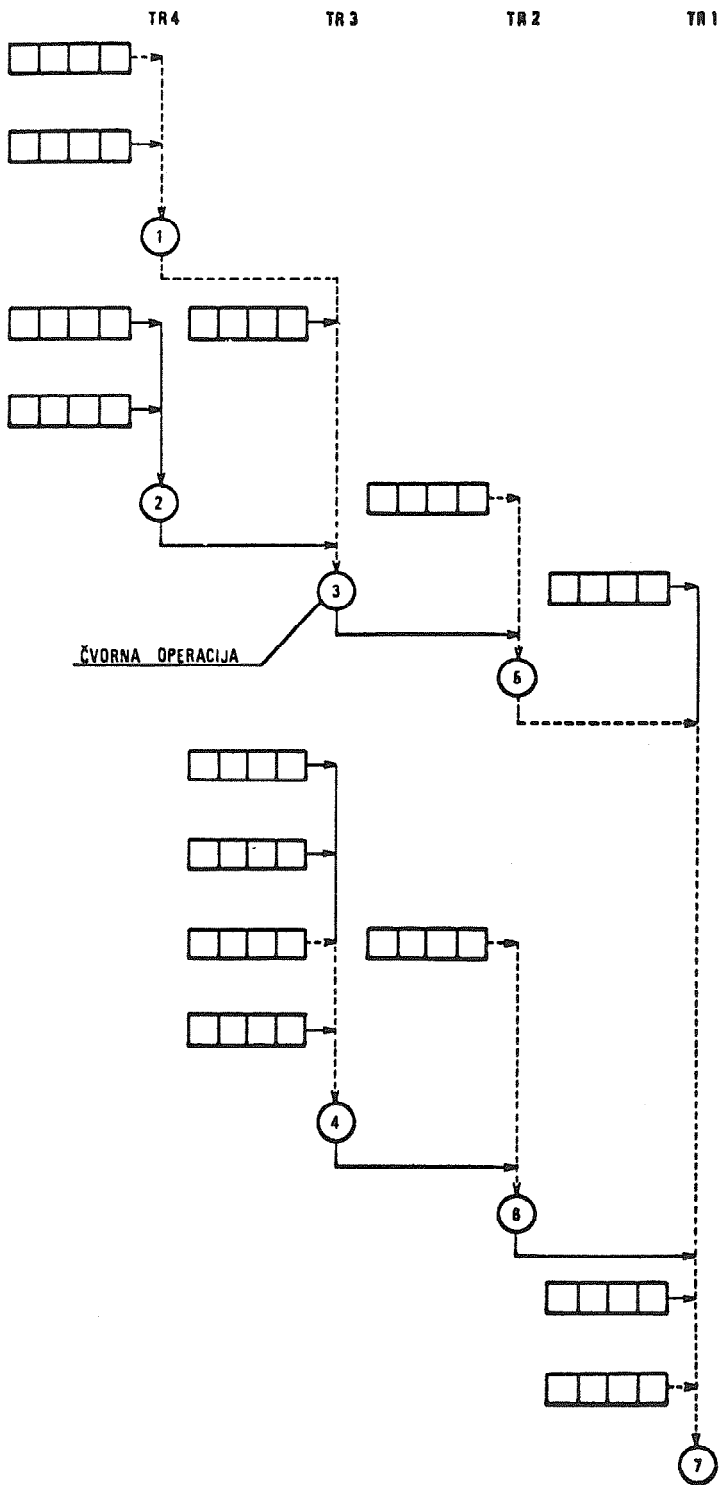
U opštem slučaju prema slici 3, operacija 3 predstavlja čvornu operaciju. Kod svakog proizvoda po pravilu ima više ovakvih čvornih operacija. Važno je istaći da ispunjavanje uslova rednog načina izvršenja operacija (ako se posmatra neka grana gde se spajaju više podsklopova na raznim rangovima) moguće samo ako se poštuju pravila izvršenja čvornih operacija idući od viših ka nižim tehnološkim rangovima.

Treba napomenuti da kod nivoa ugradnje se ne misli na nivo ugradnje na samom rangju, nego na nivo ugradnje između rangova, znači svaki nivo ugradnje sadrži u sebi montažu delova za svaku slobodnu granu do sledećih čvornih operacija.

Na slici 3 nalaze se dve čvorne operacije, operacija 3 i operacija 7, dakle na prvom nivou vrši se sklapanje na operacijama 1 i 2 i 4 i 6. Kada je izvršena montaža prvog nivoa ugradnje prelazi se na drugi nivo ugradnje, itd. U navedenom primeru kod drugog nivoa ugradnje izvršavaju se operacije 3 i 5, jer operacija 7 predstavlja čvornu operaciju.

Važno je napomenuti da predposlednji nivo ugradnje obuhvata izvršenje svih operacija koje se nalaze na svim tehnološkim rangovima zaključno sa  $TR_2$ , isključujući  $TR_1$  koja pripada završnoj montaži.

Kad su određene sve čvorne operacije kod svake grane, i kada su pronađene slobodne grane za prvi nivo ugradnje može se crtati šema sistema grupisanja na principu redosleda operacija. Ova šema mora jasno da pokaže operacijsku grupu na svakom od nivoa ugradnje.



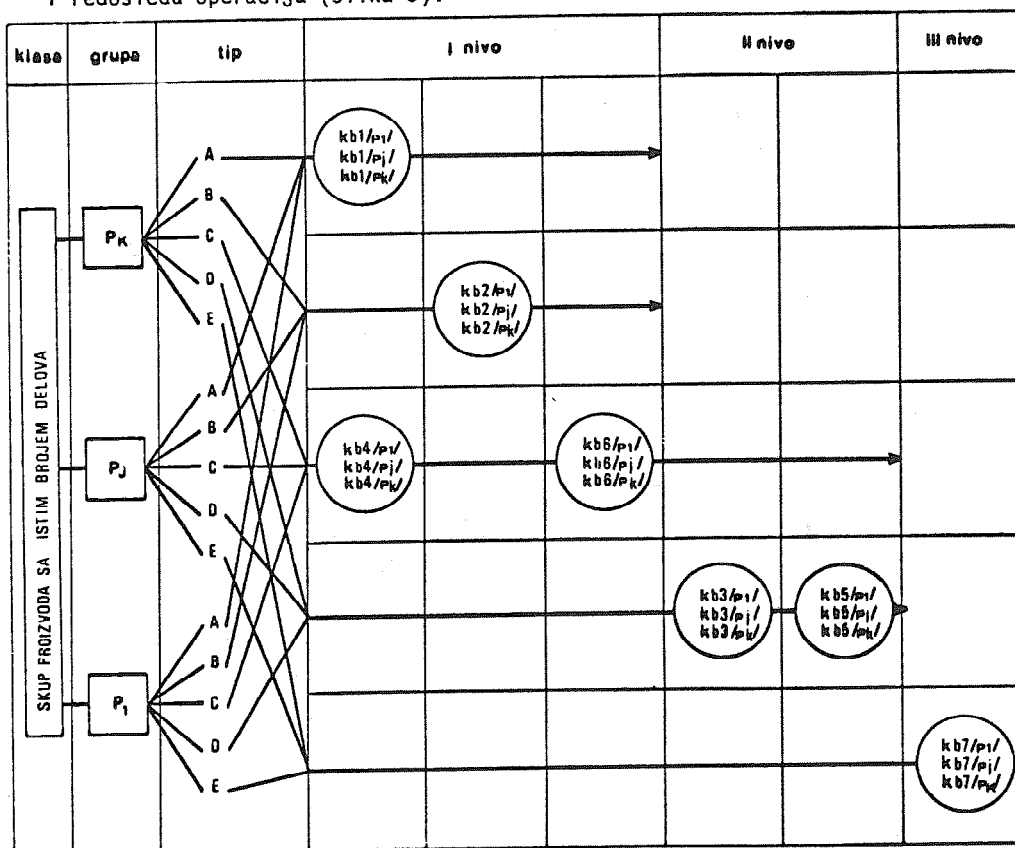
KARTA TOKA ZA j-ti PROIZVOD  
Slika 3.

Na osnovu statičke strukture i sistema klasifikacije svaki deo (podsklop, sklop, proizvod) koji se dobija sklapanjem na određenoj operaciji dobija svoj klasifikacioni broj.

Ovi klasifikacioni brojevi se upisuju u kartu toka proizvoda na mestu određene operacije.

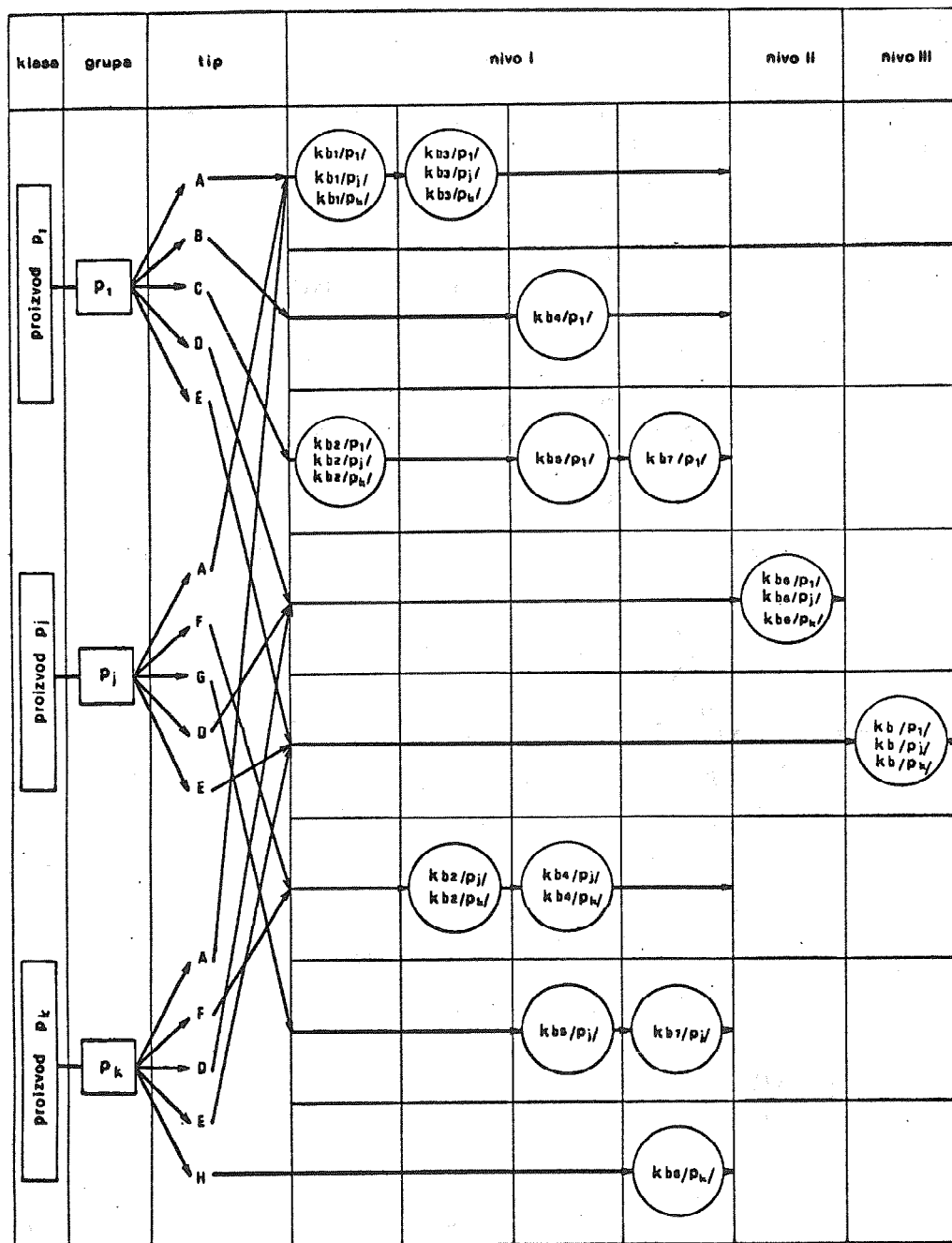
Kod više proizvoda koji imaju iste delove i isti redosled operacija delovi koji se sklapaju na istim operacijama imaju isti klasifikacioni broj, te će pripadati istoj operacijskoj grupi (slika 4).

Ako su u pitanju proizvodi sa različitim brojem delova tada se po red klasifikacije vrši takodje postavljanje matrice OD-KUDA za svaki od proizvoda prema slici 2 pronadju se čvorne operacije i slobodne grane po nivoima ugradnje, te se grupišu delovi sa istim klasifikacionim brojem prema nivoima i redosledu operacija (slika 5).



Šema sistema grupisanja na principu redosleda operacija montaže za proizvode sa istim brojem delova

Slika 4.



Sema sistema grupisanja na principu redosleda operacija montaže, za proizvode sa različitim brojem delova

Slika 5.

### 3. Grupni tehnološki tokovi

Tehnološke tokove postavljene na principu grupisanja po vrsti montaže pogodno je primeniti za proizvodni program široke strukture i malih količina, gde se ne isplati postaviti individualnu montažnu liniju za svaki proizvod.

Podloge za grupisanje po vrsti montaže predstavljaju:

- statička struktura (šema proizvoda) i
- sistemi klasifikacije.

Pomoću statičke strukture pojedinih proizvoda crta se karta toka sa obeleženim tehnološkim rangovima. Za vezu između tehnoloških i konstruktivnih rangova i ovde važi formula data u prethodnom poglavlju.

Na osnovu statičke strukture i karte toka proizvoda, a pomoću klasifikatora vrši se klasifikacija delova, gde klasifikacioni broj nosi u sebi obeležja dela kome je prirodan.

Pomoću klasifikacionih brojeva i karti toka oformi se karta "OD-KUDA" za svaki proizvod posebno, kako je to dato kod tipske montaže.

Svodjenjem klasifikacionih brojeva dobija se potreban broj tehnoloških i operacijskih grupa. Ovo svodjenje radi se posebno za svaki nivo montaže.

Znajući broj tehnoloških i operacijskih grupa crta se šema grupisanja prema vrsti montaže.

U šemu sistema grupisanja ucrtaju se tehnološke grupe, i u svaku tehnološku grupu ucrtava se odgovarajuća operacijska grupa.

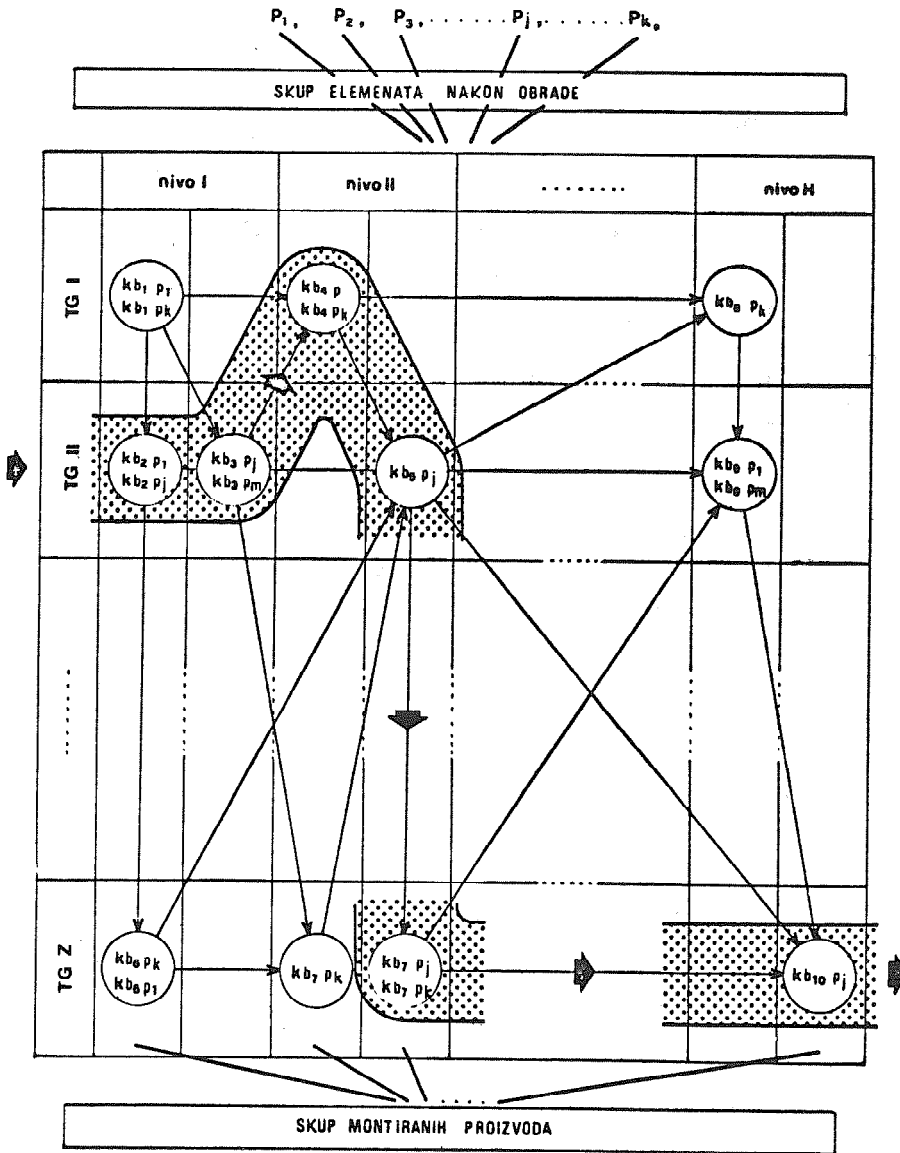
Kako su operacijske grupe označene sa krugovima u ove krugove se upisuju pripadajući klasifikacioni brojevi.

Nakon upisivanja klasifikacionih brojeva ucrtaju se strelice između operacijskih grupa za svaki proizvod, koristeći za ovo kartu "OD-KUDA".

Na ovaj način je postavljena podloga za postavljanje grupnih tokova procesa montaže, prema slici 6.

### 4. Zaključak

Primena postupaka grupisanja u procesima montaže pruža podlogu za postavljanje opšteg modela tokova u proizvodnim sistemima i pruža izvanredne mogućnosti za razvoj višepredmetnih protočnih linija grupnog toka, čime je omogućeno lakše upravljanje i obezbeđena potrebna fleksibilnost sistema.



Šema sistema grupisanja na principu vrste montaže

Slika 6.

Reference

1. Zelenović, D., Proizvodni sistemi (Production Systems), Beograd, 1973.
2. Zelenović, D., Proizvodni sistemi (predavanja 1976), rukopis
3. Чарнко, Д.В. Основы выбора технологического процесса механической обработки, Москва, 1963.
4. Колев, Н.С. Технология машиностроения, Москва, 1977.
5. Егоров, М.Е., Дементьев, Б.И., Дмитриев, В.Л., Технология машиностроения, Москва, 1976.
6. Чарнко, Д.В., Основы проектирования механо-сборочных цехов, Москва, 1975.
7. Рушновски, Н., Основы за проектирање на машиноградбени објекти, Скрипта, Скопје, 1974.
8. Група аутора, Справочник металлиста, Москва, 1977.
9. Власов, С.Н. и група аутора, Автоматизация процессов машиностроения - III том, Москва, 1963.
10. Petrović, M., Proizvodni sistemi, Kragujevac, 1976.
11. Ćosić, I.: Prilog istraživanju struktura montažnih sistema u uslovima opšteg modela proizvodnih sistema, Magistarski rad, Novi Sad, 1979.

Dr D.Zelenović  
Mr I.Ćosić

A CONTRIBUTION TO CONSIDERATION OF THE POSSIBILITY OF  
THE GROUPING PROCEDURE APPLICATION IN THE ASSEMBLY PROCESSES

S u m m a r y

The paper considers the history of application of the grouping procedures. Also the structural schemes of products as the basis for the group flows in the assembly are given. The possibility of the technological and operational groups in the assembly is discussed. The different flows as

- discrete,
- continuous and
- combined

as the basic flow of technological structures in the production systems design are shown.





XIV SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, ČAČAK, 1980.

Dr D.Zelenović\*  
Mr I.Čosić\*\*  
D.Jovanović\*\*\*

RAZVOJ I PRIMENA RAČUNARSKOG PROGRAMA ZA IZBOR VARIJANTE  
PROIZVODNOG SISTEMA U USLOVIMA PRIMENE POSTUPAKA GRUPISANJA

1. Uvod

Stabilnost izlaznih veličina proizvodnih sistema uslovljena je u najvećoj meri optimalnim struktuiranjem elemenata sistema - PROJEKTOVANJEM.

Oblikovanje elemenata sistema i postavljanje tehnoloških tokova u sistemu su zahvati u području projektovanja proizvodnih sistema koji omogućuju približavanje izboru optimalne varijante proizvodnog sistema u datom vremenu i datim uslovima okoline.

Istraživanja zasnovana na analizi nejednakosti:

$$T \geq K_k$$

gde je:

T - fond vremena potrebnog za izvodjenje odredjenog dela procesa

$K_k$  - kapacitet odgovarajućeg dela sistema

u području tokova materijala i informacija, dovela su do potrebe razvoja proizvodnih sistema povišenog stepena fleksibilnosti, odnosno sposobnosti ka prilagodjavanju promenama u okolini i poremećajima u sistemu.

Osnovu za razvoj sistema povišenog stepena fleksibilnosti i varijabiliteta čine postupci grupisanja. Postupci grupisanja se u osnovi svode na tehnološku klasifikaciju delova proizvodnog programa na osnovu koje je moguće postaviti proizvodne tokove na:

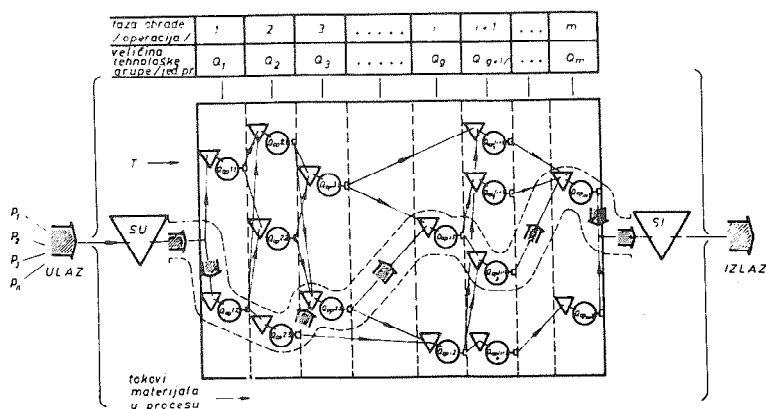
- \* *Dr Dragutin Zelenović, dipl.ing., redovni profesor Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, Institut za industrijske sisteme, V.Vlahovića 3*
- \*\* *Mr Ilija Čosić, dipl.ing., asistent Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, Institut za industrijske sisteme, Veljka Vlahovića broj 3*
- \*\*\* *Dragana Jovanović, dipl.matematičar, saradnik Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, Institut za industrijske sisteme, Veljka Vlahovića broj 3.*

- principu redosleda operacija
- principu vrste obrade
- kombinovanom principu.

Zahvati ove vrste doveli su do razvoja:

### 1. OPŠTEG MODELA TOKOVA MATERIJALA [1]

u proizvodnim sistemima industrije prerade metala datog šematski na slici 1.



Slika 1. Opšti model tokova u odredjenom proizvodnom sistemu.

2. MATEMATIČKOG MODELA za izbor tipa toka na osnovu nejednakosti  $T_i \geq K_k$  u vidu STEPENA SERIJNOSTI datom izrazom [1]:

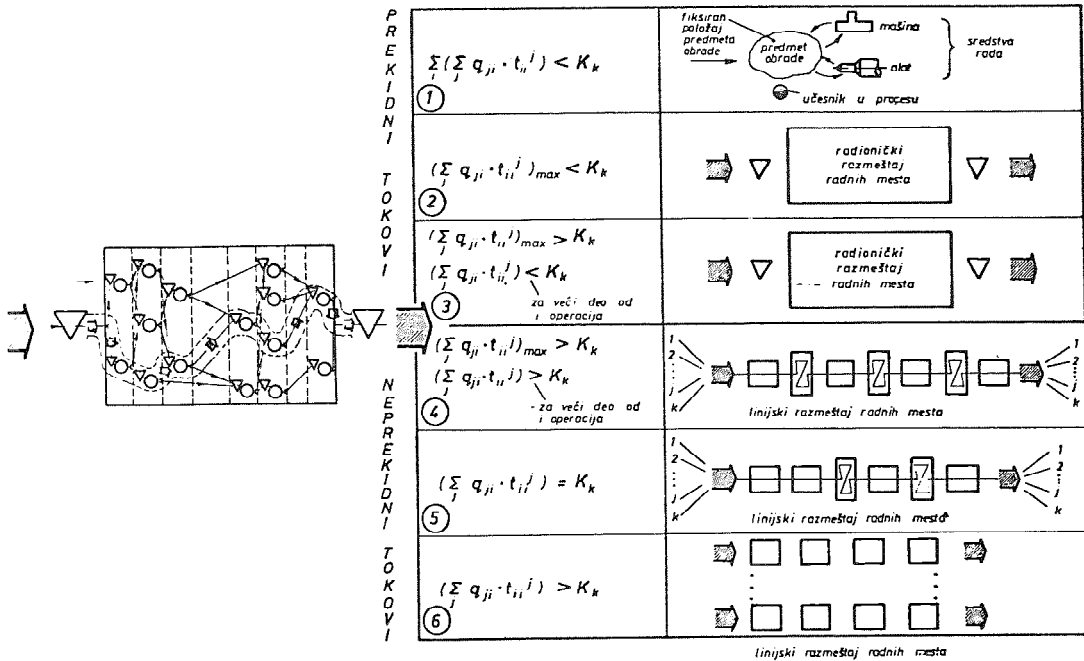
$$K_{ser}^* = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=k} ( \sum_{j_i} a_{ji} t_{ii}^j )}{K_k} \geq 1$$

što putem analiza posebne vrste daje mogućnost osnovne ocene tipa toka u proizvodnim sistemima na način dat na slici 2 i što čini dovoljnu podlogu za izračunavanje karakteristika svake od varijanti proizvodnih sistema u okviru opšteg modela.

### 2. Računarski program

Osnovni zahvati za rešavanje problema, izbora varijante proizvodnog sistema u uslovima primene postupaka grupisanja, računarom su:

1. Oblikovanje operacijskih grupa, primenom procesa klasifikacije
2. Odredjivanje veličina tehnoloških grupa



Slika 2. Varijante sistema opšteg modela proizvodnih sistema.

3. Odredjivanje varijante procesa rada proizvodnog sistema na osnovu matematičkog modela

$$T_i \geq K_k \quad \text{i} \quad K_{ser}^* \geq 1$$

4. Odredjivanje postupaka dalje podele rada za varijantu 6, na osnovu kriterijuma

$$q_{ji} t_{ii}^j > K_k$$

U ovom radu su računarskim programom rešeni zahvati 2,3 i 4, dok je zahvat 1 izvršen manuelno i dat kao ulazni podatak. Medjutim, daljom razradom moguće je obuhvatiti i ovaj zahvat, oblikovanje operacijskih grupa primenom procesa klasifikacije, posebnim računarskim programom.

OPIS PROGRAMA

Razvijeni program je opšti program za odredjivanje varijante proizvodnog sistema u uslovima primene postupaka grupisanja, organizovan modularno.

U glavnom programu se generišu sledeći parametri:

- korisni kapacitet proizvodnog sistema ( $K_k$ )
- broj faza obrade programa proizvodnog sistema

- broj predmeta obrade programa proizvodnog sistema
- max.broj operacijskih grupa jedne tehnološke grupe za dati program proizvodnog sistema
- dvodimenzionalna tabela koja sadrži manuelno oblikovane operacijske grupe primenom procesa klasifikacije
- dvodimenzionalna tabela koja sadrži vreme trajanja ( $t_{ij}^j$ ) izrade proizvoda "j" na fazi obrade "i"
- jednodimenziona tabela koja sadrži količinu ( $q_{ji}$ ) proizvoda "j".

#### POTPROGRAM I

Odredjuje veličinu tehnoloških grupa  $Q_g$  na osnovu kriterijuma:

$$Q_g = \sum_{t=1}^{t=s} Q_{opg}^t \quad \text{gde je:} \quad Q_{opg}^t = \sum_j q_{ji}$$

Odredjuje varijantu proizvodnog sistema na osnovu matematičkog modela:

$$T_i \geq K_k \quad i \quad K_{ser}^* \geq 1$$

gde je:

$T_i$  - fond potrebnog vremena za operacijsku grupu

$$T_i = \sum_{j=1}^{j=k} q_{ji} t_{ii}^j$$

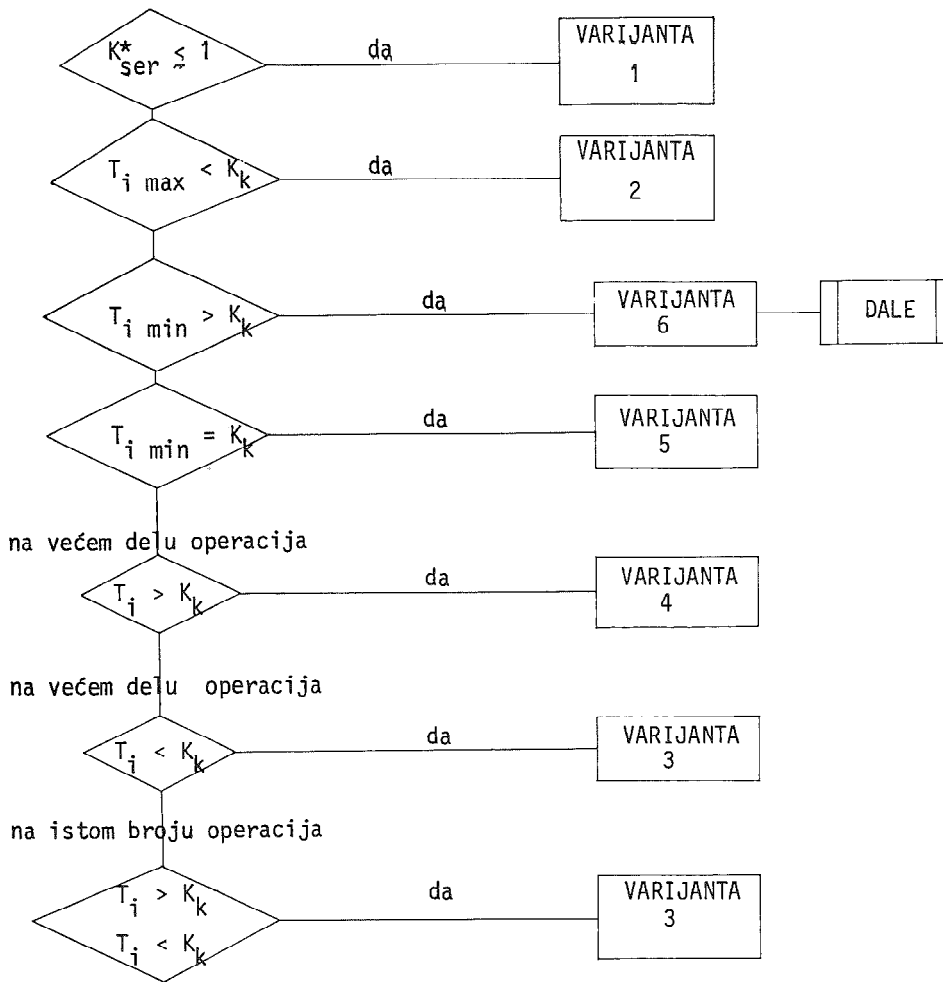
$T_i \max$  - maksimalni fond potrebnog vremena

$T_i \min$  - minimalni fond potrebnog vremena

$K_{ser}^*$  - koeficijent serijnosti

$$K_{ser}^* = \frac{\sum_{i=1}^{i=m} T_i}{K_k}$$

Algoritam za izbor varijante je sledeći:



POTPROGRAM II

vrši dalju podelu rada za varijantu 6, na osnovu kriterijuma:

$$\sum_j q_{ji} t_{ii}^j \geq K_k$$

na sledeći način: ukoliko predmet obrade "j" u fazi "i" ispoljava uslov

$$q_{ji} t_{ii}^j \geq K_k$$

vrši se podela na "n" novih grupa, gde je "n" ceo broj:

$$n = \frac{q_{ji} t_{ii}^j}{K_k}$$

i ovaj predmet obrade se više ne posmatra.

Predmeti obrade "j" u fazi "i" iste operacijske grupe koji ispunjavaju uslov:

$$q_{ji} t_{ii}^j < K_k$$

medjusobno se kombinuju i ispituju na sledeći način:

- formira se kombinacija najviše klase predmeta i ispituje se uslov:

$$\sum_j q_{ji} t_{ii}^j < K_k$$

- ukoliko je ovaj uslov ispunjen, onda predmeti obrade te kombinacije obrazuju novu grupu i dalje se vrši ispitivanje samo preostalih predmeta obrade date operacijske grupe.

Ukoliko više kombinacija iste klase ispunjava uslov:

$$\sum_j q_{ji} t_{ii}^j < K_k$$

uzima se od kombinacija predmeta obrade za obrazovanje nove grupe kod koje je:

$$\sum_j q_{ji} t_{ii}^j - \text{minimalno}$$

- ukoliko ovaj uslov nije ispunjen, pristupa se formiranju kombinacija niže klase i ponovo se vrši ispitivanje datog uslova za predmete obrade formiranih kombinacija na isti način.

### 3. Primena na proizvodnom programu reznog alata

Za proizvodni program dat sa:

- četiri faze obrade (struganje, glodanje po obimu, glodanje čela i brušenje)

- deset predmeta obrade (P1, P2, P3, ..., P9, P10)

- korisnim kapacitetom  $K_k = 180.000 \text{ min/god}$

- vrednostima za  $q_{ji}$  i  $t_{ii}^j$  datim u tabeli 1

- oblikovanim operacijskim grupama - tabela 2

potrebno je:

1. Nacrtati šemu tehnoloških tokova

2. Odrediti tip proizvodnje duž svakog ekvivalentnog toka.

TABELA 1.

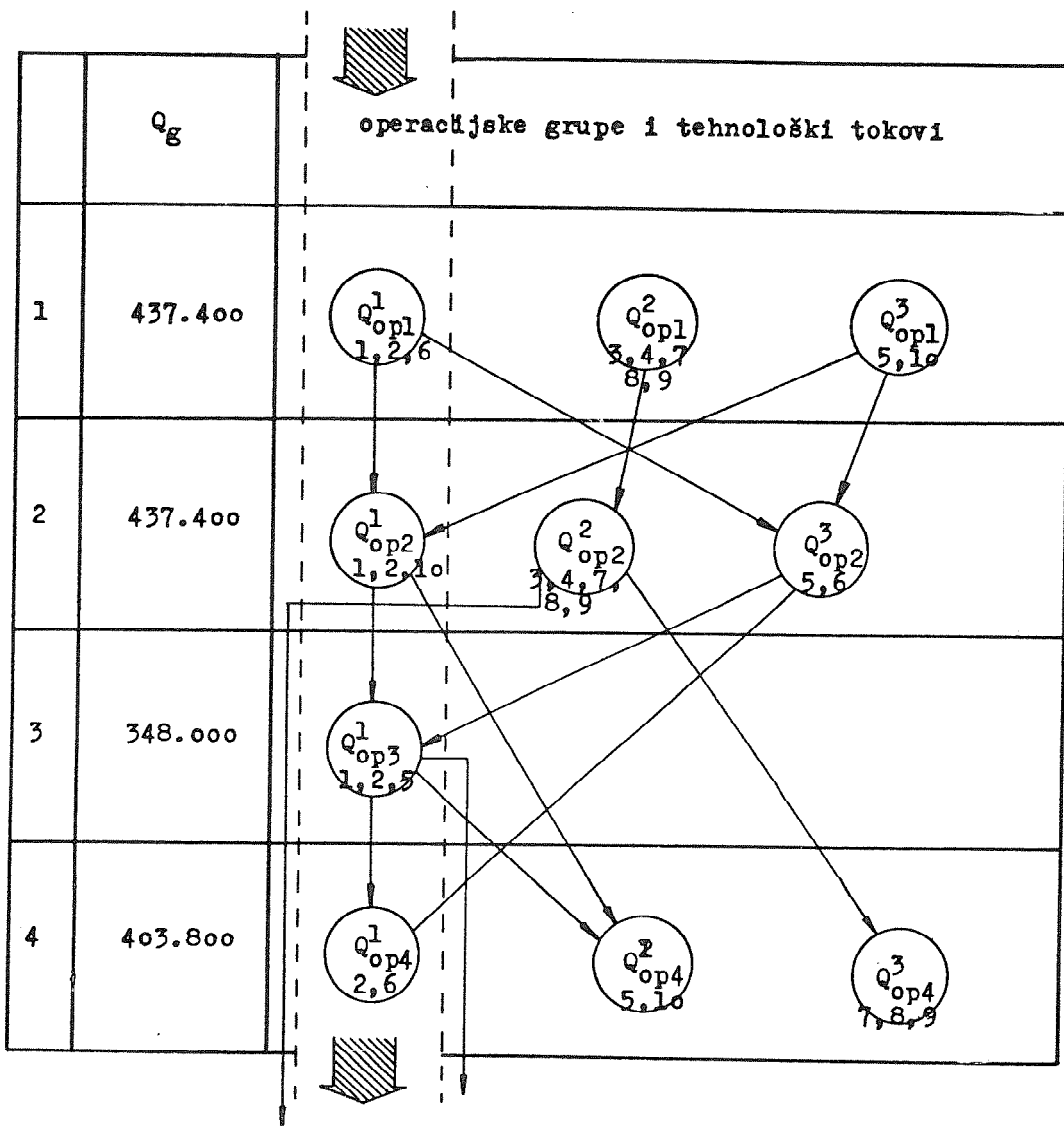
$P_j$	$Q_{ji}$	$t_{ij}^j$ (OPERACIJA)			
		1	2	3	4
P1	32.000	0,5	5	3	0
P2	166.000	1,5	5	3	4
P3	1.000	6	4	0	0
P4	600	7	4	0	0
P5	150.000	3	3	1,5	10
P6	40.000	2,5	4	0	6
P7	15.000	8	5	0	20
P8	10.600	9	5	0	22
P9	2.200	10	5	0	25
P10	20.000	8	6	0	12

TABELA 2.

Faza obrade	$P_j$	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
I		1	1	2	2	3	1	2	2	2	3
II		1	1	2	2	3	3	2	2	2	1
III		1	1	-	-	1	-	-	-	-	-
IV		-	1	-	-	2	1	3	3	3	2

Na osnovu podataka iz tabele 2 postavljena je šema tokova u proizvodnom sistemu (slika 3) gde je izdvojen ekvivalentni tok 2 za koga je računarskim programom odredjen tip toka, odnosno varijanta proizvodnog sistema u opštem modelu (slika 4).





ekvivalentni tok 2

Slika 3.

T O K 2

K SER = 17.767 KK = 100000

SIGMA MAX = 1110000.000

SIGMA MIN = 365000.000

S I G M A :

365000.000  
1110000.000  
810000.000  
904000.000

K SER > 1

SIGMA MIN > KK

VARIJANTA 6

N E P R E K I D A N T O K

- JEDNA ILI VIŠE JEDNOPREDMETNIH PROTO&NIH LINIJA

(DALJA PODELA RADA)

OPERACIJA : 1

G R U P E :

1. P 2 - 1  
2. P 1  
P 6

OPERACIJA : 2

G R U P E :

1. P 1 - 1  
5. P 2 - 4  
6. P 10 - 1

OPERACIJA : 3

G R U P E :

1. P 1 - 1  
3. P 2 - 2  
4. P 5 - 1

OPERACIJA : 4

G R U P E :

3. P 2 - 3  
4. P 6 - 1

Slika 4.

#### 4. Zaključak

Razvijeni računarski program za izbor varijante proizvodnog sistema u uslovima opšteg modela je uopšten i primenljiv za različite programe proizvodnje širokog asortimana i malih količina. Sledeći korak u razradi ovog problema predstavlja razvoj računarskog programa za oblikovanje operacijskih grupa primenom sistema klasifikacije.

#### Reference

1. Zelenović, D., Istraživanje uticaja uvođenja tehnoloških struktura određenog stepena složenosti na ponašanje radnih i izlaznih karakteristika proizvodnih sistema u vremenu, Doktorska disertacija, Novi Sad, 1974.
2. Zelenović, D., Proizvodni sistemi, Naučna knjiga, Beograd, 1972.
3. Zbornik radova, "PPS'77", Novi Sad, FTN.

D. Zelenović  
I. Čosić  
D. Jovanović

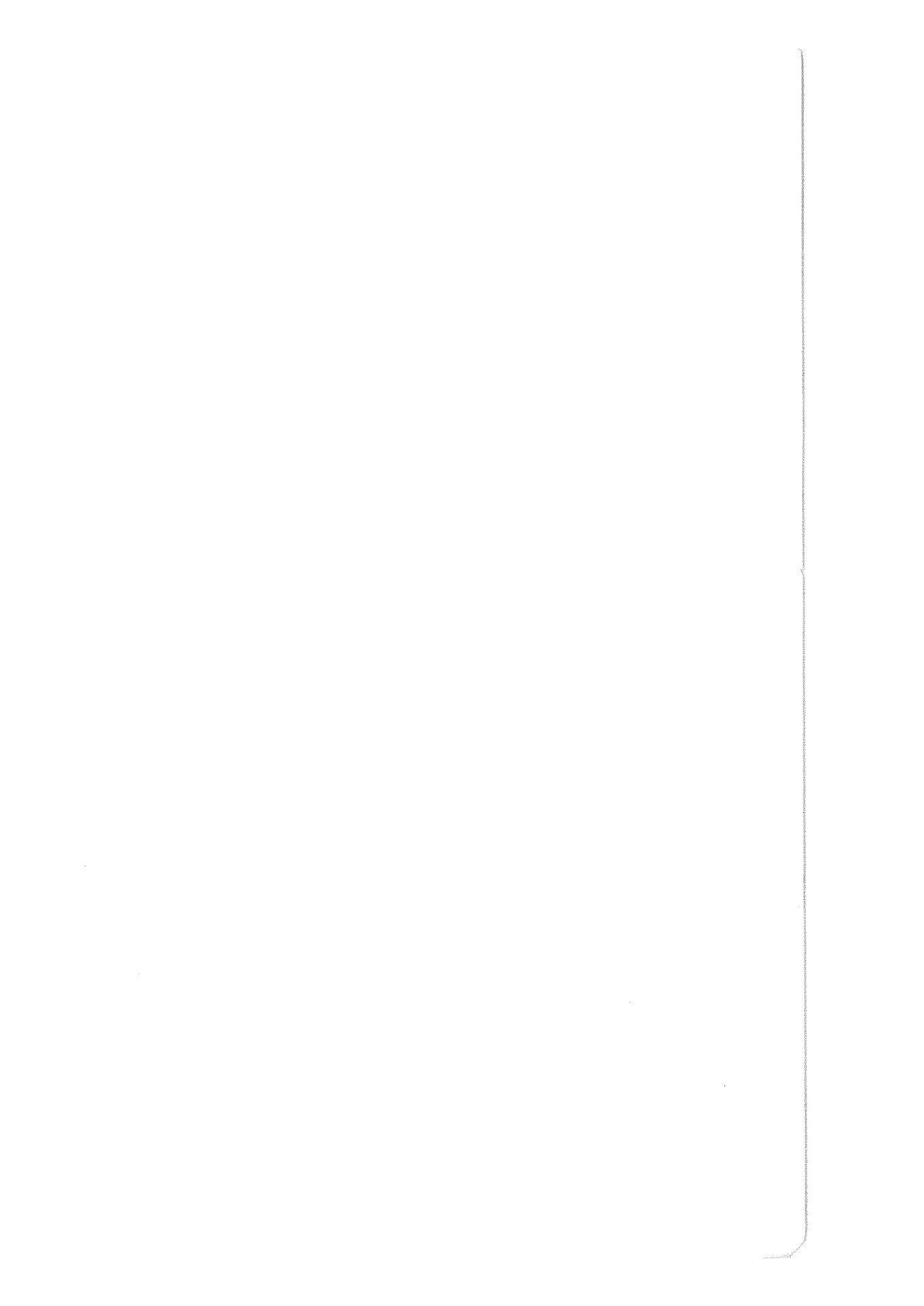
DEVELOPING AND APPLICATION OF THE COMPUTER PROGRAM FOR THE  
CHOOSING OF THE PRODUCTION SYSTEM VARIANT BY THE GROUPING  
PROCEDURES APPLYING

#### S u m m a r y

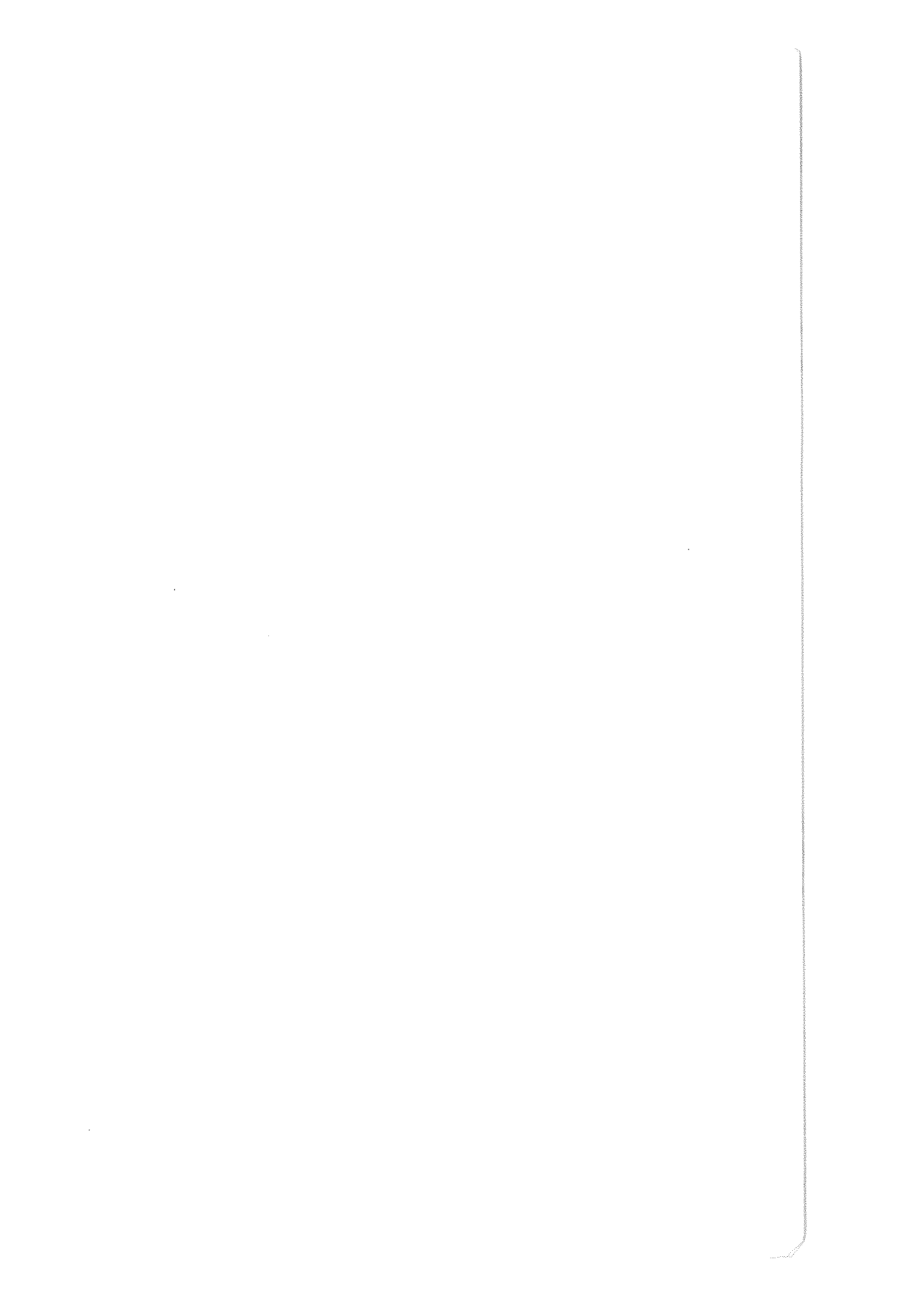
In the paper the short review of the development of the general model of production systems by the grouping procedures applying is given. Through the mathematical model that is the relation of time funds for each operation and beneficial capacity.

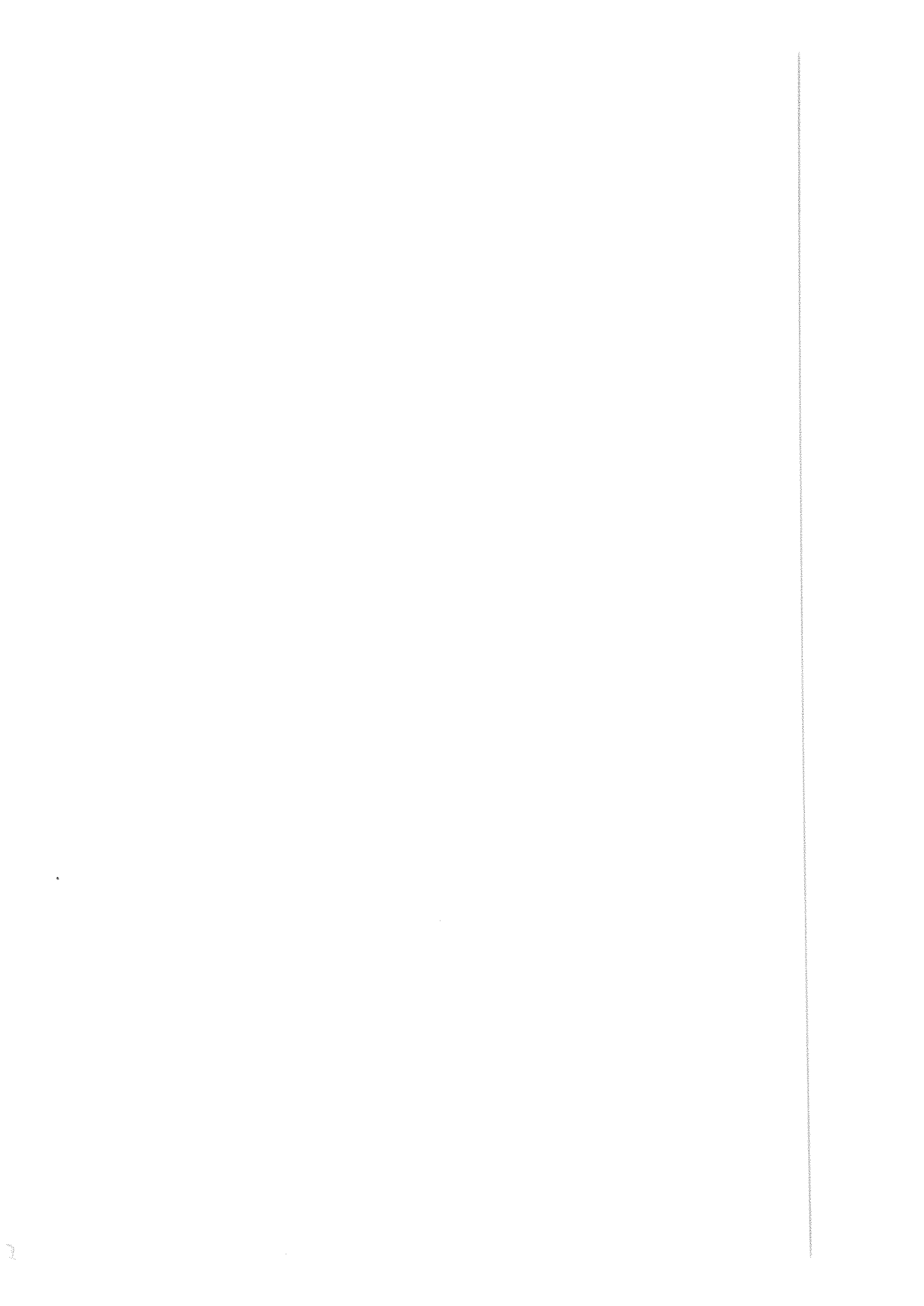
The operational groups are on the basis of the criterion of the clasifikacion system designed. The computer programme for the group flow identification for the choosig some of six variants developed by the general model is given.

In the case study of the cutting tool production system is the possibility of the applying of the developed computer programme shown.













7





# FABRIKA REZNOG ALATA

ČAČAK · JUGOSLAVIJA

Hajduk-Veljkova 37  
32000 ČAČAK  
Telefoni:  
Centrala FRA 032/43-222  
Komercijalni sektor 41-478  
Telex: 13711 YU FRACCK

Organizovana u 8 osnovnih organizacija sa sledećim proizvodnim programom:

1. OOUR „Alat za unutrašnji navoj“
  - ureznici svih vrsta i dimenzija,
  - utiskivači.
2. OOUR „Alat za spoljni navoj“
  - nareznice,
  - ploče za valjanje navoja,
  - navojni noževi,
  - valjci za valjanje navoja,
  - navojna glodala,
  - integralna i pužna modularna glodala,
  - pužna i navojna vretena i kola,
  - navojne i glatke čepove i prstenove,
  - kontrolne račve,
  - integralne kontrolnike.
3. OOUR „Spiralne burgije“
  - SB za valjčastom drškom,
  - SB sa MK drškom,
  - višestepene spiralne burgije.
4. OOUR „Alat za obradu rupe“
  - zabušivače,
  - upuštače,
  - razvrtače,
  - vretenasta glodala,
  - višestepene kombinovane i specijalne alate,
5. OOUR „Alatnica“
  - spiralne burgije sa pločicama od TM za metal,
  - upuštače i specijalne alate sa pločicama od TM,
  - vretenasta glodala sa pločicama od TM,
  - ostale višestepene i specijalne alate sa pločicama od TM.
5. OOUR „Alatnica“
  - alate za preradu lima plastičnom deformacijom,
  - alate za livenje prešovanjem i brizganjem,
  - specijalne stezne alate,
  - pribore za alatne mašine (nosače alata za automate, uređaje, nosače alata sa NC-mašine i ostale pribore).
6. OOUR „Alatne mašine“
  - specijalne mašine za obeležavanje i varenje,
  - specijalne naprave i podsklopove,
  - cilindrične zupčanike,
  - specijalne čaure za alatne mašine,
  - mašinske delove.
7. OOUR „Alat i pribor“ — Novi Pazar
  - spiralne burgije za beton i kamen sa pločicama od TM,
  - strugarske nožve sa pločicama od TM (standardne i specijalne).
8. OOUR „Proizvodne usluge“
  - Termičku obradu, obradu alata i delova,
  - Termo obradu specijalnih alata i pribora.