

**XVIII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA  
JUGOSLAVIJE**

# **ZBORNIK RADOVA**



**NIŠ, 1984. GODINE**

**XVIII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE  
NIŠ 1984. GODINE**

**ZBORNİK RADOVA**



**NIŠ, 26., 27. i 28. septembra 1984. god.**

SAVETOVANJA PROIZVODNOG MAŠINSTVA PREDSTAVLJAJU DEO  
AKTIVNOSTI ZAJEDNICE NAUČNO-ISTRAŽIVAČKIH INSTITUCIJA  
PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

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 strojništvo - Ljubljana
6. Visoka tehniška 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 - Skopje
14. Mašinski fakultet - Titograd
15. Fakultet strojarstva i brodogradnje - Zagreb
16. Institut za alatne strojeve "Prvomajska" - Zagreb
17. Pedagoško-tehnički fakultet - Čačak

ORGANIZATOR XVIII SAVETOVANJA PROIZVODNOG MAŠINSTVA  
JUGOSLAVIJE:

MAŠINSKI FAKULTET UNIVERZITETA U NIŠU  
18000 Niš, Beogradske 14.

ORGANIZACIONI ODBOR XVIII SAVETOVANJA:

Predsednik: Prof. dr Predrag Popović  
Sekretar: Asis. Dragan Temeljkovski  
Članovi: Prof. dr Zoren Boričić  
Prof. dr Aleksandar Pavlović  
Prof. dr Dobroslav Stanković  
Prof. dr Miroslav Drazgić  
Prof. dr Vojislav Stoiljković  
Doc. dr Ljubomir Janković  
Doc. dr Dragan Domazet  
Doc. dr Velibor Marinković  
dr Dušenka Vukićević  
Asis. mr Miodrag Stoiljković  
Asis. mr Dragoljub Lazarević  
Asis. Ljubomir Bogdanov  
Asis. Miroslav Trajanović  
Asis. Bojan Rančić  
Asis. Miodrag Manić  
Asis. Goren Jadenković  
Bogomir Minčić, dipl.meš.ing.  
Miodrag Zdravković, dipl.ing.meš.  
Dragiša Stefanović, dipl.ing.meš.  
Božo Perović, dipl.ing.met.  
Redoslav Stefanović, dipl.ing.meš.  
Milivoje Stepanović, dil.ing.meš.



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 |
| XIV  | Čačak      | 1980. godine |
| XV   | Novi Sad   | 1981. godine |
| XVI  | Mostar     | 1982. godine |
| XVII | Budva      | 1983. godine |

Odlukom Zajednice naučno-istraživačkih institucija proizvodnog mašinstva Jugoslavije organizovanje XVIII savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije povereno je Mašinskom fakultetu Univerziteta u Nišu.

Koristimo priliku da se najtoplije zahvalimo autorima radova, radnim organizacijama i društveno-političkim asocijacijama i organizacijama, kao i svima ostalima koji su doprineli uspešnom održavanju XVIII savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije.

ORGANIZACIONI ODBOR

## S a d r ž a j

Str.

### NUMERIČKI UPRAVLJANI SISTEMI

|                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Aleksandar Pavlović:<br>Numeričko upravljanje i NU tehnologije - jedan<br>realistički pristup .....                                                                      | 3  |
| Milisaav Kalajdžić, Vladimir Milačić:<br>Integralni koncept automatizacije proizvodnje .....                                                                             | 17 |
| Karel Jezernik, Branko Medved:<br>Regulirani pogon enosmernega motorja izveden<br>z mikroročunalnikom .....                                                              | 23 |
| Ljubomir Jacić, Sveislav Zarić:<br>Optimalna sinteza industrijskih upravljačkih<br>sistema primenom računara .....                                                       | 31 |
| Vučko Mečanin, Milan Jurković:<br>Istraživanje mogućnosti primjene kompjuterskog<br>upravljanja automatskom linijom za izradu osn-<br>osimetričnih profila .....         | 41 |
| Miroslav Trajanović, Zoran Nikolić, Zoran Djurić:<br>Editor Sistema za izradu programa za numeričko<br>upravljanje alatnim mašinama .....                                | 53 |
| Tomislav Simić, Sreten Pavlović, Miroslav Trajanović:<br>Sistem za numeričko upravljanje elektrozavojnim<br>presama .....                                                | 61 |
| Mirko Dumanović:<br>Opravljanost primene numerički upravljanih mašina<br>za elementarnu operaciju struganja u Fabrici<br>"Hodnih strojeva" Industrije "14 oktobar" ..... | 69 |

### MONTAŽA

|                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Zoran Seljak:<br>Montaža - novo područje inovativnog dela .....                                                                                                | 75  |
| Vojko Kozec, Zoran Seljak:<br>Raziskava uporabnosti fleksibilnih strežnih<br>naprav na primeru montaže turbinskega dela<br>elektromotornih sesalnih enot ..... | 101 |
| Dragica Noe, Zoran Seljak:<br>Automatizacija strege pri rotacijskem kovanju .....                                                                              | 113 |
| Toplica Milovanović, Dragoslav Stoiljković:<br>Primena principa integracije izrade elemenata i<br>montaže čelije modularne tastature .....                     | 121 |
| Slobodan Jovanović:<br>Izvršni organi (hvatači) manipulatora za montažne<br>processe .....                                                                     | 125 |

NUMERIČKI UPRAVLJANI SISTEMI

# XVIII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE NIŠ 1984. GODINE

## NUMERIČKO UPRAVLJANJE I NU TEHNOLOGIJE - JEDAN REALISTIČKI PRISTUP

Dr Aleksandar Pavlović, red.prof.  
Mašinskog fakulteta u Nišu

### 1. UVOD - ISTORIJA I VIZIJA

Numeričko upravljanje nije nova vrsta mašine alatke. Numeričko upravljanje (NU) je sistem sposoban da interpretira na neki način, kroz simbole zadate koordinate i da pomoću njih upravlja izvršnim funkcijama raznih mašina do željene tačnosti. Ovako definisano numeričko upravljanje primenljivo je na mašine za obradu metala, obradu drveta, na robote, na mašine za montažu, kontrolu itd.

Početak razvoja NU je vezan za John T. Parsonsa, koji je imao problema sa obradom složene forme helikopterovog rotora. Povezujući se sa Franc Stulenom koji je eksperimentisao sa programima na IBM-ovoj rapunskoj mašini, Parsons je postavio zahtev da se izračunaju 200 koordinata položaja glodača na konturi predmeta. Stavljajući potom dva čoveka na ručice za upravljanje zavojnim vretenima "Bridgport" mašine, Parsons je komandovao poziciju obrade po tabeli izračunatih koordinata [7]. Ovako je oko 1948. godine počelo numeričko upravljanje, već u prvoj fazi vezano za računar. Svoju invenciju John Parsons je nazvao Cardamatic i Digitron.

Dalji korak je učinjen u zajednici sa Laboratorijom za servo mehanizme Masinaetaskog Instituta za tehnologiju, u okviru ugovora sa Armijom SAD\*). Naručena mašina je trebala da obradjuje složene delove aviona i da bude upravljana korišćenjem bušene karte IBM-a. Koncept interpolatora je dao Jay Forrester, inače skeptik po pitanju budućnosti NU, a šemu interpolatora je u diskusiji ucrtao na pozadini starog kovrta [7].

Upravljanje jednom osom je ostvareno 1951. godine (jula), a u septembru iste godine je započeo rad na drugoj i trećoj osi. Sep-

\*) Razvoj avijacije tog doba nadmašivao je mogućnosti mašine alatke.

tembra 1952. godine numerički upravljana glodalica sa upravljanjem u tri ose je prikazana i demonstrirana, a bušene kartice su zame-njene bušenom trakom, kao praktičnijom "za slučaj da kartice padnu na pod" u radionici, što je moglo da se očekuje kad tad. Prva nume-rički upravljana mašina je prema tome bila tehnički visoko razvije-na mašina za obradu kontura i lukova u tri ose i upravljana pomoću računara.

Prva komercijalno upotrebljiva mašina je proizvedena 1955. go-dine od firme Gidding and Lewis (Numericord) u saradnji sa MIT.

Dalji razvoj se kretao ka stvaranju jednostavnijih sistema up-ravljanja, a većina tada razvijenih sistema nije bila pravo numeri-čko upravljanje.

1955. godine kompjuter počinje da vrši posao izračunavanja po-dataka potrebnih da se odrede pravilni uslovi obrade, uzimajući u obzir promenljive kao što su: vrsta alata, pomak, dubina rezanja, materijal itd., ukupno 14 promenljivih.

U ovom periodu počinje euforija izazvana očekivanim mogućnos-tima kompjutera i numerički upravljanih mašina alatki, te započinje rad na stvaranju visoko integrisanog proizvodnog sistema upravlja-nog pomoću centralnog računara. Konceptija je poznata pod imenom "Mollins 24" i sadržala je sve elemente automatizacije koji i danas važe: NU mašine povezane u sistem sa računarom i automatizovanim transportom alata i radnog predmeta, sa visoko kvalifikovanim ope-ratorima računara, sa nekvalifikovanom radnom snagom koja je radila u dve smene. U trećoj smeni proizvodni sistem je radio sam, skoro bez ljudi. Izveena fleksibilnost i proizvodnje je obezbedjena prome-nom programa tokom 24 časa, po čemu je sistem i dobio ime.

Projekat razvijan od D.T.N. Williamsona u periodu od 1951. do 1967. godine, veoma popularisan i kod nas i na svim svetskim sajmo-vima, pretrpeo je neuspeh [13,14] i bio napušten. Slična sudbina je snašla i druga ostvarenja ovog doba koja su imala za koncept istu ideju ali sa jednostavnijim rešenjem.

J. Hatvany [13] ovaj period muka naziva "period košmara" koji neminovno mora da nastane posle faze entuzijazma. Kao i kod De Vin-čijevih ideja, ljudska misao je i ovog puta išla ispred tehničkih mogućnosti i neuspeh je bio neizbežan. Mišljenja sam, da se u sluča-ju velikih ljudskih investicija može da zapazi isti razvojni proces koji je prošao, a i danas prolazi razvoj živih organizama. U počet-noj fazi razvoja nastaje bujanje životnih formi u raznim pravcima. Neki od ovih pogrešnih pravaca doživljavaju čak i dugotrajan razvoj dovodeći do stvaranja velikih i složenih životnih formi, da bi na kraju izumrli kao neprilagodljivi za iskušenja pred koja ih postav-lja okolina.

Istorija tehnike je brojna ovakvih primera, pa ni razvoj NU ni-je nikakav izuzetak. Brojna NU i kvazi NU izvodjenja su danas dale-ka prošlost, zaboravljena i odbačena.

Za inženjera, za onog koji se bavi razvojem i eksploatacijom, najvažnije je pitanje: kako u takvom hodu života prepoznati parametre sistema koji će preživeti razvojnu fazu i koji će ući u mirniji tok razvoja, karakterističan za sve sisteme koji su se održali?

Sa namerom da pokušamo da nadjemo odgovor, vratimo se opet na istoriju razvoja NU. Godine 1956. razvija se sistem (General Dina-mics Corp.) koji kombinuje obradu podataka na računaru, a instruk-cije beleži na magnetnu traku za dalju upotrebu na NU mašini alatki. Dve godine kasnije (1958.) pojavljuje se prvi obradni centar - Kear-ney Trecker Model - II, upravljani pomoću trake i sa izmenjivačem ala-te. Prvi obradni centar je dakle realizovan pre 26 godina.

Ovo su bile snažne demonstracije tehničke moći u pre-tranzistor-skoj eri, ali je bilo jasno da neki novi tehnološki problem mora da se načini da bi sistemi postali operativniji i prilagodljiviji za

praktičan i efikasniji rad.

Prodor je nastao 1959. godine razvojem APT jezika za računar, namenjenog programiranju geometrije za NU mašine. Ulazni podaci zadati u obliku instrukcija na bušenoj kartici za računar, unošeni su u računar koji je onda generisao bušenu traku za upotrebu na NU mašini. Transistor i štampana kola nastupaju sa 1960. godinom. Robot sposoban da hvata komade različite konfiguracije javlja se 1961. godine [7], pre 23 godine. Minijaturizacija komponenta elektronike je smanjila dimenzije NU sistema, pa se već u ovom periodu javljaju dve mogućnosti programiranja: programiranje na samoj mašini i programiranje na specijalnim uređajima van mašine ili sa računarom. Ovi pravci programiranja, na mašini ili van mašine, tokom sledećih godina će se razvijati sa promenjenim uspehom za obe strane. U zavisnosti od tehnološkog prodora, pojedini pravci će se gasiti da bi noviji izdanci opet iznikli u nešto kasnijem dobu, ilustrirajući veliku fluidnost koncepcije sistema u periodu sedamdesetih godina.

Svi elementi za pokušaj novog povezivanja u veći proizvodni sistem sada su ponovo tu i 1968. godine dolazi do pojave novog koncepta upravljanja poznatog kao DNC (Direct Numerical Control) ili DNU - direktno numeričko upravljanje, u koga računar direktno upravlja sa NUMA. Demonstracija Dynapath 1500 NU sistema izvršena je na Sundstrand Omnimil mašini povezanoj za računar IBM 360. Eksperimentišući sa mogućnošću računara, utvrđeno je da 256 mašina mogu da budu povezane za računar ovog tipa i da rade pod njegovom kontrolom, bez posredstva traka ili nekog drugog nosioca informacije. Kasnija praksa je svela ovaj broj od 256 mašina na oko 15, uz upotrebu raznih skladišta memorija (buffera) i ako je tačno da je razvojni vek neke uspešne inovacije oko 25 godina od prve "blede" ideje do stabilnog razvoja, onda DNU pre izgleda izdanak u stranu nego pravi put.

Očigledno je da se čovek teško oslobađa svojih ideja i da ga želja da upravlja umesto da radi teško napušta iako je još H.G.Wells opisao kako će izgledati ta automatizovana budućnost čovečanstva. Ako DNU tehnologija, po mom mišljenju, predstavlja samo jedan izdanak koji se postepeno gasi, uvođenje integrisanih kola u sistem NU dovelo je do stvaranja novih NU sa mogućnošću obrade izvesnog broja podataka, tzv. CNC (Computer Numerical Control) ili KNU. Stvaranjem CNC ili KNU (kompjutersko numeričko upravljanje) sa kasnijim proširivanjem mogućnosti uvođenjem mikroprocesora, NU je ušlo u stabilnu fazu razvoja. Proces uvođenja CNC tehnologije započeo je oko 1968. godine, dakle čitavih 20 godina iza Parsons-ove invencije i traje i danas, a svi među-sistemi nastali u ovom periodu već su davno pokopani i zaboravljeni.

Razmišljajući o eksponencijalnoj krivi sa kojom se često prikazuje rast tehnologije numeričkog upravljanja, čini mi se da bi ilustracija bila stvarnija ako bi kriva napretka sadržavala predstavu stabla razvoja u kome NU predstavlja osnovu a CNC stablo u nekoj fazi rasta sa mnoštvom već osušenih i otpalih izdanaka na sve strane.

Istovremeno, brzina rada i memorijski kapaciteti računara omogućuju najavu novih tehnologija, CAD i CAM (Computer aided design i Computer aided Manufacturing) - Kompjuterski podržana konstrukcija i kompjuterski podržana proizvodnja, u našem označavanju - PPK i KUP. Prvi soft-ware za CAD i CAM potiče iz ovog perioda, prvi programabilni automati počinju sa 1969. godinom, a prvi mikrokompjuteri su iz ovog perioda.

1970. godine japanska industrija započinje proizvodnju znatnijih količina NU mašina po prvi put (pre 14 godina). Robot sposoban da prepozna dvodimenzionalne crteže i trodimenzionalne predmete razvijen je u Japanu. DNU je još u ekspanziji. Godina 1971. je godina robotike. Ovo je ta lođe period pokušaja statističkog predviđanja budućnosti proizvodne tehnologije, izvršen od strane Merchanda

i drugih. Mikrokompjuter je ušao u numeričko upravljanje, stvarajući sistem CNC, fleksibilnost rada je povećana, izmena programa olakšana, primenljivost na razne mašine je dovedena na nivo soft-ware. Sve je ponovo bilo spremno za novi korak. Bilo je jasno da se dalji razvoj nije mogao da vrši sa postojećom tehnologijom. Mikroprocesor je taj koji je oko 1974. godine unosi potrebnu i očekivanu inovaciju. EXAPT jezik za programiranje NU geometrije i tehnologije je već bio demonstriran, [43].

Sa gledišta numeričkog upravljanja, pojava mikroprocesora je značila dalje učvršćivanje i proširenje mogućnosti CNC sistema upravljanja, lakše programiranje, programiranje sa standardnim jezicima, mogućnost memorisanja programa, izmene, komunikacije, povezivanja, pojavu displeja u vidu monitora itd., olakšan je rad sa konzole. Ovaj je način programiranja približen nivou mašine, bez raskidanja veze sa integralnim sistemom, eventualno centralizovano programiranje je približeno mašini uz pomoć mikrokompjutera dovodeći velike centralizovane DNU sisteme do sudbine iščezlih mastodonata.

Ali, ideja o integrisanom proizvodnom sistemu nije iščezla. Prema J. Hatvany [13], za propast starog sna, kriv je novi san. Vizionari razvoja proizvodnih sistema pokušavaju da predvide razvoj uvođeći u analizu razne faktore, ovaj put i faktore motivisanosti čoveka u novim, automatizovanim uslovima, kao i faktore očuvanja čovekove okoline.

Koncepti unutrašnjeg organizovanja proizvodnog sistema variraju od visoko integrisane proizvodne organizacije - Integrisani Proizvodni Sistem (IPS) bazirani na CAD/CAM (PPK/KUP) tehnologiji, do sistema sa više autonomije, ali opet računarom povezanih u sistem. I jedni i drugi autori imaju iste argumente za različite izlaze, pa se na polju tehnologije izgleda nalazimo u fazi kada još nije dostignut stabilniji tok razvoja koji odbacuje preživela rešenja. Načiniti automatizovanu fabriku, pa čak i fabriku "bez ljudi" nije naročiti tehnički problem ako se radi o jednom proizvodu. Brojni su primeri takvih fabrika. Načiniti proizvodni sistem sposoban da lako predje sa jednog na drugi proizvod u maloserijskoj proizvodnji je problem i u kompjuterskoj eri.

Ovaj cilj treba da reši koncept Fleksibilnih Tehnoloških Sistema (FTS) i fleksibilnih tehnoloških ćelija, koje svoj teorijski, pa i pojedinačni praktični debi doživljavaju osamdesetih godina. Treba reći da je idejni koncept fleksibilnog postrojenja postavio još 1952. godine John Diebold [13], zamišljajući FTS kao grupu proizvodnih mašina, povezanih nekim jeftinim transportnim sistemom, sa NU mašinama kontrolisanim malim digitalnim računarom. Ako je ovo ona "bleda" ideja od koje treba da protekne 25-30 godina do stanja stabilnog razvoja sistema, onda je ovaj rok tu, ali stabilnost razvoja FTS još nije postignuta.

Ostavljajući za sada na stranu pitanje da li su FTS na pravom delu stabla razvoja ili samo na jednoj od grana čiji dalji opstanak nije poznat, primetimo da se princip FTS vezuje za poznatu Grupnu Tehnologiju (GT), te tako GT filozofija postaje ponovo otkrivena i predmet oduševljenih hvaljenja, ali i kudjenja. Iz ovog razloga pitanju GT u okviru budućih sistema, možda kao ključnu tačku kod razmišljanja o budućim sistemima, biće nešto kasnije posvećeno više pažnje.

J. Hatvany [14] suočen sa svim današnjim problemima oko soft-ware-a, uskladjivanja, upravljanja itd., najavljuje pojavu "intelegentnih sistema" i "intelegentnih proizvodnih sistema" kao lek za sve muke. Iz ovoga proizilazi da smo sada u fazi "cvetanja" neintelegentnih sistema, da iz ovih dolazi faza "intelegentnih sistema", a ovu će zameniti, pretpostavljam, super sistemi, pošto se po iskustvu razvoj ne prekida.

Primerja izvodjenja automatizovanih integrisanih proizvodnih sistema sa ugrađenim elementima FTS ima danas. Jedan od njih "Fanuc" je namenjen proizvodnji 40 veličina elektromotora. Sistem je sastavljen iz ćelija posluživanih robotom. Upravljanje se vrši pomoću mini kompjutera i centralnog računara. Transport izmedju ćelija je pomoću vozila koje sledi indukcijonu šinu ukopanu u pod. Oko 120 robota i 60 ljudi rade u pogonu. U trećoj smeni postrojenje radi "bez ljudi". Uslov da postrojenje u trećoj smeni radi "bez ljudi" nije samo demonstracija tehničkih mogućnosti. Ovaj uslov, bar danas, postavlja ekonomija, pošto se inače navedeni kapacitet može da ostvari i sa oko 150 ljudi, bez robota, kompjutera itd. Treba primetiti da se ovde radi o porodici tipa delova, a ne o grupi delova koji nesumice nailaze, što znatno olakšava organizovanje proizvodnje.

## 27 PROGNOZA I STVARNOST

Govoreći o visoko integrisanim proizvodnim sistemima čiji je jedan od glavnih zagovornika Merchand, prof. B.L. ten Horn u radu pod naslovom "Abstraktno i praktično" navodi da mu to liči na preindustrijsku eru gde je "baza Autokratizam, Gospodar šalje neprikošnovena pravila (ponašanja) pomoćnicima, u zavisnosti od mogućnosti i potrebne veštine, na način koji blisko podseća na vojničku komandu" [46].

Prognozirajući razvoj proizvodnih sistema, Merchand u više navrata, počev od 1971. godine, daje pregled rezultata Delphi prognoze [19] od kojih se neka navode:

1. Sa 1980. godinom, računarski soft-ware za potpunu automatizaciju kompletne proizvodnje i optimizaciju svih koraka u izradi delova biće razvijani i u širokoj upotrebi.
2. Sa 1985. godinom puna on-line automatizacija i optimizacija kompletne proizvodnje, upravljana od centralnog računara biće realnost.
3. Sa 1990. godinom, više od 50% svih proizvodnih mašina alatki neće stojati "same" već će biti deo lako promenljivog proizvodnog sistema.

Matematička analiza rezultata Delphi prognoze bila je uskoro podvrgnuta kritičkoj analizi od strane Szafarczyk-a [36], kojom prilikom je uzgred konstatovano da su u predviđanju razvoja najveći optimisti stručnjaci iz oblasti grupe "kvalitet površine", a najveći pesimisti stručnjaci za obradu rezanjem. I pored pozitivnog dejstva pesimista, ostvarenje navedenih predviđanja prilično kasni u odnosu na 2000-tu godinu, ali se zato pojavljuju inovacije koje uopšte nisu bile predviđene.

Prema Merchandu, najveći napor u iskorišćenju proizvodne tehnologije može da bude postignut primenom računara na ceo sistem konstrukcije i proizvodnje - upotrebom CAD/CAM sistema, [20,22,23].

Bjorge, međutim, navodi da je osnovna ideja ovakvog centralizovanog upravljanja postizanje optimalnog opterećenja, pa konstatuje da su u praksi promene u proizvodnji tako česte da se to ne postiže ovim putem, te je stoga potrebno planiranje u dva nivoa:

- prvi nivo: centralizovano planiranje za grupu mašina,
- drugi nivo: interno planiranje unutar grupe mašina.

Konstatujući da se programiranje NU mašina prenelo u kancelarije, što je šteta, i da ga treba vratiti u radionice, Bjorge [1,2] zagovara formiranje manjih autonomno organizovanih proizvodnih jedinica (cellular typ), upravljenih računarom i na kraju povezanih za veći centralni računar, koji ne mora da bude u istom mestu.



Iako su oba pristupa bazirana na upotrebi računara u proizvodnji, pa i konstrukciji, kao i upotrebi NU mašina, razlika je bitna. Specijalno u hard-ware-skom i soft-ware-skom delu, pošto su očigledno u manjem autonomnom sistemu komunikacione veze lakše ostvarive, potrebni su manji računarski sistemi, a moguće je održati vezu sa većim sistemom i bankom podataka. Kao što se vidi, stavovi se razlikuju, i za nas je, stoga, od značaja da realno utvrdimo pravac razvoja proizvodnog sistema i u tom pogledu vredi sagledati ulogu grupe tehnologije (GT) u svetlu NU tehnologije [35] i računarom kontrolisane proizvodnje.

## 2.1. Grupna tehnologija i NUMA tehnologija

Dobro poznata grupna tehnologija bila je skoro nepoznata na Zapadu sve do 1975. godine, mada su i pre toga na zapadu postojale institucije koje su komercijalno nudile ovu tehnologiju. Promena nastaje kada su postavljeni novi ciljevi NU tehnologije: automatska obrada malih serija (poluserijska) i fleksibilnost kod obrade delova.

Istorijski razvoj GT je poznat. Ova tehnologija je razvijena u pred-kompjutersko doba, a oko 1975. godine je uključen računar u GT. Organizacija za Industrijski Razvoj (TNO) u Holandiji, npr., radila je 1975. godine soft-ware-ski paket za primenu GT. Klasifikacioni kod je imao 12 cifara i sadržavao i konstrukcioni i proizvodni deo, [7]. Veliki broj teorijskih radova, naših i stranih, u periodu osamdesetih godina, ističe značaj GT i formiranje GT-ćelija, pa tako Bjorge [1,2] navodi da po prvi put u istoriji sva tri glavna faktora: tehnologija, ekonomija i socijalni faktori vode ka grupnoj organizaciji unutar proizvodnih sistema [21].

Sa konceptom automatskih fleksibilnih tehnoloških ćelija GT postaje glavna teorijska podrška ovim sistemima, pošto su sve mašine i kapaciteti orijentisani na obradu grupe delova na NU mašinama alat-kama, a posluživani od robota koji je takodje uključen u sistem upravljanja, umesto da budu upravljani od čoveka. Razlika između GT ćelije sa čovekom ili robotom je samo u tome. GT ćelija sa čovekom je po prirodi stvari ograničeno fleksibilna. Fleksibilna tehnološka ćelija sa robotom ne može da bude fleksibilnija od prve, a problemi afikasnosti ostaju nepromenjeni ili su pogoršani. Treba reći da ovde često postoji nepreciznost u pogledu navodjenja pojma "grupa" i "tip". Dogadja se da proizvođač sistema definiše fleksibilnu tehnološku ćeliju kao sistem sposoban da obradjuje delove koji nasumično nailaze iz grupe delova, dok drugi navodi da fleksibilna tehnološka ćelija obradjuje delove istih tipova [30,32]. Formirati automatsku fleksibilnu tehnološku ćeliju za tipske delove nije veliki problem, to je postojalo i pre nego što je stvoren naziv "fleksibilna tehnološka ćelija". Formirati automatsku fleksibilnu ćeliju za grupu delova sa obradom po slučajnom rasporedu zaista jeste problem, ali i pitanje da li uopšte treba tako rešavati problem obrade s obzirom na već primedenu neefikasnost GT ćelije.

U našim proizvodnim organizacijama GT se sprovodi još od šezdesetih godina sa malom doslednošću. Skoro svako naše preduzeće razvija sopstveni sistem od kojih neki imaju preko 20 cifara u klasifikatoru, pa se smatra da je i to malo. Čak i iste ustanove ili instituti ugrađuju razne sisteme kod raznih korisnika, [4,12,16,26]. Jedan čestan potez na ovom polju je bio načinjen od strane IAMA i šteta je što je ovo napušteno. Nije naročito bolje ni kod drugih. Tuffensammer [41] navodi da u Velikoj Britaniji samo oko 10% preduzeća ima uvedenu GT. Merchand, međjutim, [23] predviđa da će 1990. godine 75% industrije koristiti GT u proizvodnji, ali ima i suprotnih stavova.

Osnovne primedbe na GT ćelije su poznate. Formiranje krutih GT ćelija zatvara komunikacioni krug, pa stoga može da se dogodi da GT organizacija nije optimalni tehnološko-ekonomski put obrade, niti vodi ka najekonomičnijem i najbržem cilju, mada je zbog toga i formirana. Čak i u pogledu sociološkog dejstva GT organizacije na motivisanost radnika nema složenih mišljenja.

Grupnost je osobina mašine alatke, a sa pojavom NU obradnih centara sa velikim brojem alata i sa skoro potpunom obradom na jednoj mašini, obradni centar je prava mašina za obradu grupe - po prirodi stvari.

Prema Tuffensammer-u [41], koji odlučno raskida sa GT, fleksibilnost NU obradnog centra je dovela do apsurdna precizno uradjene sisteme klasifikacionog označavanja, pa preterana preciznost u primeni klasifikacije nije više opravdana. Ovo je bitan i logičan zaključak pored pomenutog zaključka o optimalnosti GT ćelije.

Zagovornici GT filosofije pokušavaju da prevaziđu ovaj nedostatak GT ćelija, pa zato Burbridge [3] predlaže sledeći koncept:

1. Organizacija proizvodnje treba da bude bazirana na zaokruženom "proizvod" sistemu, tj. proizvod se kompletno izrađuje u odgovarajućem delu proizvodnog sistema.

2. Sve proizvodne organizacije treba da budu male po broju mašina.

3. Operaciono odlučivanje se vrši na nižem proizvodnom nivou.

Veličina ovih poluautonomnih proizvodnih jedinica je 100 do 500 radnika, a unutar ovog skupa je izvršena podela na grupe sa po 15 do 40 radnika.

Nedostatak efikasnosti GT organizacije pokušava takodje da ispravi Tisley [40] organizovanjem kaskadnih GT grupa. Grupe su kaskadno rasporedjene po složenosti obrade delova, a sadrže 10 do 20 mašina, dakle imaju pre oblik malih radionica nego ćelija sa širokom grupom delova.

Ne ulazeći dalje u analizu radova i predloga [6] treba izvući osnovne momente od interesa za naše Proizvodno mašinstvo, kako bi mogli da se uključimo u očekivani razvoj bez većih potresa i nepotrebnih investicija:

1. Proizvodne organizacije treba da budu organizovane po zaokruženom principu "proizvod" a ne "proces".

2. Veličina proizvodnih organizacija treba da bude 100 do 500 radnika.

3. Ako se radi o klasičnim mašinama interna organizacija treba da se sastoji od GT opremljenih mašina sa grupom ne manjom od 10 mašina.

4. Sa uvođenjem NU i NU obradnih centara, značaj organizovanja u GT linije slabi pa ne treba ići u strogo GT organizovanje i u precizno klasifikaciono označavanje.

5. Operaciono odlučivanje treba da se vrši na nižem nivou, opremljenom sa miniračunarom.

6. Programiranje NU mašina se vrši na samoj mašini, ili za nekoliko grupa mašina, u okviru radionice, uz pomoć miniračunara.

7. Svi kompjuterski punktovi u radionici su povezani za centralni računar proizvodne organizacije, odakle se vrši praćenje izvršenja, finansijsko poslovanje, globalno planiranje, praćenje zaliha itd.

Ovakav koncept ne traži velike reorganizacije, definiše hardware-ake potrebe proizvodnih organizacija, kao i soft-ware potreba za upravljanje proizvodnjom (CAM), dok CAD za dogledno vreme (do 2000-te godine) obuhvata upotrebu računara u proračunu i kompletiranju tehničke dokumentacije.

Soft-ware za upravljanje procesom obrade u ovakvim slučajevima postaje glavni problem, pa je u daljem delu teksta dat jedan intere-

santan matematički model [15] ekonomsko-operacionog puta koji traži optimalni put u realnom vremenu, uz prisustvo ograničenja, kao što su: rok isporuke, kapacitet, minimalni troškovi, itd.

Funkcija cilja:

$$C = CP + TS + EC$$

gde je:

$C$  - ukupni troškovi.

Model:

$$PC = \begin{bmatrix} PC_1 \\ \vdots \\ PC_i \\ \vdots \\ PC_\omega \end{bmatrix}, \quad T = \begin{bmatrix} t_{111} & \dots & t_{1k\sigma} & \dots & t_{1\mu\nu} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{i11} & \dots & t_{ik\sigma} & \dots & t_{i\mu\nu} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{\omega 11} & \dots & t_{\omega k\sigma} & \dots & t_{\omega \mu\nu} \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} u_{11} \\ \vdots \\ u_{k\sigma} \\ \vdots \\ u_{\mu\nu} \end{bmatrix},$$

Troškovi izrade:

$$PC = T \cdot U$$

Transportni troškovi za deo (i):

$$\pi(TC)_i^p = I(TC)_i^p + II(TC)_i^p + III(TC)_i^p$$

Ukupni transportni troškovi:

$$TC = \sum_{p=1}^h \sum_{i=1}^{\omega_p} \pi(TC)_i^p$$

Troškovi ležanja i čekanja:

$$(EC)_i^p = \left[ W_i(1+\theta)^{(d_i+d_{oi})} + \sum_{\pi=1}^n \pi(PC)_i^p(1+\theta)^{(d_i-d_{\pi i})} - \{W_i + (PC)_i^p\} \right] q_i$$

Navedeni algoritam može da bude podešen i za GT sisteme, mada u principu ovaj algoritam traži optimalni put u svakom slučaju i prema tome nije obavezan da sledi kruto postavljenu GT liniju, koja ne mora da bude optimalna, kao što je već konstatovano.

Ako smo do sada utvrdili da je CNC i programabilni automat osnova automatizacije proizvodnih sistema potpomognutih sa CAM i ograničenim CAD i da postoji soft-ware koji omogućuje optimizaciju procesa obrade u organizacijama ranije definisane veličine, tada se postavlja pitanje prave uloge automatizovanog transporta u sistemu prvenstveno robota.

## 2.2. NUMA i NU roboti

Prema definiciji usvojenoj od ISO robot je: "poziciono kontrolisan, programabilan manipulator upotrebljiv za razne svrhe, sa više stepeni slobode, sposoban za prenošenje materijala, delova, alata i specijalnih uređaja, sa promenljivim i programiranim kretanjima potrebnim za izvršenje raznih radova".

Robot može da bude opremljen sa više ruka koje se završavaju hvatačem. Izvršni deo je kat-kad opremljen sa sezonskim sistemom za specijalne svrhe. Mnogi radovi su od 1970. godine objavljeni u vezi sa ovom temom [24,25,26,27,29].

Robot treba da bude sposoban da radi u tri smene neprekidno, da može da se poveže u opšti sistem upravljanja, da je lako programabilan.

Nekoliko iskustvenih principa važi kod izbora robota [37]:

1. Robot je značajna investicija koja mora da bude brižljivo ispitana, kratkoročno i dugoročno.

2. Robot treba da ima dovoljno posla da bi se investicija isplatila. Iz ovog razloga robot treba da radi u tri smene.

3. Loše koncipirana proizvodna linija sa starim mašinama obično nije produktivnija ako je opremljena sa robotom.

4. Konstrukcija delova i sklopova koji će biti opsluživani pomoću robota mora da bude podešena za najbolje korišćenje robota.

5. Prvi nabavljeni robot treba da bude potpuno opremljen za rad sa programima i alatima. Sledeći nabavljeni robot treba da bude nasuprot prvom bez alata i programa, radi postizanja samostalnosti kod korišćenja.

6. Treba se odlučiti za proizvodjača koji obezbeđuje trening, brzu isporuku rezervnih delova, servis, stalnost programa.

Neusklađen proizvodni sistem sa robotom može da dovede do povećanog opterećenja radnika na mestima koja su ostala nepromenjena, do psihološke tenzije radnika, naročito ako robot i računar učestvuju u "hvatanju" čoveka u greškama. Zapažen je čak i pad kvaliteta proizvodnje u ovakvim slučajevima.

Ozbiljan problem se postavlja: kako razrešiti situaciju ako neki od automatiziranih sistema kao što je robot, doživi kvar, a to mora da se desi jednom. Pošto u principu robot zamenjuje čoveka, to mora da postoji čovek koji će zameniti robota. Iz ovog razloga u SAD se vrše napor da robot dobije takve dimenzije i oblik da može lako da se ukloni i zameni drugim robotom. U svakom slučaju treba imati ili rezervne ljude, ili rezervne robote.

Postoje izjave korisnika: "Robot ne olakšava život, on ga otežava!", ali na svu sreću postoje pokreti koji se lako programiraju i podešavaju, monotoni su ili opasni po čoveka i to je pravo mesto za robota koji, ako je još snabdeven i senzorom, može da potraži komad koji nije postavljen na pravo mesto.

Robot može da bude upotrebljen za punjenje i skidanje komada ili alata sa mašine i prebacivanje na drugu mašinu ili na transportni sistem ili na kontrolno mesto.

Iz ovog razloga, mišljenja sam da će robot početi da menja glomazni koncept obradnog centra, te će obradni centri od sadašnjih složenih mašina ponovo postati jednostavni sistemi sa magacinom alata čak možda i "egg" tipa koga je posluživao čovek. Ovakav adaptivni koncept bi omogućio pretvaranje mnogih postojećih NUMA u obradne centre na relativno jednostavan način. U industriji zapadnih zemalja postoje proizvodjači jednostavnih i jeftinih robota koji mogu da se podese i dodaju na postojeću NUMA. Ovakve firme obično uz isporuku robota izvrše i potrebne radove oko "interface".

Ne treba očekivati da se uvođenjem robota odmah podiže produktivnost. Merenja [8] su pokazala da je proces punjenja i skidanja radnog komada sa mašine sporiji u slučaju rada sa robotom i da ukupno vreme ("od poda do poda") može da bude i 25% duže nego kada mašinom rukuje čovek. S druge strane, robot je neumoran, nema pauza, radi sam u trećoj smeni i ukupan efekat može da bude u korist robota ako su ispunjeni svi ovi uslovi.

Tipična primena robota danas, sprovedena je tamo gde se rade monotoni i opasni poslovi kao što su prenošenje adheziva, boja, kod

tačkastog i lučnog zavarivanja. Prednost robota na ovim mestima je brzina rada, neumornost i nepogrešivost.

Medjutim, iako je robot mašina koja se postavlja na mesta opasna po čoveka, sam robot je opasna mašina i specijalne mere moraju da budu preduzete da ne dodje do ozlede čoveka.

Analizirajući ranije navedene razloge neuspeha visoko integrisanih sistema Hatvany [13] navodi dva principa koja važe i ovde i svuda, u svakom sistemu:

1. Sistem treba da bude izgradjen iz pouzdanih modula. Svako odstupanje od ovoga dovodi do kazne u vidu utroška vremena i sredstava.

2. Sistem ne može da bude pouzdaniji od najslabijeg dela sistema. (Ovo je poznat zakon pouzdanosti, za sisteme vezane u liniju).

U kombinaciji sa video sistemom (Vision sistem) [31] robot postaje fleksibilniji, može da prihvata komade koji nisu pravilno namešteni, da vrši prepoznavanje itd., dakle svuda gde se radi o većoj količini radova koji traže veliku čovekovu pažnju, monotoni su ili opasni.

U svakom slučaju, pre uvođenja robota korisno je ispitati da li postoji neka druga alternativa.

### 3. ZAKLJUČAK - REINDUSTRIJALIZACIJA I/ILI INVENCIJA

U prethodnom rasmatranju je načinjen pokušaj da se iskristališu NU invencije i NU tehnologije koje su ušle u stabilan razvoj karakterističan za sisteme koji su uspeali da prežive.

Kako stoji stvar sa reindustrijalizacijom?

Očevidno, ne može da se očekuje da će industrija početi masovno da napušta postojeći mašinski park, tim pre što se i po pomenutim prognozama predviđa da će oko 2000-te godine NUMA biti zastupljene sa oko 50%. Ostali deo opreme će se sastojati od klasičnih mašina alatki, te nužan i hitan posao modernizacije treba da bude opremanje svih ovih mašina sa digitalnim pokazivačima položaja alata, read-out-om, koji mogu da se nabave u našoj zemlji. Poznato je da ugradnja ovih sistema podiže produktivnost i kvalitet proizvoda, a investicije nisu velike.

Uopredno sa ovim, treba da postoji stav da svaka buduća mašina treba da bude CNC mašina, po mogućstvu sa jedinstvenim sistemom upravljanja. Jedini način da se naša elektronska industrija sporazume jeste da proizvođači uslove jedinstven sistem CNC, a to je moguće.

U svakom konkretnom slučaju, kada se radi o upravljanju jednim procesom treba ići na upotrebu programabilnih kontrolera ili automata, koji se takodje proizvode u našoj zemlji.

Bez obzira da li se organizacija proizvodnje sprovodi po principu "proizvod" ili "proces", operaciono planiranje i programiranje treba spustiti na nivo radionice za jednu ili više grupa mašina, uz pomoć mini računara povezanih u drugoj fazi dalje u sistem sa centralnim računarom. I mini računar i centralni računar mogu da se nabave u našoj zemlji za kapacitete koji su ranije diskutovani, a ne predstavljaju neprihvatljivu investiciju.

Soft-ware je problem na kome su mnogi radili. Objavljeni radovi pokazuju da su mnogi soft-ware-i u fazi testiranja, pa je ovde potreban organizovaniji i konkretniji pristup, možda i kroz savetovanja proizvodnog mašinstva, Jupiter i dr.

Stav proizvođača, korisnika računara bi trebao da bude: koji soft-ware za CAM dobijam uz računar? Moćna i atraktivna mašina bez soft-ware-a nikome nije potrebna.

Treba očekivati da će rasti potreba za dopunskim školovanjem radnika za rad na NUMA i računarima, pa se treba orijentisati na

proizvodjača opreme koji to obezbeđuju.

Svi navedeni koraci izgledaju ostvarivi sa umerenim investicijama, a proizvodna organizacija postaje time sposobnija da dočeka nove izazove tehnologije i da sprovede primenu tehnika koje su potvrdile svoju životvornost. Pri tome ne treba gubiti iz vida da bujicu novih ideja često popularišu proizvođači sistema koji danas nemaju baš puno posla.

Drugo pitanje koje želim da istaknem je po mom mišljenju jednako važno. To je pitanje invencije proizvoda. Stoji činjenica da dok mi govorimo o NU tehnologiji i eri računara, mnoga naša preduzeća nemaju svoj proizvod niti imaju svoj identitet. Nije retko da je naše preduzeće veće od stranog licencijskog po instaliranim kapacitetima, po ljudskim kapacitetima, pa i po školskom nivou, a zavisi od kreativnog duha i ugleda licencijskog. Mogu da se postave sledeća pitanja kada je proizvod u pitanju:

1. Da li ugled i vrednost našeg proizvoda na svetskom tržištu zavise prvenstveno od stepena reindustrijalizacije?

2. Da li povećanje produktivnosti i sniženje troškova proizvodnje daje garanciju da će naš proizvod, takav kakav je, biti bolje primljen na svetskom tržištu?

3. Da li u današnjem svetu, proizvodi besкраjno niskih cena imaju veću šansu nego proizvodi drugih zemalja koji su skuplji ali i kvalitetniji?

Odgovor je poznat svakom proizvođaču.

Reindustrijalizacija je potreba, ali može da pomogne samo ako istovremeno postoji stalan i grčevit napor da se stvori proizvod koji će postati ekonomsko-tehnički standard drugim proizvođačima na tom polju. Čak i kad se u tome uspe, bitka je još uvek teška i dugotrajna ali može da se dobije.

Analizirajući politiku invencije, Eversheim [9] utvrđuje da postoje četiri osnovna uslova za uspeh proizvoda:

1. Proizvod treba da ima veliko tržište.

2. Proizvod treba da bude pouzdan i lak za proizvodnju i održavanje.

3. Treba biti svestan teškoća i nedostataka koji će se pojaviti u periodu razvoja i ne odustati.

4. Treba upotrebiti visoku računarsko-tehnološku metodologiju da se savladaju prepreke.

Ovo izgleda sasvim jednostavno. U procesu utvrđivanja vrednosti proizvoda, u ranoj fazi "dečjih bolesti", veliki značaj ima eksploatacija proizvoda kod prijateljske firme ili u institutu, metod koji se u svetu široko koristi, ali ne i kod nas.

Invencija proizvoda nije slučajan proces, nije proces zavisen od konstruktora i nije proces sproveden nasumično. Invencija je organizovan, logičan i metodološki obradjen proces koji se planira i na kome se insistira kao na svakom proizvodnom programu. Iako je invencija prvenstveno stvar duha, a od nedostatka duha pate i poznate zapadne zemlje, praksa je pokazala da se inventivnost može da podstrekava, usmerava i ohrabruje i da su male, "gladne" firme skoro po pravilu inventivnije od velikih.

Mišljenja sam da, tako kako uspešno i korisno propagiramo modernizaciju sredstava proizvodnje na našim savetovanjima, treba istovremeno da insistiramo da svake godine predstavimo novi proizvod, da damo kritičku, stručnu i objektivnu ocenu, sa ciljem da razmišljanje u smeru invencije postane naš prirodan način poslovanja.

Nadam se takodje, da je u ovom izlaganju bilo dovoljno polemičkih tonova, koji će izazvati diskusiju o putu našeg proizvodnog mašinstva.



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

- [1] BJØRKE, Ø., Adaptation of MS to countries of diff. States..., CIRP, Vol. 26/2/77.
- [2] BJØRKE, Ø., The Structure of Control Systems for M.Cells, Proc. CIRP, Vol.6, Nr.4, 1977.
- [3] BURBRIDGE, J., The Simplification of material flow systems, VI, ICRP'81.
- [4] BUČAM, M. i grupa autora, Prilog problemu razvoja i uvođenja sistema za projektovanje tehnoloških procesa pomoću računara, Cavtat, 1984.
- [5] CAPUTO, F., Some problems in design of FMS, CIRP, Vol.32/1/83.
- [6] CROOKALL, J., Computer-aided Performance analysis and Design of Cellular M.S., Proc. CIRP, Vol.6, Nr.3, 1977.
- [7] DALLAS, D., Manufacturing engineering, SME, Vol.88, Nr.1, 1982.
- [8] DROZDA, T., Robot Tests Explore Viability of Job Shop Automation, Manuf.Eng., No.5/82.
- [9] EVERSHPIM, W., BARTHALON, M., Inovation Policy in Production Eng., CIRP, 24/2/75.
- [10] GATALO, R., Numeričko upravljanje M.A. i NU-Tehnologija - stanje i tendencije razvoja, XVI Sav.Proizv.Maš., Mostar, 82
- [11] GLIGORIJEVIĆ Z., Centri za nove tehnologije..., Proizvodnja, jul-avgust, 1982.
- [12] GRUM, J., PEKLENIK, J., Razvoj in uporaba kibern. metoda za geom.inform. v proizv. strojništva, XVI Sav.Proizv.Maš., Mostar, 1982.
- [13] HATVANY, J., Dreams, Nightmares and Reality, CAPE 83, Nort-Holland, Amsterdam, 1983.
- [14] HATVANY, J., The Efficient Use of Deficient Knowledge, CIRP, Vol.32/1/1983.
- [15] IWATA, K., Cost Analysis of Process Planning in Integrated Manufacturing System, Proc. CIRP Seminars, Vol.3, No.4, 1974.
- [16] JEZDIĆ, M., Projektovanje i uvođenje inf. sistema za upravljanje proizvodnjom u SOUR "Krušik", Jupiter, Cavtat, 1984.
- [17] JOVANOVIĆ, N., The Interdependence of Technological Development and the Development of Social System, VI, ICRP'81.
- [18] MAKSIMOVIĆ, J., Reindustrijalizacija kao faktor podizanja nivoa tehnološke osnove rada, Jupiter, Cavtat, 1984.
- [19] MERCHAND, M.E., Technology Assessment of the Computer-Integrated Automatic Factory, CIRP, 24/2/75.
- [20] MERCHAND, M.E., Consideration on Machining Information Centers and their Relation to M.S., Proc. CIRP, Vol.6/1/77.
- [21] MERCHAND, M.E., Group Technology - A Sound Foundation for Computer Control of Cellular MS, Proc. CIEP, Vol.6, Nr.3, 1977.
- [22] MERCHAND, M.E., The Future of Computer-Graphics-Based Modeling, Planning, Control and Data Management in M.S., 12 CIRP Int.Sem., Beograd, 1980.
- [23] MERCHAND M.E., Analysis of Existing Techn. Forecasts Concerning, CIAF, CIRP, Vol.29/2/1980.

- [24] MILAČIĆ, V., Fabrike budućnosti i roboti, Jupiter sistem, VII Savetovanje, Beograd, 1984.
- [25] MILAČIĆ, V., Industrijski roboti i manipulatori, XVII Savetovanje proizvodnog mašinstva, Titograd, 1983.
- [26] MILAČIĆ, V. i grupa autora, Prilog problemu razvoja i uvođenja sistema za projektovanje tehnoloških procesa pomoću računara u industr. primenu, Jupiter, Cavtat, 1984.
- [27] MILAČIĆ, V., Simulacione metode za analizu zadataka robota u FTS na bazi veštačke inteligencije, Jupiter Sistem, VII Sav., Beograd, 1984.
- [28] MILAČIĆ, V., Reindustrijalizacija domaće industrije prerade metala, Jupiter, Cavtat, 1984.
- [29] MILAČIĆ, V., Tehnička kibernetika, MFB, 1979.
- [30] MILOJEVIĆ, M., ILR-Fleksibilna automatizacija, Jupiter, VII Savetovanje, Beograd, 1984.
- [31] NOWAK, G., The Advent of Machine Vision Systems, Manuf.Eng., Nov. 1982.
- [32] PANTELIC, P., ILR-Modeli FTC, Jupiter, VII Savetovanje, Beograd, 1984.
- [33] PEKLENIK, J., Proizvodna kibernetika - njen vpliv na tehnički i tehnološki razvoj in produktivnost, X Sav.pr.maš., 1975.
- [34] PETERS, J., Evolution of mech. production methods and Social Development, SIRP, Vol.26/2/77.
- [35] SOLAJA, V., Proizvodno mašinstvo 1965-75, Uvodni referat, X Savetovanje proizvodnog mašinstva, Beograd, 1975.
- [36] SZAFARCZYK, M., Mathematical Evaluation and Graphical Presentation of Delphi - Type Forecast, CIRP, Vol.24/1/75.
- [37] SULLIVAN, M., The Right Job for Robots, Manuf.Eng., Nov, 1982.
- [38] SPUR, G., Simulations processing - Scheduling concept for FMS, CIRP, Vol.32/1/83.
- [39] SCHUPP, G., Flexible Automatic Assembly Lines in Automobile Industry, Ind.and Proc. Eng., 1-84.
- [40] TISLEY, R., Flexible Cell Production Systems, A Realistic Approach, CIRP, 26/1/77.
- [41] TUFFENTSAMMER, G., The Influence of NC Flexibility on the Concept of GT, CIRP, Vol.32/1/83.
- [42] UROSEVIĆ, S., Prilog rasmatranju metoda, primene GT na NUMA, XVI Savetovanje proizvodnog mašinstva, Mostar, 1982.
- [43] ZDENKOVIĆ, MILČIĆ, Alatni strojevi i njihovi suvremeni procesi, Gl.ref., X Savetovanje proizvodnog mašinstva, 1975.
- [44] ZELENKOVIĆ, D., The Flexibility - A Condition for Effective Production System - VI Int.Conf. on Prod.Research, Novi Sad, 1981.
- [45] WEAK, M., Programable Controllers - State of Art - Development trends, CIRP, 26/1/77.
- [46] HORN, T., The Abstract and the Practical, SIRP, 24/2/75.



# XVIII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE NIŠ 1984. GODINE

## INTEGRALNI KONCEPT AUTOMATIZACIJE PROIZVODNJE

Dr Milisav Kalajdžić, vanr. prof., Dr Vladimir Milačić, red. prof.

### 1. UVOD

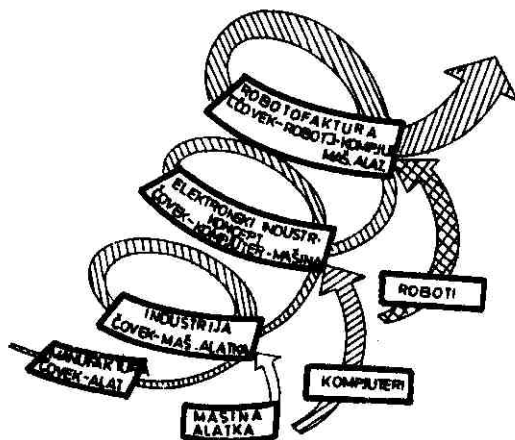
U razvoju industrije, i posebno metaloprerađe, istorijski posmatrano, pojavile su se tri ključne tehnologije i to:

- mašine alatke,
- kompjuteri, i
- roboti,

koje su u hijerarhijskoj nadgradnji, a u posebnom uslovljenom spiralnom porastu, ostvarile odgovarajući tehnološke nivoe /3/:

- industrijski koncept (čovjek-mašina alatka),
- elektronski industrijski koncept (čovjek - mašina - kompjuter), i
- robotofaktura (čovjek/robot - kompjuter - mašina).

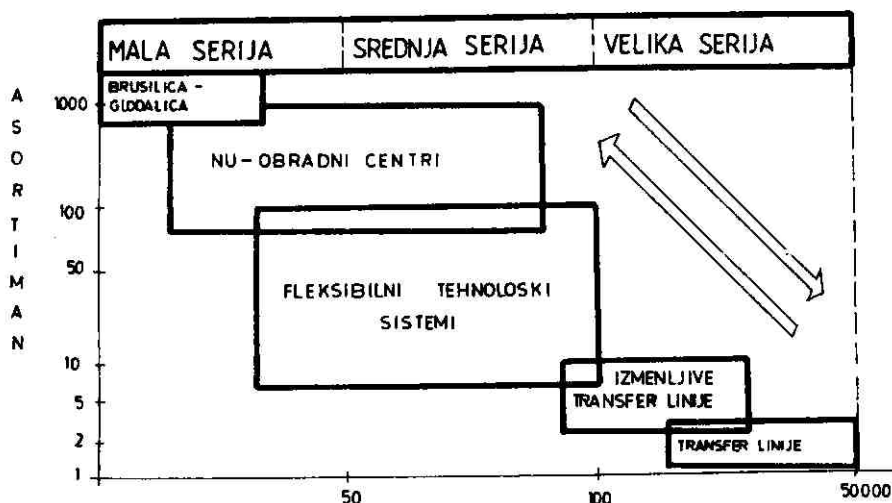
Spiralni uslovljeni razvoj odgovarajućih tehnoloških nivoa prikazan je na slici 1.



Sli. 1. Tehnološki nivoi u razvoju industrije metaloprerađe

Danas industriju metaloprerađe, pored ostalog, posebno karakteriše kompjuterska tehnologija koja ima još neslućene mogućnosti razvoja i primene, dok je difuzija robotofakture još nedovoljna.

Proizvodni prostor se može definisati veličinom serije (mala, srednja, velika), koja u zavisnosti od asortimana, a sa ciljem podizanja produktivnosti, zahteva odgovarajuću optimalnu proizvodnu tehnologiju. Centralni prostor zauzimaju NU obradni centri sa fleksibilnim tehnološkim sistemima (sl. 2).



Sl. 2. Asortiman i veličina serije u funkciji odgovarajućih tehnologija

## 2. TOTALNI FLEKSIBILNI TEHNOLOŠKI SISTEM

S obzirom da fleksibilni tehnološki sistem (FTS) u proizvodnom prostoru zauzima najveći deo, to se i integralni koncept automatizacije proizvodnje zasniva na bazi totalnog fleksibilnog tehnološkog sistema /1/.

Naime, današnji nivo razvoja tehnoloških sistema karakteriše mogućnost izgradnje FTS na bazi kompjuterske automatizacije. Ovi kompleksni sistemi, koji baziraju na kibernetskoj automatizaciji, imaju tri osnovne karakteristike:

- fleksibilnost,
- automatizacija, i
- veštačka inteligencija.

Pod fleksibilnošću se podrazumeva odnos između broja vrste proizvoda i veličine serije

$$F = \frac{\text{BROJ VRSTA PROIZVODA}}{\text{VELIČINA SERIJE}}$$

automatizacija se može definisati preko stepena automatizacije

$$SA = \frac{\text{BROJ RADNIH STANICA}}{\text{RADNIK}}$$

koji se iskazuje preko broja radnih stanica (mesta) koje posluhuje jedan radnik.

Napominje se da su sistemi sa većom fleksibilnošću manje automatizovani i obrnuto, odnosno

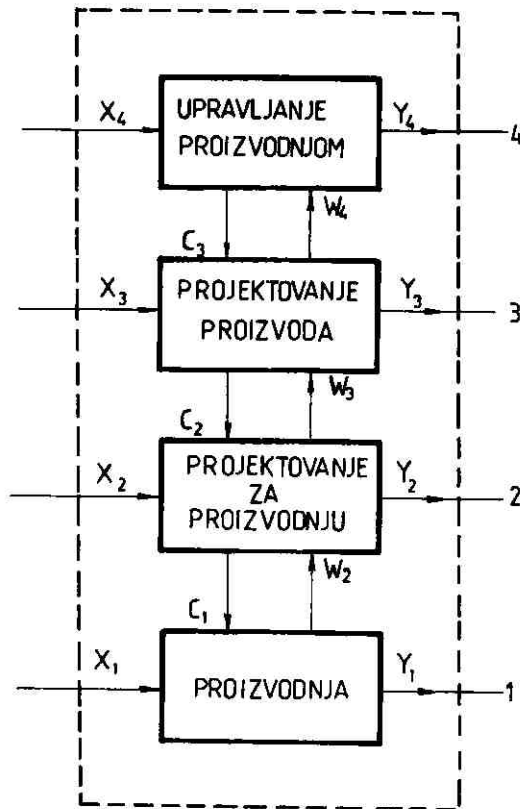
$$F \sim \frac{1}{A}$$

Problem veštačke inteligencije je vezan za kompjuter. Pošto je kompjuter danas sastavni deo inženjerskih sistema to ih treba posmatrati i sa aspekta nivoa veštačke inteligencije.

Navedene definicije fleksibilnosti i stepena automatizacije u suštini odgovaraju tehničkim sistemima sa niskim nivoom upravljanja, dok se za sisteme sa visokim nivoima upravljanja ne mogu u potpunosti primeniti.

Prema JUPITER-konceptu totalni fleksibilni tehnološki sistem ima četiri hijerarhijska nivoa, i to:

- upravljanje proizvodnjom,
- projektovanje proizvoda,
- projektovanje za proizvodnju, i
- proizvodnja (pogon u kome se vrši oblikovanje delova u konačan proizvod).

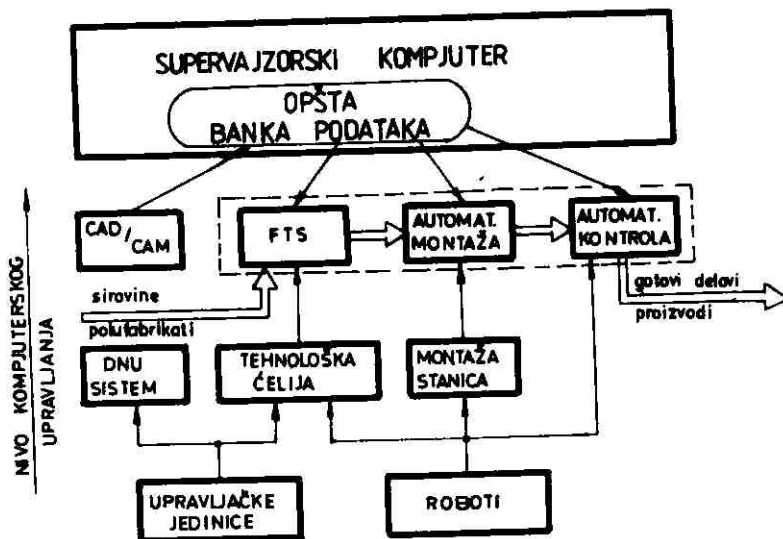


Sl. 3. Opšta hijerarhijska struktura TFS

Opšta hijerarhijska struktura totalnih fleksibilnih tehnoloških sistema data je na sl. 3. Teorijski koncept projektovanja jednog ovakvog sistema, a na bazi vertikalne i horizontalne dekompozicije detaljno je opisan u [1/].

### 3. HIJERARHIJA KOMPJUTERSKOG UPRAVLJANJA

Posebno se dekompozicija totalnog fleksibilnog tehnološkog sistema može izvršiti s aspekta kompjuterskog upravljanja. Jedna hijerarhijska struktura kompjuterskog upravljanja u totalnom fleksibilnom tehnološkom sistemu pokazana je na slici 4.



Sl. 4. Hijerarhijska struktura kompjuterskog upravljanja TFTS

Najniži nivo u ovoj strukturi predstavljaju standardni kompjuteri za upravljanje mašinama alatima i industrijskim robotima. U ovom slučaju to su upravljačke jedinice tipa KNU (CNC - Computer Numerical Control) za mašine alatke, mašine za elektrohemijsku obradu (ECM - Electrochemical Machining), mašine za elektroerozionu obradu (EDM - Electrical Discharge Machining), i dr.

Direktno numeričko upravljanje (DNU) predstavlja sledeći nivo upravljanja i obuhvata bateriju KNU mašina, sa upravljačkog aspekta, objedinjenu preko jednog kompjutera. Kod direktnog numeričkog upravljanja (DNC - Direct Numerical Control), u odnosu na prethodni nivo, uloga i iskorišćenje kompjutera postaju značajni.

Više KNU mašina sa jednim industrijskim robotom, gde je upravljanje obuhvaćeno DNU - sistemom predstavlja jednu tehnološku ćeliju (Manufacturing Cell).

Kompjuter ćelije je u vezi sa kompjuterom robota i kompjuterom DNU sistema. Upravljanje u ovom sistemu odnosi se, pre svega, na koordinaciju opterećenja pojedinih mašina i alata.

Koordinacija operacija na više tehnoloških ćelija uključujući i rukovanje materijalom (polufabrikatima i gotovim delovima) preko centralnog kompjutera ostvaruje se u fleksibilnom tehnološkom sistemu - FTS (FMS - Flexible Manufacturing System). FMS, obavezno obuhvata i sistem za automatsku montažu proizvoda uključujući i odgovarajući transportni sistem sa montažnih stanica podsklopova i sklopova. Konačno, u sistem mora biti uključeno automatsko testiranje i ispitivanje proizvoda.

Posebno iskorišćenje kompjutera odnosi se na automatsko projektovanje proizvoda i automatsko projektovanje procesa, tj. automatsko projektovanje proizvodnje - CAD/CAM-sistem (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing). FTS sa CAD/

|                                    |      |     |     |     |
|------------------------------------|------|-----|-----|-----|
| DUGOROČNO PLANIRANJE               |      |     |     |     |
| KRATKOROČNO PLANIRANJE DOBITI      |      |     |     |     |
| UPRAVLJANJE FINANSIJAMA            |      |     |     |     |
| ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ PROIZVODA    |      |     |     |     |
| PREDVIDJANJE PROIZVODNJE           |      |     |     |     |
| AGREGATNO PLANIRANJE PROIZVODNJE   |      |     |     |     |
| PLANIRANJE I UPRAVLJANJE PRODAJOM  |      |     |     |     |
| PLANIRANJE I UPRAVLJANJE RAZVOJEM  |      |     |     |     |
| PLANIRANJE I UPRAVLJANJE KADROVIMA |      |     |     |     |
| PLANIRANJE I UPRAVLJANJE NABAVKOM  |      |     |     |     |
| TERMINIRANJE PROIZVODNJE           |      |     |     |     |
| PROJEKTOVANJE PROIZVODA            |      |     |     |     |
| PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE          |      |     |     |     |
| PROJEKTOVANJE POSTUPAKA            |      |     |     |     |
| FABRIKACIJA, OBRADA                |      |     |     |     |
| MONTAŽA                            |      |     |     |     |
| RUKOVANJE MATERIJALOM              |      |     |     |     |
| UPRAVLJANJE ZALIHAMA               |      |     |     |     |
| UPRAVLJANJE PROIZVODNJOM           |      |     |     |     |
| UPRAVLJANJE TROŠKOVIMA             |      |     |     |     |
| ISPORUKA                           |      |     |     |     |
|                                    | CAD  | DNU | CAM | I S |
|                                    | TFTS |     |     |     |

Sl. 5. Ilustrativan prikaz funkcionalnih zavisnosti izmedju TFTS i IS

/CAM sistemom integriše aktivnosti projektovanja i fabrikacije delova i proizvođa uz mogućnost minimizacije celog proizvodnog ciklusa.

Najviši nivo upravljanja ostvaruje se kompjuterom totalnog fleksibilnog tehnološkog sistema - TPTS. U ovom slučaju kompjuter vrši koordinaciju aktivnosti na svim nivoima proizvodnog ciklusa od projektovanja do isporuke, uključujući i određene aktivnosti koje se odnose na poslovnu strategiju.

Totalni fleksibilni tehnološki sistem predstavlja osnovu za podizanje fabrika budućnosti - t.j. fabrika bez ljudi. To je moguće potpunom integracijom i kompjuterskom automatizacijom funkcionalne zavisnosti između TPTS i informacionog sistema (IS). Ilustracije radi, na slici 5 daje se pregled funkcionalnih zavisnosti između TPTS i informacionog sistema postavljenih na bazi kompjuterske automatizacije. Dupla šrafura pokazuje potpunu integraciju aktivnosti, dok obična šrafura pokazuje delimičnu ili potrebnu integraciju.

Postizanjem potpune integracije svih aktivnosti koje su predviđene, ostvaruju se fabrike bez ljudi.

#### 4. UMETO ZAKLJUČKA

Tehnologija metaloprerađivanja, kao primenjena naučna disciplina obuhvata hardware-software-organizaciju sa određenim međusobnim interakcijskim odnosima. Osnovnu pokretačku snagu za ispunjenje integralnog koncepta automatizacije proizvodnje, a posebno za fabrike budućnosti treba da čini software. Posebno su značajni software-proizvodi u inženjerstvu, i to:

- software za projektovanje proizvoda primenom kompjutera (PPK-CAD),
- software za projektovanje za proizvodnju (tehnologije) primenom kompjutera (PTK-CAM)
- software za upravljanje proizvodnjom (TOPIS).

Značaj ovog segmenta tehnologije treba da posebno dodje do izražaja u narednom periodu. Konceptija JUPITER-sistema /3/ omogućuje izgradnju generacije fabrika kod nas gde treba da izvrši radikalna preraspodela funkcija između mašine i čoveka, a da se ostvari visoka produktivnost i kvalitet.

#### 5. REFERENCE

- /1/ Milačić, V., Totalni fleksibilni tehnološki sistemi, VIII JUPITER konferencija, Zvečevo, 1982, str. I-1
- /2/ Glavonjić, M., Kalajdžić, M., Primarni i sekundarni procesi kao tehnička funkcija obradnih centara, VIII JUPITER-konferencija, Zvečevo, 1982, str. I-119
- /3/ Milačić, V., Kompjuteri i roboti za fabrike budućnosti, VII Seminar, BIAM '84, Zagreb (1984)
- /4/ Hitomi, K., Manufacturing Systems Engineering, Taylor and Francis Ltd, London (1979)
- /5/ Koren, Y., Computer Control of Manufacturing Systems, McGraw-Hill Book Company (1983)

#### R e z i m e

U radu je dat koncept integralnog konceptu automatizacije, a na fazi totalnog fleksibilnog tehnološkog sistema. Ovaj sistem obuhvata kompjutersku automatizaciju svih nivoa aktivnosti za realizaciju delova i proizvoda, od usvajanja koncepcije do isporuke.

#### Summary

In the paper is given concept of integral automation based on total flexible manufacturing system. FMS covers computer-aided automation of all levers of activities for production flow starting from conceptual design to the shipment procedure.

# **XVIII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE NIŠ 1984. GODINE**

## **REGULIRANI POGON ENOSMERNEGA MOTORJA IZVEDEN Z MIKRORAČUNALNIKOM**

**dr. Karel JEZERNIK, mag. Branko MEDVED  
VISOKA TEHNIŠKA ŠOLA MARIBOR**

### **1. UVOD**

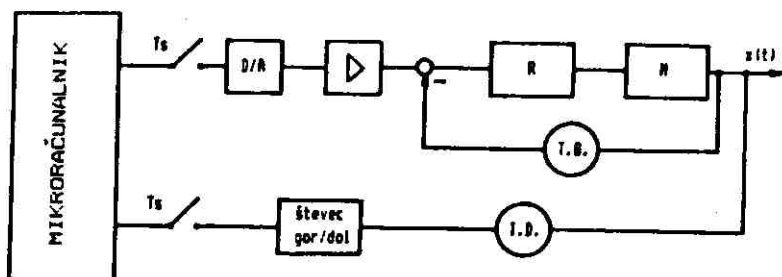
Razvoj mikroelektronske tehnologije je vse pomembnejši, uporaba njenih komponent v regulacijski tehniki pa vse večja. Klasične analogne regulatorje zamenjuje mikroračunalnik, ki zaradi svoje programske fleksibilnosti ob nespremenjeni strojni konfiguraciji lahko nadomesti poljuben analogen regulator. Regulator postane tako mikroračunalnik, ki z izračunavanjem regulacijskih algoritmov regulira zadan objekt. Zato gre torej za digitalne ali številčne regulacije z digitalnimi vhodno izhodnimi informacijami. Da se izognemo dodatnim A/D in D/A pretvorbam pri povezovanju z objektom reguliranja, poenotimo vhodno izhodne signale in upravljanje nad objektom izvršimo v digitalni obliki. Pri obravnavi se omejimo na kaskadno regulacijo hitrosti in pozicije servo pogona, ki ga želimo uporabiti pri CNC krmiljenih obdelovalnih strojih. Ob izbrani mikroračunalniški konfiguraciji se spremembe objekta več ne odražajo v strojni opremi, ampak v programu. Zaradi možnosti izbire različnih regulacijskih algoritmov uporabimo različne linearne in nelinearne algoritme ter nato ocenjujemo njihov vpliv na želene poteke regulacijskih veličin.

### **2. DIGITALNA IZVEDBA UPRAVLJANJA**

Današnje semplirne izvedbe regulacij enosmernih pogonov za CNC stroje so zgrajene na osnovi nadrejene digitalne regulacije pozicije in podrejene analogne regulacije vrtilne hitrosti (slika 1).

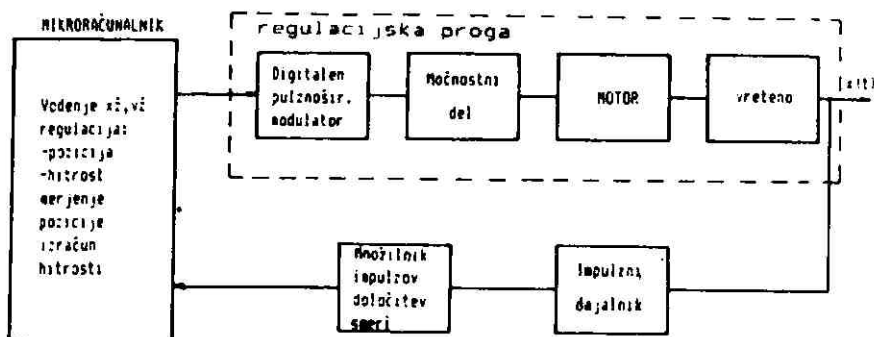
S stališča dinamike notranjega regulacijskega kroga ima takšna izvedba prednost glede na digitalno. Problematična pa je izvedba analogne zanke zaradi drifta na integratorjih, kar povzroča oscilacije v okolici dosežene končne pozicije.

Naš cilj je popolna digitalizacija upravljanja pogona. Vse veličine regulacijske zanke predstavimo v digitalni obliki. S tem se izognemo vsem analogno digi-



Slika 1

talnim pretvorbam v merilno signalni poti (slika 2).



Slika 2

Mikroračunalnik (slika 2) prevzame vlogo regulatorja hitrosti in pozicije. Prav tako opravlja meritve pozicije, generira vnaprej predpisane želene vrednosti hitrosti in pozicije ter izračunava hitrosti. V primerjavi s sl. 1 se število elementov regulacijske zanke zmanjša na račun večjega izkoristka mikroračunalnika. To se odraža predvsem v pisanju zahtevnejših programov ob primerni mikroračunalniški konfiguraciji. Sistem postane s tem tudi bolj univerzalen oz. uporaben na različnih strojih, kar pa je tudi glavna prednost pred raznimi hibridnimi koncepti, saj se spremembe v strojni opremi tukaj odražajo le v obliki programskih sprememb. Zaradi digitalizacije vseh naprav regulacijskega vezja s sl. 1 je upravljanje nad pogonom v digitalni obliki. D/A pretvornik (sl. 1) je zamenjan z digitalnim napetostno pulznoširinskim modulatorjem. Izhod iz mikroračunalnika (hitrostni regulator) je v celoštevilčnem formatu z vzporednimi izhodi. Število bitov izhodne veličine ( $n$ ) pogojuje kvantizacijo hitrosti ( $\Delta v$ ) in jih določimo glede na zahteve minimalnih možnih sprememb pomika ( $\Delta x_{\min}$ ) in čas vzorčenja ( $T_s$ ) (1).

$$\Delta v = \frac{\Delta x_{\min}}{T_s} \quad (1)$$

Hitrost pomika, ki je odvisna od vrtljajev motorja ( $n_o$ ) in prenosnega vretena



$(k_{vr})$  je enaka

$$v = n_o \cdot k_{vr} \quad \text{ali} \quad (2)$$

$$\Delta v = n_o \cdot k_{vr} \quad (3)$$

Število bitov ( $n$ ) izhodne veličine (hitrostni regulator) mora izpolnjevati pogoj:

$$\frac{2n_o \max}{2^n - 1} \leq \Delta n_o \quad (4)$$

Pretvorba rotacijskega gibanja motorja v translacijsko (pozicija) je preko pomičnega vretena. Z ozirom na prenos  $k_{vr}$  ter maksimalno želeno nastavitveno pozicijo ( $x_{\max}$ ), izračunamo število potrebnih vrtljajev gredi motorja za doseg maksimalne lege  $x_{\max}$  (5).

$$\frac{x_{\max}}{k_{vr}} = \text{št. vrtljajev} \quad (5)$$

Če želimo pozicionirati znotraj dolžina ( $x_{\max} = 1 \text{ m}$ ) ob izbiri vretena ( $k_{vr} = 1 \text{ cm/vrt}$ ), bi za to potrebovali 100 vrtljajev (5). Ker je število vrtljajev motorja proporcionalno številu impulzov inkrementalnega dajalnika množenih s 4, je dejanska pozicija  $x(t)$  enaka številu impulzov. Za pomik od  $x=0 - 1 \text{ m}$  z izbiro inkrementalnega dajalnika s 1000 imp/vrt bi to glede na (5) bilo

$$100 \text{ vrt.} \cdot 4 \cdot 1000 \text{ imp/vrt} = 400000 \text{ impulzov.} \quad (6)$$

Ločljivost merjenja je s tem določena z

$$x_{\min} = \frac{k_{vr}}{4 \cdot \text{št. imp. dajalnika}} \quad (7)$$

kar za naš primer znaša:  $x_{\min} = 2,5 \text{ } \mu\text{m}$ .

Meritev pozicije izvedemo z digitalnim števcem gor/dol, kjer je stanje števca enako mnogokratniku minimalne ločljivosti  $x_{\min}$ . Informacija o trenutni poziciji  $x_k$  je tako številčno predstavljena in enaka trenutnemu stanju števca. Število bitov števca ( $n_s$ ) je odvisno od  $x_{\max}$ , izbire dajalnika,  $k_{vr}$  in mora izpolnjevati pogoj:

$$2^{n_s} - 1 \geq \frac{x_{\max}}{k_n} \cdot 4 \cdot \frac{\text{št. imp. dajalnika}}{\text{vrt}} \quad (8)$$

Npr. za merjenje pozicije  $x_{\max} = 400000 \text{ imp}$  ( $x_{\max} = 1 \text{ m}$ ) potrebujemo 19 bitni števec. Da se izognemo dodatnemu merjenju hitrosti, jo izračunavamo z odvajanjem pozicije (9).

$$v_k = \frac{x_k - x_{k-1}}{T_o} \quad (9)$$

Meritev hitrosti oz. vrtljajev je običajno izvedena na principu štetja impulzov v časovnem intervalu  $T_o$ .

$$T_o = \frac{\text{max območje štetja}}{n_{o \text{ max}} \cdot \text{št. imp. dajalnika} \cdot 4} \quad (10)$$

Z območjem štetja je pogojena kvantizacija merjenja hitrosti.

$$1 \text{ kvant} = \frac{n_{o \text{ max}}}{2^n - 1} \quad (11)$$

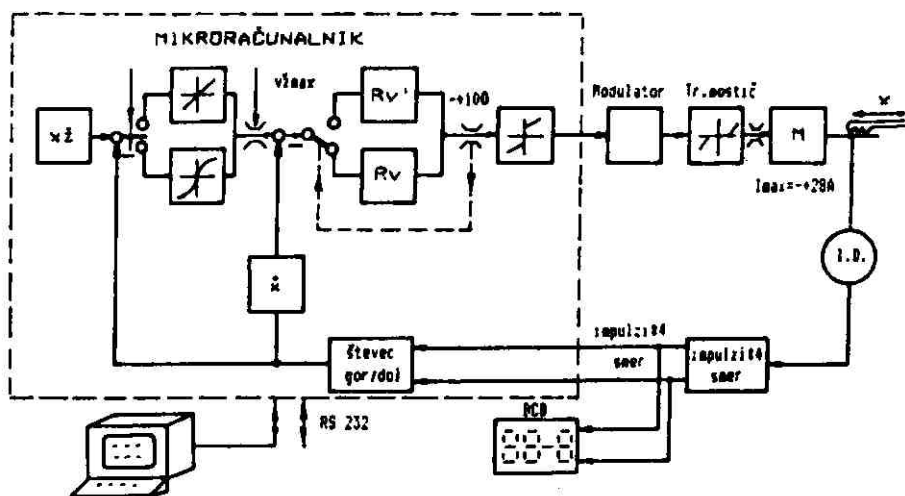
Z večanjem območja štetja (št. bitov za merjenje  $v_k$ ) se večja tudi  $T_o$ , ki pa mora biti v mejah ( $T_o \leq T_s$ ). Če je  $t_o = T_s$  velja

$$v_k = x_k - x_{k-1} \left( \frac{\text{imp}}{T_s} \right). \quad (12)$$

Ob izbiri  $T_s = 3 \text{ ms}$  in  $n_{o \text{ max}} = 1000 \text{ vrt/min}$  bo območje štetja (10) enako  $200 \frac{\text{imp}}{T_s}$ , kar ustreza merjenju na  $n = 8$  bitov.

### 3. REALIZACIJA

Funkcionalno blokovno shemo prikažemo s sledečo shemo (slika 3).



Slika 3

Mikroračunalniška opravila so podana v obliki blokov (slika 3) in sicer: merjenje pozicije, regulacija hitrosti ( $R_v$ ,  $R_v'$ ), regulacija pozicije (linearna, neline-

arna), določanje limit ( $v_{\dot{z} \max}$ ,  $U_{k \max} = \pm 100$ ), izračun hitrosti in vodenja vhodno izhodnih odnosov (CRT, tastatura, RS 232, ...). Pri realizaciji se pojavi dodaten problem tranzistorskega mostiča, ki ima pri majhnih vhodnih napetostih mrtvo področje ( $\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$ ). Prav tako pa se regulacijska proga ne obnaša v obe smeri vrtenja popolnoma enako. Iz teh razlogov izmerimo statično karakteristiko regulacijske proge (modulator + tranz. mostič + motor) ter določimo pripadajočo kompenzacijsko karakteristiko ( $\frac{1}{1-x^2}$ ), ki jo nato povežemo z regulacijskim programom v obliki tabele shranjene v pomnilniku mikroračunalnika.

Za izhodno veličino hitrostnih regulatorjev ( $R_v$ ,  $R_v'$ ) je uporabljena celoštevilska bipolarna koda ( $n = 8 : 7$  bitov + predznak), kar nam dovoljuje maksimalno območje:  $U_{k \max} = +127, -128$ .

Zaradi izvedbe modulatorja in mostiča je ta vrednost limitirana na  $\pm 100/2$ , saj bi v nasprotnem primeru prišlo do uničenja mostiča. Napajanje mostiča pa je izbrano takšno, da je pri maksimalni izhodni vrednosti mikroračunalnika  $(\pm 100)n_0 = \pm 1000$  vrt/min v odprti zanki.

Za regulatorja  $R_v$ ,  $R_v'$  uporabimo običajna rekurzivna algoritma (13):

$$U_k = \sum_{i=0}^n q_i \cdot \xi_{k-i} + \sum_{i=1}^n p_i \cdot U_{k-i}, \quad (13)$$

ki jih določimo s pomočjo sinteze regulacijske zanke  $1/1'$ . Regulator  $R_v$  je enak  $R_v'$  s tem, da mu izločimo integralni del enačbe (13). S preklapljanjem ( $R_v$  na  $R_v'$ ) preprečimo numerični pobeg regulatorja hitrosti  $R_v/2$ .

Regulacijo pozicije vršimo na tri načine in sicer z linearnim regulatorjem, nelinearnim ali pa s kombinacijo obeh.

Kot linearen regulator uporabimo P-člen z ojačanjem  $K$ . Ob izbranem servo motorju s  $\tau_e = 2,8$  ms,  $\tau_m = 46$  ms in hitrostnih regulatorjih ( $R_v$ ,  $R_v'$ ) (13) ter proporcionalnim regulatorjem pozicije z ojačanjem  $K=0,01$  posnamemo potek hitrosti  $v_k$  in pozicijske napake  $|\Delta x_k|$ , kot odziv na stopnico  $x_{\dot{z}} = 0,1$  m ob limiti  $v_{\dot{z} \max} = \pm 100 \frac{\text{imp}}{\text{s}}$  (slika 4) in hitrostnih regulatorjih.

$$U_k = 3,52 \xi_k - 3,32 \xi_{k-1} + U_{k-1} \quad (14)$$

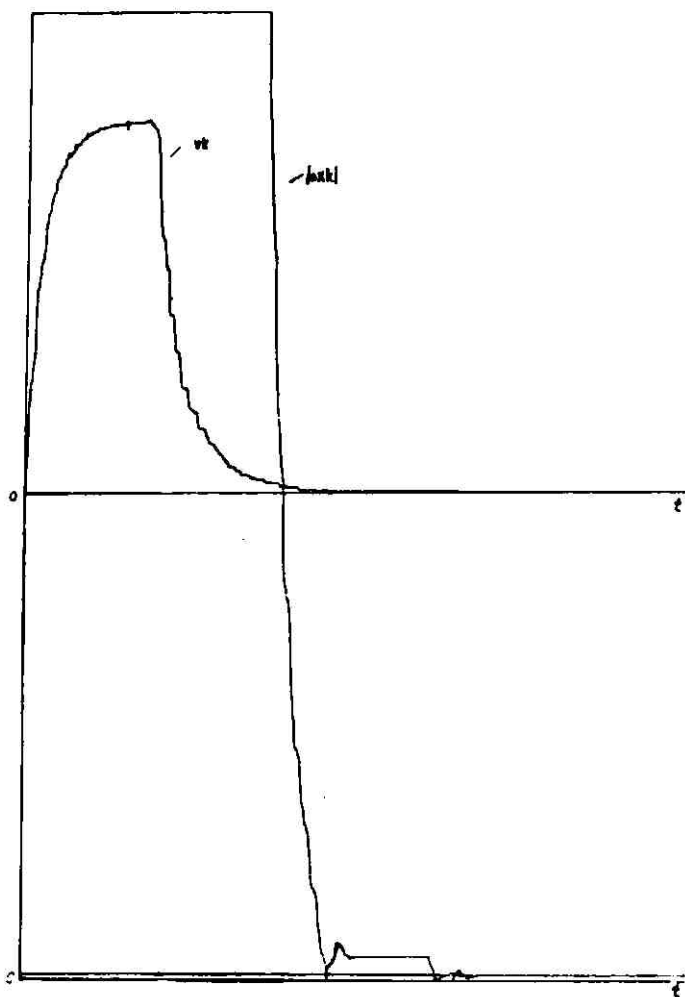
$$U_k' = 3,42 \xi_k - 3,42 \xi_{k-1} + U_{k-1}' \quad (15)$$

Pri merjenju si pomagamo z dodatnim mikroračunalnikom, ki ga povežemo z našim preko komunikacijskega vmesnika (RS 232) /3/. Obstoječ regulacijski program modificiramo tako, da ob vsakem obhodu regulacijskega algoritma ( $T_s = 3$  ms) beležimo trenutne vrednosti  $v_k$  in napake  $\Delta x_k$  v spominu. Te nato ob pritisku na določeno tipko tastature v stacionarnih razmerah pošljemo drugemu mikroračunalniku, kateri ob sprejemu določenega števila točk (2000) izriše njihov iznos na risalniku.

Merilo za slike 4 in 5 znaša:  $t$ ; 1 cm = 0,242 s,  $v$ ; 1 cm =  $14,26 \frac{\text{imp}}{T_s}$ , /  $\Delta x$  /;  
1 cm = 36,22  $\mu\text{m}$ .

Pri pozicioniranju želimo predvsem zmanjšati nastavitvene čase končnih pozicij. V ta namen uporabimo nelinearni pozicijski regulator (16).

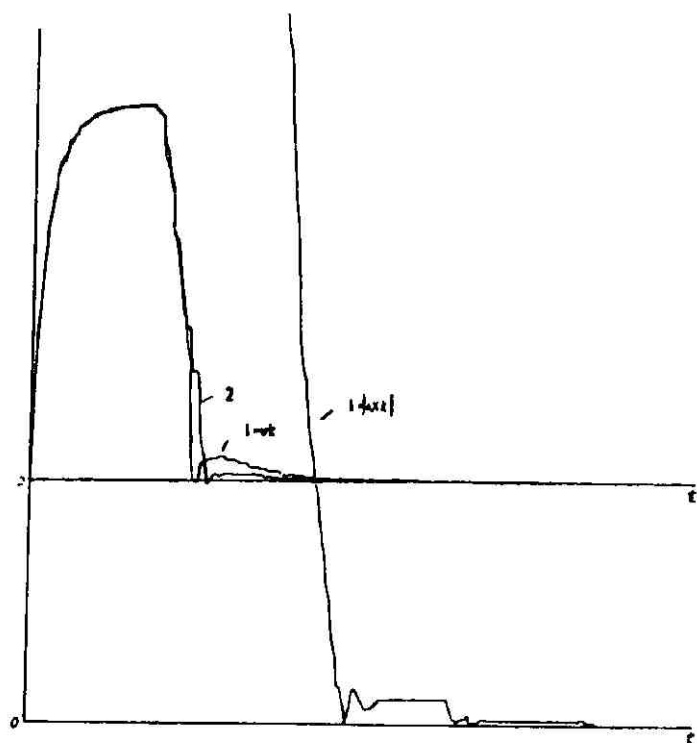
$$v_{z\ k+1} = \text{sgn}(\Delta x_k) \cdot K_n \cdot \sqrt{|\Delta x_k|} \quad (16)$$



Slika 4

$$K_n = 600 \sqrt{5 \cdot 10^{-6} \cdot a_{\max}} \quad (17)$$

kjer je  $K_n$  izenačevalni faktor pretvorbe enot /1/. Nastavitveni čas nelinearnega



Slika 5

pozicijskega regulatorja (16) je majhen, neugodnost pa je predvsem v velikem ojačanju pri majhnih napakah  $\Delta x_k$ , kar se odraža v oscilacijah okrog končne lege. V ta namen se poslužimo pozicioniranja z nelinearnim regulatorjem pri velikih  $\Delta x_k$ , ko pa se približujemo cilju, izvršimo prekop regulacije na proporcionalen regulator. Trenutek preklopa najlažje določimo kar z eksperimentiranjem.

Na sliki 5 sta podana primera takšnega delovanja za dve različni prekopni točki (2:  $|\Delta x_k| \leq 5000 \mu\text{m}$ ; 1:  $|\Delta x_k| \leq 1250 \mu\text{m}$ ) pri maksimalnem pospešku  $a_{\text{max}} = 0,5 \text{ m/s}^2$  ter ojačanju  $K = 0,008$ .

#### 4. ZAKLJUČEK

Uspešnost digitalnega upravljanja servo pogona se je izkazala predvsem kot posledica dobro opravljene sinteze regulacijskega vezja /1/. Realizacija je aplicirana na mikroračunalniku PEP 2000 s CPU MC 6809. Glede na realizacijo digitalnega upravljanja ima takšen koncept gotove prednosti pred hibridnim, vendar še vedno ostane slaba stran kvantizacija hitrosti. Ta se odraža v vodenju in meritvi. Število bitov izhodne veličine regulatorja hitrosti ( $n=8$ ) je zato ugodno povečati, prav tako pa tudi merjenje hitrosti. Z zmanjšanjem kvantizacije hitrosti

povečamo tudi možnost nastavitve minimalne pozicije  $\Delta x_{min}$ , kar je ugodno. Za določevanje hitrosti pri manjših vrtiljajih je ugodno izbrati kak drug digitalen koncept meritve, kar je pogojeno s strani uporabnika.

#### Literatura

- /1/ B. MEDVED: "Računalniško podprta sinteza digitalnih regulacij", magistrska naloga, VTŠ Maribor, VTO Elektrotehnika, 1983.
- /2/ P. CAFUTA, K. JEZERNIK, B. MEDVED, J. POGORELC: "Digitalna regulacija vrtilne hitrosti servomotorja z mikroračunalnikom", MIPRO 1982.
- /3/ M. ČURKOVIČ, J. POGORELC, K. JEZERNIK, P. CAFUTA: "Dvovhodna sinhrona merilna in registrirna naprava", MIPRO 1983.

Karel JEZERNIK, Branko MEDVED

#### REGULIRANI POGON ENOSMERNEGA MOTORJA IZVEDEN Z MIKRORAČUNALNIKOM

Povzetek - V delu je obravnavana digitalna regulacija hitrosti in pozicije servopogona, ki ga želimo uporabiti pri CNC orodnem stroju. Servopogon je tako fleksibilnejši, saj se spremembe v pogonu odražajo v programu mikroračunalnika. S tem je dana možnost uporabe različnih linearnih in nelinearnih regulacijskih algoritmov.

#### MICROCOMPUTER BASED CONTROLL A DC SERVOMOTOR

Abstract - In this paper we will discuss digital speed and position control of servo motor, which we want to use at CNC machine drive. In this way, servo-system is more flexible. For various servo system's with new program, we can use the same digital speed and position of linear or nonlinear control algorithmus.

XVIII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE  
NIŠ 1984. GODINE

OPTIMALNA SINTEZA INDUSTRIJSKIH UPRAVLJAČKIH  
SISTEMA PRIMENOM RAČUNARA

LJUBOMIR JACIĆ, PROFESOR VIŠE ŠKOLE  
SVETISLAV ZARIĆ, PROFESOR UNIVERZITETA

1. UVOD

U industrijskoj automatizaciji je sve više prisutan trend primene programibilnih automata. Ove, visoko fleksibilne upravljačke strukture odlikuju se visokom pouzdanošću, modularnim principom gradnje, kompaktnošću, lakim programiranjem itd. Laka izmena programa rada automata vrši se reprogramiranjem, posle čega se p - rovera, tj simulira sistem kao i kod prvog puštanja u rad, i zatim povezuje sa energetske kolom. Njihova primena u domenu sistema sa elektro i/ili elektropneumatskim izvršnim organima je vrlo opravdana imajući u vidu sve navedene prednosti.

Medjutim, u slučaju pneumatskih izvršnih organa, za slučaj primene u jako zaprljanoj sredini, abrazivnoj, sa visokim temperaturama i sl., često je nemoguće primeniti programibilne automate na bazi elektronike. Oni takodje iziskuju korišćenje skupih solenoida, što bitno utiče na cenu sistema. Tada je moguće koristiti modularne pneumatske automate. No, takvi automati su relativno skupi, jer iziskuju po 1 modul za svaki korak željene sekvence, i imajući u vidu sastav modula ( min. 1 memorija, 1 I i 1 III element )/1/.

Komponente pneumatske logike imaju relativno mali gabarit. Medjutim, čest je slučaj da treba smestiti logiku upravljanja i izvršne organe na mali prostor ograničen uslovima mašine. Tada je svrsishodno, posebno kod složenijih problema, ići na minimizaciju automata, tj projektovati automat sa istim funkcijama uz minimalan broj komponenti. Pri tome, tako dobijeni automat treba da bude apsolutno pouzdan u radu.

Svrha ovog rada je prikaz optimalne metode projektovanja upravljačkih sistema, u opštem slučaju, bez ikakvih ograničenja u pogledu broja ulaza, izlaza i stanja. Reč je o metodi koja bazira na Huffman-ovoj metodi sinteze asinhronih sekvencijalnih automata. Metoda je kompjuterizovana. Korisnik, najčešće ne automatičar, formira primitivnu matricu koja opisuje rad automata, i takvim formatom pothranjuje računar. Potom, računar za nekoliko sekundi š-

tampa logičke jednačine željenog automata, čijoj realizaciji se može odmah pristupiti korišćenjem izlaznih podataka sa računara. Važno je napomenuti da je ovaj koncept sinteze invarijantan u odnosu na prirodu sistema (elektronski, električni, pneumatski...).

## 2. KONCEPT SISTEMA UPRAVLJANJA

Sisteme upravljanja, u opštem slučaju, možemo podeliti prema konvencionalnoj klasifikaciji na :

- kombinacione i
- sekvencijalne.

Opšta, klasa sekvencijalnih automata obuhvata :

- sinhronne i
- asinhronne automate.

Sinhroni sekvencijalni sistemi, po prijemu određenih signala iz spoljnih uređaja, proizvode željene izlaze u predodređenim vremenskim trenucima ("externally-timed"). Asinhroni sekvencijalni automati su projektovani tako da proizvode izlaze bez prisustva signala za iniciranje od spoljnih uređaja ("self-timed"). Upravo zbog ovakve koncepcije i bržeg odziva sistema, sa industrijske automate na bazi pneumatike najčešće se koristi asinhrona logika.

Generalizovana shema klasifikacije digitalnih sistema data je na slici 1.

Asinhroni automati mogu biti :

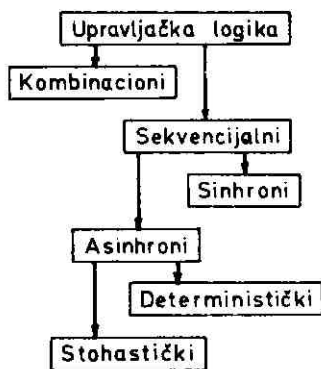
- deterministički i
- stohastički /2,10/.

Glavna karakteristika determinističkih sistema je da je ulazna sekvenca unapred određena, definisana, dok je kod stohastičkih sistema nemoguće unapred predvideti redosled ulaznih signala, te je potrebno razmatrati sve moguće tranzicije pod dejstvom mogućih ulaza.

Primer determinističkog automata je sekvenca  $A+, B+, \dots, A-$ . Informacija o završetku svakog događaja prenosi se upravljačkom sistemu, i potom nastupa sledeći događaj. Sekvenca je repetitivna a jedini ulazi sistema su signali sa krajnjih davača ("feed-back inputs").

No, ukoliko upravljački sistem pored pomenutih ulaza prima i obradjuje signale sa davača koji bivaju aktivirani ispunjenjem nekih od tehnoloških uslova (npr., prisustvo/odsustvo komada, veličina komada, vrednost temperature, pritiska...), onda je reč o stohastičkim sistemima. Takodje, primer stohastičkog sistema predstavlja, recimo, otvaranje vrata ukoliko se aktiviraju dva prekiđača  $a$  i  $b$ , po tačno određenom redosledu (npr., prvo  $a$  pa  $b$ ), uz uslov da samo jedan nekomplementirani ulazni signal može postojati, nikako dva istovremeno.

Primitivna matrica /3/ je idealan format za opis i stohastičkih i determinističkih automata. Pravila za formiranje primitivne matrice data su u /3/ i ovde se neće iznositi. Primitivna matrica sa navedeni primer aktiviranja vrata data je na slici 2a. Na slici 2b dat je graf stanja automata. Posmatrajući ovu primitivnu matricu i graf stanja, zaključujemo da postoji više od jedne moguće tranzicije pri prelazima iz stanja ① (①-②, ①-⑤) i stanja ③ (③-⑥, ③-④).

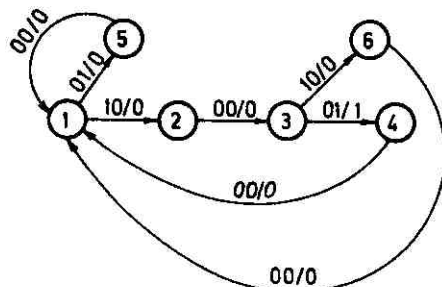


Slika 1.



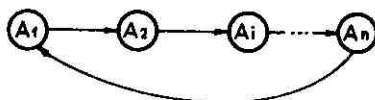
| vrs-<br>ta | ULAZI ab |     |    |     | iz-<br>laz Y |
|------------|----------|-----|----|-----|--------------|
|            | 00       | 01  | 11 | 10  |              |
| 1          | (1)      | 5   | —  | 2   | 0            |
| 2          | 3        | —   | —  | (2) | 0            |
| 3          | (3)      | 4   | —  | 6   | 0            |
| 4          | 1        | (4) | —  | —   | 1            |
| 5          | 1        | (5) | —  | —   | 0            |
| 6          | 1        | —   | —  | (6) | 0            |

Slika 2a



Slika 2b

Za razliku od stohastičkih, deterministički automati se odlikuju opštom sekvencom kao na slici 3.



Slika 3.

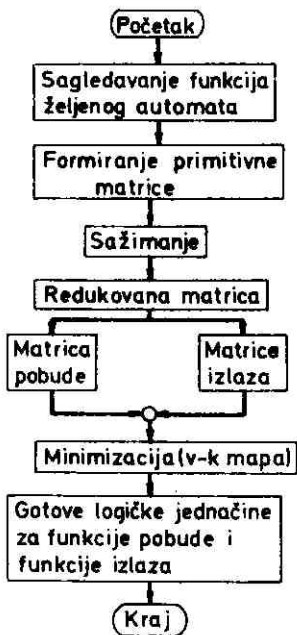
### 3. PRIKAZ OPTIMALNE METODE

O postojećim metodama sinteze asinhronih sekvencijalnih automata koji se tretiraju u ovom radu, njihovoj podeli, područjima primene i sl., zainteresovani čitalac se upućuje na literaturu /1,4,5,6,7/.

Optimalna metoda bazira na dopuni algoritma Huffman-ove metode koja je izložena u /3,8/. Ova metoda sintezu asinhronih sekvencijalnih automata svodi na sintezu kombinacionih automata. Algoritam Huffman-ove metode dat je na slici 4.

Modifikovani algoritam Huffman-a, algoritam optimalne metode dat je na slici 5. Po formiranju primitivne matrice vrši se njeno preuredjivanje, ukoliko se broj vrste ne poklapa sa brojem stabilnog stanja u dotičnoj vrsti. Na osnovu pravila o ekvivalentnosti stanja, vrši se eliminacija suvišnih vrsta i dobija "iredundantna matrica". Potom se pristupa optimalnom sažimanju što rezultira u dobijanju redukovane matrice, sa minimalnim brojem sekundarnih promenljivih i to primenom Petrick-ove metode i metodom celobrojnog linearnog programiranja. Ovde se, za razliku od klasične Huffman-ove metode, matrice pobude i matrice izlaza dobijaju iz "operativne tabele", a ne iz redukovane matrice u kojoj je velika verovatnoća postojanja neželjenih poremećaja. Još jedna od razlika je i ta što se minimizacija sprovodi tabelarno, Mc-Cluskey-jevom metodom i Petrick-ovim postupkom optimalnog prekrivanja, što je optimalno u odnosu na primenu V-K mapa i daleko sistematičnije, a kompjuterizovano je u radu /9/. Prilikom sprovođenja ovog postupka, vrši se ispitivanje mogućih poremećaja kontinuiteta i njihova eliminacija dodavanjem sigurnosnih članova-kontura. Dakle, dobijeni automat je pouzdan u smislu logičke funkcionalnosti, minimalan (je-

ftin), brz itd.

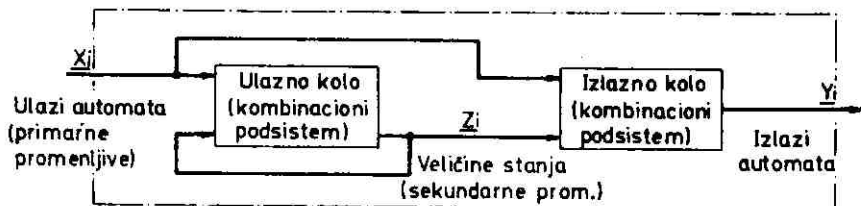


Slika 4.



Slika 5.

Huffman-ov model asinhronog sekvencijalnog automata dat je na slici 6.



Slika 6.

#### 4. PROJEKTOVANJE PRIMENOM RACUNARA

Zamorani i dug postupak manuelne sinteze automata, gde postoji velika mogućnost unosa greške, sprovodi se brzo i efikasno posredstvom računara. Kompletan skup programa za projektovanje asinhronih sekvencijalnih automata sastoji se iz glavnog programa i 12 potprograma. Rad na kompjuterizaciji metode započeo je na Univerzitetu George Washington u Washington-u, a okončan i uspešno testiran na računaru Honeywell L6/43 u ERC-u Beogradske banke u Požarevcu. Funkcije i struktura programa detaljno su obrađene u /7/ i ovde se neće iznositi.

Na, jako je bitno dati algoritam primene računara u projektovanju automata. Korisnik računaru saopštava ulazne podatke u vidu primitivne matrice, u odredjenom formatu, formiranjem ulazne datoteke za svaki pojedinačni primer, posredstvom video-terminala. Takođe, računar zahteva u cilju identifikacije problema podatke vezane za dimenziju problema (broj vrsta, broj ulaza/kolona, broj izlaza). Po startovanju programa, za manje od minuta, na linijskom štampaču se dobijaju željeni rezultati:

- jednačine pobude :  $Z_k = F_z(x_1, x_k)$  i

- jednačine izlaza :  $Y_j = F_y(x_1, x_k)$ .

Računar, po našoj želji može štampati samo krajnje rezultate ili sa međurezultatima, iz čisto edukativnih razloga /67/. Da bi konkretizovali primenu predloženih algoritama, ilustrujemo to konkretnim primerom. Posmatrajmo primitivnu matricu datu tabelom I koja opisuje rad stohastičkog automata sa 5 izlaza. Prefiks "-" govori da je reč o stabilnom stanju automata.

Rešenje automata dato je tabelom II. Rezultati su dobijeni za manje od minuta, dok bi u slučaju manuelne sinteze projektant utrošio sate i sate na rešavanje istog problema, pri čemu, jasno je, ne bi dobio optimalno rešenje. Interpretacija izlaznih rezultata (tabela II), je vrlo laka i jasna: horizontalni redovi označavaju konjukcije, dok je relacija između horizontalnih redova disjunktivnog karaktera. Npr.:

$$Z_3 = z_3 \bar{x}_2 + \bar{x}_1 x_2 x_3$$

Članovi označeni simbolom (x) predstavljaju sigurnosne članove. Črtanje sheme i realizacija automata na osnovu ovih rezultata predstavlja rutinski posao.

U suštini, mogućnosti ovog paketa programa za sintezu asinhronih sekvencijalnih automata su neograničene u pogledu dimenzije problema, no ovde postoji ograničenje s obzirom na dopustivu memoriju i formalni problem veličine papira sa štampanje (broj ulaza 5/32 kolone/, broj izlaza 8, broj memorija 8).

Veliki broj projektovanih automata izložen je u /1,4,6,7/. Prednosti primene ovakvog projektovanja su očigledne.

#### 5. ZAKLJUČAK

U radu /1/ dato je poredjenje sinteze automata primenom metode "Korak po korak" i obrađene Optimalne metode. Uštede koje se postižu u nekim slučajevima idu i preko cifre od 200% kada je reč o velikim sistemima. Izloženi koncept je primenljiv na sve automate, bez obzira na vrstu realizacije i domen primene. Sledeća faza rada obuhvata formiranje generalisovanog koncepta projektovanja upravljačkih sistema, gde bi se objedinili svi relevantni faktori (tip elemenata, osobine, cena, tržište, ...). Ovaj koncept dat je na slici 7, imajući u vidu projektovanje primenom računara.

# PRIMITIVNA MATRICA:

| BR. VRSJE |     |     |    |     |     |     |     |     | IZLAZI |
|-----------|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| ( 1 )     | -1  | 2   | 3  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 00000  |
| ( 2 )     | 0   | -2  | 0  | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 01100  |
| ( 3 )     | 0   | 0   | -3 | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 00111  |
| ( 4 )     | 0   | 0   | 0  | -4  | 0   | 5   | 0   | 0   | 10011  |
| ( 5 )     | 1   | 0   | 0  | 0   | 6   | -5  | 7   | 0   | 10111  |
| ( 6 )     | 0   | 0   | 0  | 8   | -6  | 0   | 0   | 0   | 00111  |
| ( 7 )     | 1   | 0   | 0  | 8   | 0   | 0   | -7  | 0   | 00011  |
| ( 8 )     | 0   | 0   | 9  | -8  | 10  | 0   | 0   | 0   | 00011  |
| ( 9 )     | 1   | 0   | -9 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 00001  |
| ( 10 )    | 0   | 0   | 0  | 0   | -10 | 12  | 0   | 11  | 00000  |
| ( 11 )    | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 12  | 13  | -11 | 10011  |
| ( 12 )    | 1   | 0   | 0  | 0   | 0   | -12 | 0   | 0   | 10111  |
| ( 13 )    | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | -13 | 14  | 11111  |
| ( 14 )    | 15  | 16  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | -14 | 10111  |
| ( 15 )    | -15 | 0   | 0  | 17  | 0   | 0   | 0   | 0   | 11101  |
| ( 16 )    | 0   | -16 | 0  | 17  | 0   | 0   | 0   | 0   | 11101  |
| ( 17 )    | 1   | 0   | 0  | -17 | 0   | 0   | 0   | 0   | 10000  |

Tabela I

Vrlo je bitna činjenica da je projektant-korisnik oslobođen samornog rada, kako misaonog, tako i rutinskog, isusev pri formiranju primitivne matrice. Ne zahteva se, maltene, nikakvo posna-  
vanje Bulove algebre. Dakle, sa proizvodnog inženjera je dovoljno da zna formirati primitivnu matricu na osnovu tehnoloških sah-  
teva, i da nju korektno saopšti računaru. Prednosti koje su bile na strani inženjerskih metoda projektovanja u smislu lakoće sin-  
tese, sada su na strani Optimalne metode, uz primenu računara. Ima-  
jući u vidu velike uštede, visoku pouzdanost sistema, brza odsiv, lakše održavanje i sl., ne treba postavljati pitanje primene ovog paketa programa sa kompjutersku sintezu digitalnih automata tamo gde je računar na raspolaganju.

LOGICKE JEDNAČINE:

Z1 Z2 Z3 Z4 Z5 X1 X2 X3 X4

\*\*\*\*\*

Z1 =

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| - | - | - | - | - | - | 1 | 1 | - |   |
| 1 | 0 | - | - | - | - | 1 | - | - |   |
| 1 | 0 | - | - | - | 0 | - | - | - |   |
| 1 | - | - | - | - | 0 | 1 | - | - |   |
| 1 | 1 | - | - | - | - | - | 1 | - |   |
| 1 | - | - | - | - | - | 1 | 1 | - | * |
| 1 | - | - | - | - | 0 | - | 1 | - | * |

\*\*\*\*\*

Z2 =

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| - | - | 1 | - | - | - | - | - | - |   |
| - | 1 | - | - | - | - | - | 1 | - |   |
| 0 | - | - | - | - | - | 0 | 1 | - |   |
| 1 | - | - | - | - | 1 | 1 | - | - |   |
| 1 | - | - | - | - | - | 0 | 0 | - |   |
| 0 | 1 | - | - | - | - | 1 | - | - |   |
| 1 | 1 | - | - | - | - | 0 | - | - | * |
| 0 | 1 | - | - | - | - | - | 1 | - | * |
| 1 | - | - | - | - | 1 | - | 0 | - | * |
| - | 1 | - | - | - | 1 | 1 | - | - | * |

\*\*\*\*\*

Z3 =

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
| - | - | 1 | - | - | - | 0 | - | - |  |
| 0 | 1 | - | - | - | - | - | 1 | - |  |

\*\*\*\*\*

Y1 =

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | - | - | - | - | 0 | 1 | - | - |   |
| - | - | - | - | - | 1 | 1 | 1 | - |   |
| - | 0 | - | - | - | - | 0 | 1 | - |   |
| 0 | 1 | - | - | - | - | 0 | - | - |   |
| 0 | - | - | - | - | - | 1 | 1 | - | * |
| 0 | 0 | - | - | - | 0 | - | 1 | - | * |
| 0 | 1 | - | - | - | 0 | - | - | - | * |
| - | 0 | - | - | - | 1 | - | 1 | - | * |
| 0 | 1 | - | - | - | 1 | - | 1 | - | * |
| 0 | - | - | - | - | - | 0 | 1 | - | * |

\*\*\*\*\*

Y2 =

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
| - | - | 1 | - | - | - | - | 0 | - |  |
| 0 | - | - | - | - | 1 | 0 | - | - |  |

\*\*\*\*\*

Y3 =

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| - | - | 1 | - | - | - | - | - | - |   |
| 0 | 0 | - | - | - | 1 | - | - | - |   |
| - | 1 | - | - | - | - | 1 | 1 | - |   |
| 0 | - | - | - | - | 1 | 1 | 1 | - | * |

\*\*\*\*\*

Y4 =

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| - | - | - | - | - | 1 | - | 1 | - |   |
| - | - | - | - | - | - | 0 | 1 | - |   |
| 1 | 1 | - | - | - | - | - | - | - |   |
| - | 0 | - | - | - | - | 1 | 0 | - |   |
| - | 0 | - | - | - | 1 | 1 | - | - | * |
| 1 | - | - | - | - | - | 1 | 0 | - | * |

\*\*\*\*\*

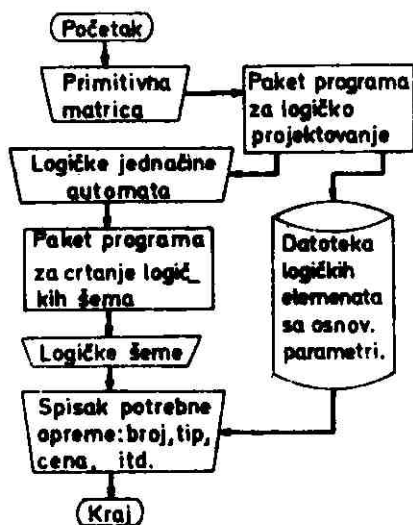
Y5 =

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| - | - | 1 | - | - | - | - | - | - |   |
| - | - | - | - | - | 1 | 1 | - | - |   |
| - | - | - | - | - | - | 0 | 1 | - |   |
| 1 | - | - | - | - | - | - | 0 | - |   |
| 1 | 1 | - | - | - | - | - | - | - |   |
| 0 | 0 | - | - | - | - | 1 | - | - |   |
| - | - | - | - | - | 1 | - | 1 | - | * |
| 1 | - | - | - | - | - | 0 | - | - | * |
| 0 | 0 | - | - | - | - | - | 1 | - | * |
| - | 0 | - | - | - | - | 1 | 0 | - | * |

\*\*\*\*\*

\* OZNAČAVA SIGURNOST  
ČLANOV

Tabela II



Slika 7.

## 6. LITERATURA

- /1/ Lj.Jacić, V.Arsić, Optimalna metoda sinteze industrijskih automata i projektovanje primenom računara, BIAM'84, Zagreb, 1984
- /2/ E.Fitch, J.Suurjatmadja, Introduction to Fluid Logic, McGraw Hill, New York, 1978.
- /3/ S.Zarić, Automatizacija proizvodnje, Mašinski fakultet, Beograd, 1981.
- /4/ Lj.Jacić, Computer-Aided-Design of Digital Systems, MECO-'83 Symposium, Athens, Greece, 1983.
- /5/ Lj.Jacić, Sintesa digitalnih sistema primenom računara, Jurema 84, Plitvice, 1984.
- /6/ Lj.Jacić, S.Zarić, Optimalno logičko projektovanje digitalnih automata sekvencijalnog tipa primenom računara, XIV Simpozijum "Upravljanje proizvodnjom u industriji prerade metala", Beograd, 1984.
- /7/ Lj.Jacić, Jedna metoda za sintezu optimalnih digitalnih sistema sekvencijalnog tipa i projektovanje primenom računara, Doktorska disertacija u pripremi, Mašinski fakultet, Beograd, 1984.
- /8/ D.Huffman, Synthesis of Sequential Switching Circuits, Journal of Franklin Institute, Vol.257, No.3,4, 1954.
- /9/ Lj.Jacić, Tehnoekonomska optimizacija digitalnih sistema, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1981.
- /10/ Lj.Jacić, A Generalized Method for Minimizing Fluid Logic Hardware, The Fluid Power Controls and Systems Conference, Milwaukee School of Engineering, University of Wisconsin, Milwaukee, USA, 1983.

MR.LJUBOMIR JACIĆ  
DR.SVETISLAV ZARIĆ

### OPTIMALNA SINTEZA INDUSTRIJSKIH UPRAVLJAČKIH SISTEMA PRIMENOM RAČUNARA

#### Rezime

U radu je izložena metoda optimalnog projektovanja industrijskih upravljačkih sistema primenom računara. Optimalna metoda bazira na Huffman-ovoj metodi sinteze asinhronih sekvencijalnih automata, uz izvesne modifikacije i dopune u smislu optimizacije konačnog rešenja, kako u pogledu minimalnog broja komponenti, tako i u pogledu apsolutne logičke pouzdanosti automata. Primena metode demonstrirana je na konkretnom stohastičkom automatu. Dati su dalji pravci primene računara u području logičkog projektovanja.

### OPTIMAL SYNTHESIS OF INDUSTRIAL CONTROL SYSTEMS BY MEANS OF CAD

#### Summary

In the paper, the optimal method for synthesis of industrial automata by means of computer is presented. The method is based on classical Huffman's method for synthesis asynchronous sequential automata, combined with some modifications and additional algorithms in sense of optimization of final solution, from aspect of minimal number of components, as well as absolutely hazard free networks. The application of Optimal method has been demonstrated on the example of synthesis the concrete stochastic automata. The future trends of application of computers in this area are suggested.



XVIII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE  
NIŠ 1984. GODINE

ISTRAŽIVANJE MOGUĆNOSTI PRIMJENE KOMPJUTERSKOG UPRAVLJANJA\*  
AUTOMATSKOM LINIJOM ZA IZRADU OSNOSIMETRIČNIH PROFILA

Dr Vučko Mečanić dipl.inž., docent Mašinskog fakulteta u Mostaru  
Dr Milan Jurković dipl.inž., vanr.prof. Mašinskog fakulteta u  
B. Luci

1. UVODNE NAPOMENE

Razvoj osnovnih i graničnih naučnih disciplina na području obrade metala rezanjem i deformisanjem, omogućio je da se na ovom području razviju obradni sistemi sa visokim ili potpunim stepenom automatizacije koje na osnovu principa upravljanja nazivamo kompjuterski upravljanim obradnim sistemima.

Upravljanje obradnim sistemima i obradnim procesima pomoću računara ima niz prednosti u odnosu na klasična upravljanja [1] i sastoji se u:

- eliminisanju fizičkih komponenata rada,
- smanjenju vremena obrade po jedinici proizvoda,
- povećanju tačnosti obrade i kvaliteta obradjenih površina
- smanjenju škarta pri obradi i
- povećanju ekonomičnosti obradnih procesa.

Visoki ekonomski efekti obradnih procesa upravljanih pomoću računara, rezultat su visoke ili potpune automatizacije, gdje računari u obradnim procesima upravljaju:

- dopremom materijala ili pripremaka,
- kretanjima alata i radnog predmeta,
- automatskom izmjenom alata i obradaka,
- funkcijama elemenata obradnog sistema,

Širog projekta "Osvajanje nove visokoproduktivne fleksibilne kontinuirane linije za izradu osnosimetričnih profila" ko-  
finansira SIZ nauke SR BiH i RMK Zenica - RO "Krajinametal"

- tokovima informacija, te
- otpremom i uskladištenjem obradjenih djelova.

Razvoj obradnih sistema i obradnih procesa upravljanih pomoću računara vodi u različita rješenja koja zavise od specifičnosti postupaka obrade sa jedne i ostvarenih pretpostavki za razvoj kompjuterske tehnologije šire u okruženju sa druge strane.

Na području numeričkog (kompjuterskog) upravljanja obradnim procesima i obradnim sistemima, razvijeni su:

- obradni sistemi sa kompjuterskim upravljanjem (CNC),
- obradni sistemi sa direktnim numeričkim upravljanjem (DNC),
- fleksibilni proizvodni sistemi (FPS) i
- obradni sistemi sa adaptivnim upravljanjem (AC).

Karakteristike i opis ovih sistema se ovdje izostavljaju, te se čitaoci upućuju na odgovarajuću literaturu, naprimjer [2].

Proučavanja obradnih sistema sa kompjuterskim upravljanjem su pokazala, da su u svijetu pa i kod nas razvijeni obradni sistemi sa kompjuterskim upravljanjem za gotovo sve vrste ili oblike obradnih procesa na području obrade metala, kao i to, da se zadržava veoma intenzivan trend razvoja i primjene ovih sistema.

Isto tako, istraživanja su pokazala, da razvoj i primjena kompjuterski upravljanih obradnih sistema na području obrade metala deformisanjem, zaostaje za primjenom ovih sistema na području obrade rezanjem. Ovo naročito važi za naše domaće proizvodne uslove. Jasno je, da se mora nastojati, da se takvo stanje što prije izmijeni.

Polazeći sa tog stanovišta ušlo u okviru citiranog projekta u istraživanja mogućnosti primjene kompjuterskog upravljanja novom visokoproduktivnom automatskom linijom za izradu osnosimetričnih i drugih profila, sa ciljem da se po mogućnosti fleksibilno automatiziraju najbitniji elementi obradnog procesa i obradnog sistema.

## 2. OSNOVE ADAPTIVNOG UPRAVLJANJA OBRADNIM SISTEMIMA

Ograničene mogućnosti klasičnih numeričkih upravljanja obradnim sistemima u smislu mogućnosti optimiranja i varijacije relevantnih parametara u toku obradnog procesa, dovele su do razvoja jednog u osnovi novog koncepta obradnog sistema, kojega nazivamo adaptivnim obradnim sistemom (AC).

Adaptivno upravljani obradni sistemi zasnivaju se na CNC sistemima kao podlogama, stim, što je dodatnim modifikacijama omogućena varijacija parametara obradnog procesa u cilju postizanja maksimalnih tehnno-ekonomskih efekata.

Analizirajući obradni proces na bazi klasičnog kompjuterskog upravljanja, evidentno je da je CNC mašina kao subjekt obradnog sistema neosjetljiva i ne reaguje na poremećajne faktore u smislu varijacije parametara obrade. Ovo proizilazi otuda, što upravljački sistem je parametara obrade. Ovo proizilazi otuda, što automatski reaktive mašine nije koncipiran i osposobljen tako, da automatski reaguje na poremećaje u obradnom procesu i obradnom sistemu. Znači, da CNC mašina u procesu obrade kroz čitavo vrijeme zadržava predprogramirane vrijednosti parametara obrade bez obzira što se u procesu i mirane vrijednosti parametara obrade bez obzira što se u procesu i miraju, pri čemu se mora voditi računa da se pri projektovanju i optimizaciji parametara obezbijede odgovarajuće rezerve koje će omogućiti pouzdano odvijanje obradnog procesa.

Za razliku od klasičnih NC i CNC sistema, sistemi sa adaptivnim upravljanjem, pored osnovne upravljačke jedinice imaju i jedinicu za prilagođavanje čiji je zadatak da na osnovu ulazno-izlaznih informacija o parametrima obradnog procesa ocjenjuju novo nastale uslove odvijanja procesa i prilagođava djelovanje osnovnog regulacionog kruga, mijenjajući vrijednosti relevantnih parametara. Parametri na osnovu kojih se vrši upravljanje obradnim procesom se u određenim intervalima mjere odgovarajućim senzorima koji ustanovljavaju njihove vrijednosti i šalju adaptivnom sistemu.

U adaptivnom sistemu se vrši njihovo upoređivanje sa zadatim vrijednostima prema algoritmu i kriteriju upravljanja i u slučaju odsutovanja vrši se potrebna korekcija i tako korigovane se zadaju izvršnim organima obradnog sistema u smislu upravljanja obradnim procesom.

Kada se govori o adaptivnom upravljanju obradnim sistemima i obradnim procesima, potrebno je istaći, da ovi sistemi mogu biti sa:

- adaptivnim graničnim upravljanjem ACC, i
- adaptivnim optimirajućim upravljanjem ACO.

Kod sistema sa graničnim adaptivnim upravljanjem, cilj upravljanja je maksimalni učinak procesa obrade, a kod sistema sa optimirajućom regulacijom minimalni troškovi obrade, odnosno maksimalni ekonomski efekti. Jasno je, da se u oba slučaja mora voditi računa o ograničenjima i obradnom sistemu i obradnom procesu. Recimo još i to, da ACC i ACO sistemi mogu biti sa tehnološkom i sa geometrijskom regulacijom.

Prateći razvoj kompjuterskog upravljanja obradnim procesima u svim varijantama (NC, CNC, DNC, AC, FPS,...) na području obrade metala rezanjem i deformisanjem, odlučeno je da se izvrši analiza mogućnosti i opravdanosti razvoja jedne visokoproduktivne automatske linije za izradu osnosimetričnih profila adaptivno upravljane pomoću računara.

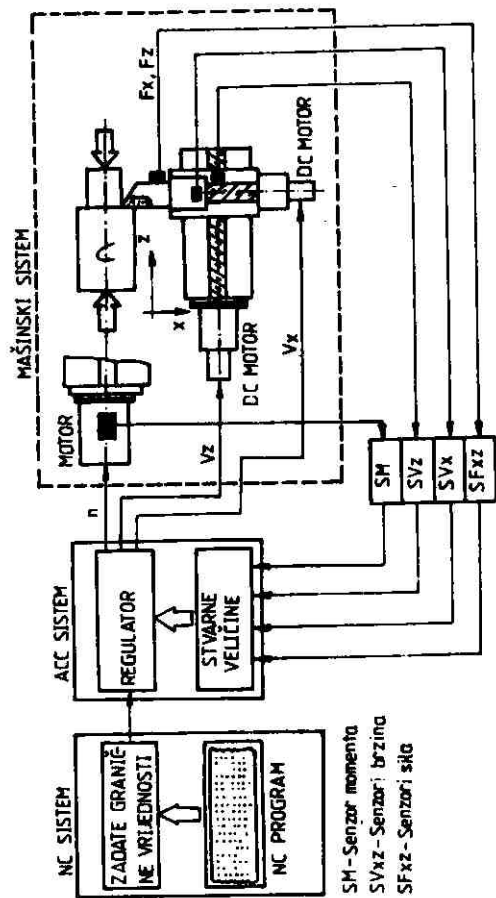
Iz šire analize i istraživanja ovdje se ukratko daje osvrt na mogućnost upravljanja takvim sistemom pomoću računara, kao sistemom sa adaptivnim graničnim upravljanjem.

### 3. KARAKTERISTIKE KLASIČNOG SISTEMA ZA OBRADU OSNOSIMETRIČNIH PROFILA VALJANJEM I IZVLAČENJEM

Pri razvoju i projektovanju bilo koga obradnog sistema, pa i sistema o kome je ovdje riječ, problem se svodi na:

- konceptijski razvoj sistema,
- definisanje mehaničkih struktura,
- izbor pogonskog, mjernog i upravljačkog sistema,
- izbor i definisanje principa i nivoa upravljanja,
- analizu produktivnosti i ekonomičnosti, i
- analizu pouzdanosti rada sistema.

Istraživanja su pokazala, da se zbog neodgovarajućeg pristupa analizi međuzavisnosti elemenata obradnog sistema, pri obradi osnosimetričnih profila metodom valjanja i izvlačenja, postižu niži ekonomski efekti obradnog procesa. Isto tako, istraživanja su pokazala [3], da su pored nižeg iskorištenja sistema u energetskom smislu i različito opterećene pojedine pogonske jedinice. Različita opterećenost pojedinih pogonskih jedinica je veoma izražena kod postojećih klasičnih sistema i varira od preopterećenja, do optere-



Slika 1. Osnovni koncept adaptivnog upravljanja na primjeru obrade struganjem.

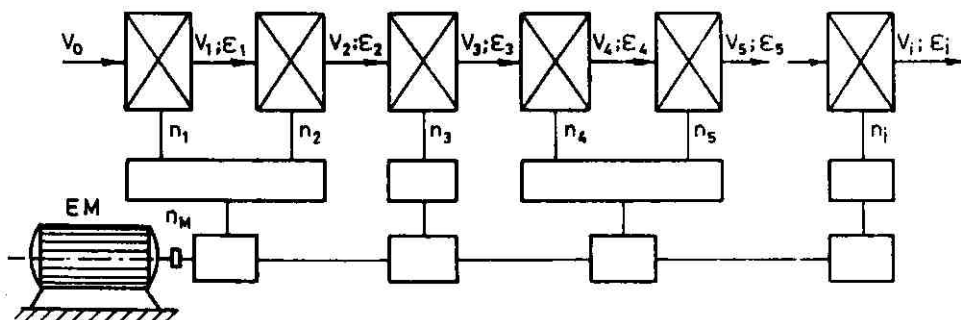
ćenja znatno ispod optimalnog.

Opterećenje pogonskih jedinica kontinualnog sistema valjanja sa klasičnim upravljanjem opisuje se jednačinom:

$$N_{m1} \neq N_{m2} \neq N_{m3} \neq \dots \neq N_{mi} \neq \dots \neq N_{mk} \neq \text{const.} \quad (1)$$

u kojoj je:  $i = 1, 2, \dots, k$  - broj pogonskih jedinica.

U ovakvom pristupu opterećenje se kreće u granicama od  $N_{\min}$  do  $N_{\max}$ . Nejednako iskorišćenje se javlja uslijed neusklađenosti brzine i stepena deformacije obradka, obrtnog momenta i snage pojedinih pogonskih jedinica. Rezultat ili posledica neravnomjernosti opterećenja i iskorišćenja pojedinih deformacionih jedinica sistema, je i nejednako habanje alata, što izaziva češće izmjene, podešavanja, zastoje i smanjenu efektivnost. Struktura obradnog sistema sa klasičnim (grupnim) pogonom prikazana je na slici 2.



Slika 2. Struktura pogona i upravljanja klasičnom automatskom linijom za izradu osnosimetričnih profila

Kako se sa slike vidi, kod grupnog pogona se radi o krutoj mehaničkoj karakteristici pogona i upravljanja, što znači, da postoje određena ograničenja u pogledu regulacije.

Polazeći od uslova konstantnosti protoka:

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 = \dots, A_i V_i = \dots, A_k V_k \quad (2)$$

mogu se definisati ograničenja u smislu brzine protoka i stepena deformacije  $V_i$  i  $\epsilon_i$ , tako da je:

$$V_1 = V_2 (1 - \epsilon_2); V_2 = V_3 (1 - \epsilon_3); \dots; V_i = V_{i+1} (1 - \epsilon_{i+1}) \quad (3)$$

Znači, za određenu višekasetnu liniju odnos brzina protoka je konstantna veličina:

$$V_i / V_{i+1} = 1 - \epsilon_i = \text{const.}, \quad (4)$$

što govori, da je odnos brzina proticanja kroz sistem u funkciji deformacije. Obzirom na pogon zajedničkim (jedinim) elektro motorom pri čemu je prenosni odnos mehaničkog prenosnika konstantan ( $i_1 = \text{const.}$ ), to je i vrijednost  $(1 - \epsilon_i)$  za određeni sistem konstanta

veličina.

Brzine protoka materijala kroz kasete se mogu mijenjati ali uz uslov da je odnos brzina dvaju susednih kaset konstantan ( $V_i/V_{i+1} = \text{const.}$ ) i uz uslov izmjene brzine u svim kasetama. Ta izmjena se vrši preko faktora povećanja ( $K$ ) i u nekim granicama od:

$$\begin{aligned} |V_0 < V_1 < V_2 < \dots, < V_1 < \dots, < V_k|_{\min}, \text{ do} \\ |V_0 K < V_1 K < V_2 K < \dots, < V_1 K < \dots, < V_k K|_{\max} \end{aligned} \quad (5)$$

Sve u svemu, takav sistem upravljanja sa fiksnom logikom je veoma ograničen i sa stanovišta ekonomičnosti prevaziđen. On ne dopušta bilo kakvo prilagođavanje i optimiranje obradnog procesa izvan utvrdjenih shema. Radi toga se prišlo istraživanju mogućnosti razvoja obradnog sistema sa fleksibilnim kompjuterskim upravljanjem.

#### 4. JEDAN MODEL KOMPJUTERSKOG UPRAVLJANJA LINIJOM ZA IZRADU OSNOSIMETRIČNIH PROFILA

U želji da se na odredjeni način i u odredjenom obimu poprave tehničko tehnološke karakteristike i ekonomičnost izrade osnosimetričnih profila, istraživane su mogućnosti razvoja jedne kompjuterski upravljane automatske linije poboljšanih tehnoloških karakteristika, prije svega, brzine valjanja i fleksibilnosti upravljanja. Istraživanja su pokazala, da postoje objektivne tehničko-tehnološke mogućnosti razvoja takve linije, kako sa stanovišta pogonskih, tako isto i sa stanovišta upravljačkog sistema.

Kompjutersko upravljanje takvom linijom ili obradnim sistemom zahtjeva razrješenje hardverskih i softverskih problema i to uglavnom u domaćim uslovima. U hardverskom smislu to su:

- elektromotorni pogoni sa mogućnošću regulacije,
- procesni računar odredjene konfiguracije,
- senzori za mjerenje relevantnih parametara
- elementi interfejsa, te
- niz mehaničkih i drugih komponenata.

U području softvera (software) to su:

- analiza i izbor kriterija upravljanja,
- definisanje parametara regulacije,
- razvoj programa upravljanja i regulacije,
- eksperimentalna verifikacija i slično.

Kompjutersko upravljanje automatskom linijom pored veće produktivnosti i ekonomičnosti obezbjeđuje i ravnomjerno opterećenje pogonsko energetske jedinice, pri čemu je:

$$N_{m1} = N_{m2} = N_{m3} = \dots = N_{mi} = \dots = N_{mk} = \text{const.} \quad (6)$$

gdje su:

$$N_{mi} = M_{mi} \cdot n_{mi} / 955 \quad [\text{kW}] \quad (7)$$

$M_{mi}$  - obrtni moment i-te pogonske jedinice,

$n_{mi}$  - broj obrtaja i-te pogonske jedinice

Važe i relacije:

$$M_{m1} \cdot n_{m1} = M_{m2} \cdot n_{m2} = \dots = M_{mi} \cdot n_{mi} = \dots = M_{mk} \cdot n_{mk} = \text{const.} \quad (8)$$

$$M_{vi} = M_{v1} / i_1 \quad (9)$$

$$n_{vi} = n_{v1} \cdot i_1 \quad (10)$$

U kojima su:  $M_{vi}$  - moment valjanja,  $n_{vi}$  - broj obrtaja valjaka i  $i_1$  - prenosni odnos reduktora i-te jedinice linije.

Iz momenta valjanja i broja obrtaja i-te deformacione i pogonske jedinice koji imaju oblik:

$$M_{vi} = \psi \cdot L_1 \cdot F_{vi} = \psi \sqrt{R_i \Delta h_i} \cdot F_{vi} \quad (11)$$

$$n_{vi} = V_1 / D_i \quad (12)$$

i uz uslov da su prečnici valjaka deformacionih jedinica isti, sledi i ravnomjerno opterećenje:

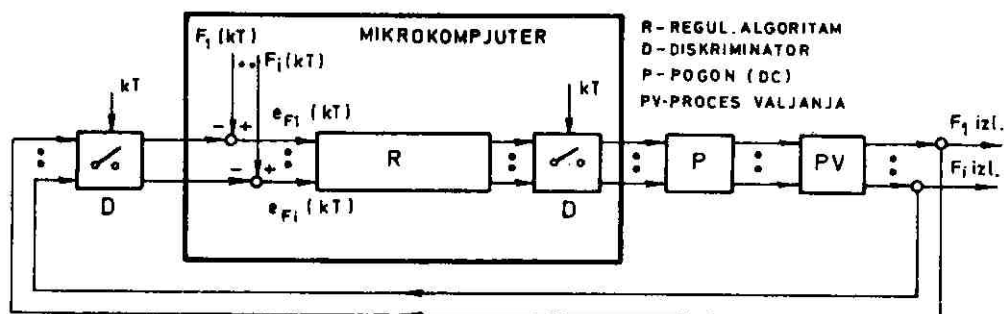
$$F_{v1} = F_{v2} = \dots = F_{vi} = \dots = F_{vk} \quad (13)$$

Pri analizi i izboru kriterija kompjuterskog upravljanja linijom za izradu osnosimetričnih profila, stoji na raspolaganju nekoliko mogućnosti. Tako na primjer kao kriterij upravljanja (regulacije) dolaze u obzir sile zatezanja između deformacionih jedinica, momenti pogonskih motora deformacionih jedinica, stepen deformacije itd.

Ako se upravljanje (regulacija) ostvaruje putem sile zatezanja tu su moguća dva pristupa. Prvi je, da sila zatezanja između deformacionih jedinica bude jednaka nuli, u kom slučaju se radi o obradnom sistemu (automatskoj liniji) sa kompenzacijom, a drugi je, da sila zatezanja postoji, u kom slučaju se radi o sistemu bez kompenzacije.

$$1^\circ \quad F_{zi} - F_{zi-1} = \Delta F_{zi} = 0 \quad [\text{daN}] \quad (14)$$

$$2^\circ \quad F_{zi} - F_{zi-1} = \Delta F_{zi} = K \quad [\text{daN}] \quad (15)$$

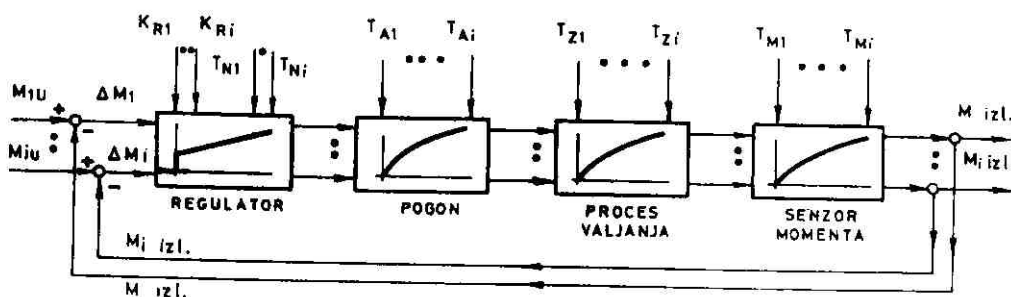


Slika 3. Princip adaptivnog upravljanja regulacijom sile zatezanja između deformacionih jedinica

Ako se upravljanje izvodi regulacijom obrtnog momenta, odnosno momenta valjanja, onda se uslov izražava u obliku:

$$M_{vi} - M_{vi-1} = \Delta M_{vi} = K \quad [Nm] \quad (16)$$

Potrebno je istaći, da se shodno usvojenom kriteriju upravljanja i relevantnim parametrima, mora voditi računa o brzini reakcije sistema pri nastajanju poremećaja. Ovo se posebno odnosi na izbor mikro komputera i na izbor pogonskih motora.

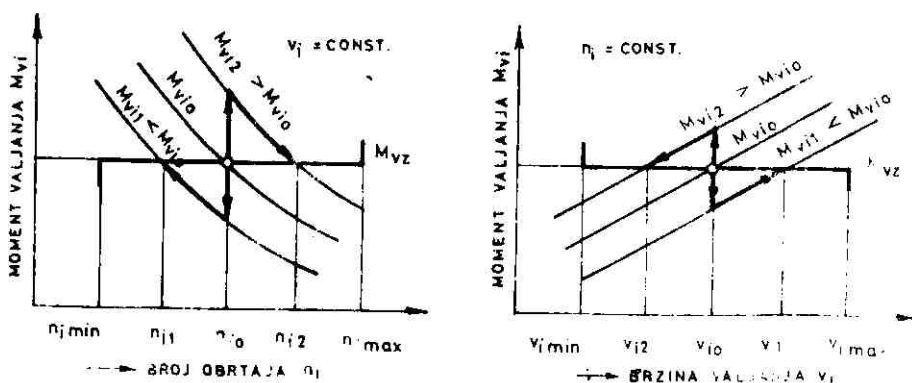


Slika 4. Adaptivno upravljanje automatskom linijom regulacijom obrtnog momenta.

Kako se sa slike 4. vidi, brzina reakcije regulatora zavisi od njegove konstante proporcionalnosti  $K_R$  i vremena regulacije  $T_N$ , o čemu se mora voditi računa uzimajući u obzir karakteristike procesa.

Ako se adaptivno upravljanje izvodi regulacijom momenta valjanja, održavanje obrtnog momenta u zadatim granicama moguće je ostvariti na dva načina. Prvi je da se obrtni moment u obradnom procesu održava u zadatim granicama pri konstantnom broju obrtaja pogonskih motora  $n_1 = \text{const.}$  i zadatim brzinama valjanja  $v_1$ .

Drugi način je da se brzina valjanja  $v_1$  održava konstantnom ( $v_1 = \text{const.}$ ) u nekim granicama broja obrtaja. Na slici 5., prikazane su obe varijante upravljanja.



Slika 5. Varijante adaptivnog upravljanja regulacijom momenta valjanja



U jednom opštem pristupu, adaptivno upravljanje možemo posmatrati sa nivoa kompjutera i sa nivoa pogona, smatrajući za trenutak nevažnim o kom se procesu obrada radi.

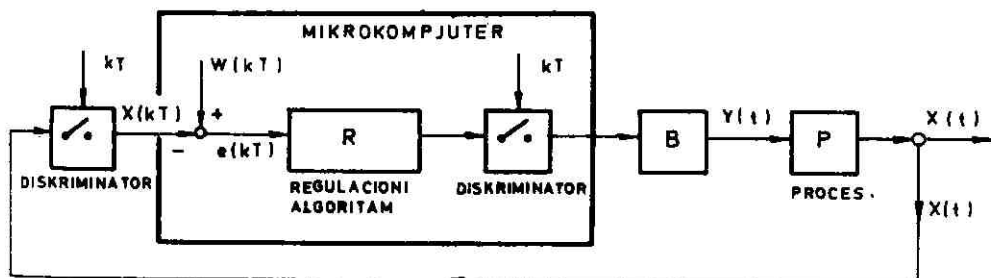
Na nivou kompjutera (obično mikro kompjutera) vrši se: identifikacija, adaptacija, optimiranje i upravljanje, dok se na nivou pogona ostvaruje: odvijanje procesa, mjerenje i realizacija upravljanja.

Od posebne važnosti je poznavanje i objašnjenje principa rada regulatora parametara procesa, odnosno adaptera unutar kompjutera i čitavog obradnog sistema. U tom smislu osvrnimo se na princip rada jednog digitalnog proporcionalno integralnog regulatora [4].

Kompjuter, u ovom slučaju, mikro kompjuter (slika 6) preuzima digitaliziranu vrijednost  $x(kT)$  i sa zadatom vrijednošću iz CNC programa  $W(kT)$  izračunava priraštaj  $e(kT)$  prema jednačini:

$$e(kT) = W(kT) - x(kT) \quad (17)$$

Na osnovu diskretnog regulacionog algoritma računskim putem se dobija vrijednost  $Y(kT)$  koju u procesu upravljanja preuzima slijedeći element iz mikro kompjutera (B) u trenutku  $(kT)$ . Iz prenosnog elementa (B) veličina  $X(t)$  zadaje se procesu (P), sa izlaznom vrijednošću  $x(t)$ .



Slika 6. Struktura adaptivnog upravljanja sa digitalnim regulacionim sistemom

Vrijednost  $X(t)$  preuzima se i dovodi na diskriminator na ulazu u mikro kompjuter u vremenskim intervalima  $(kT)$ .

Vrijednost funkcije  $Y(t)$  izračunava se u proporcionalno integralnom regulatoru (R) prema algoritmu koji zadovoljava jednačinu:

$$Y(t) = K_R \left[ e(t) + \frac{1}{T_N} \int_0^t e(\tau) d\tau \right] \quad (18)$$

gdje je  $e(t) = W(t) - X(t)$  regulacioni priraštaj.

Za rješenje diferencijalne jednačine (18) u mikro kompjuteru koriste se metode približne integracije. Primjenjujući metodu trapeza na primjer, i izrazivši ovu jednačinu u obliku sume, ista se pojednostavljuje i poprima oblik:

$$Y_k = K_R \left[ e_k + \frac{T}{T_N} \left( \frac{e_0 + e_1}{2} \right) + \dots + \frac{e_{k-1} + e_k}{2} \right] \quad (19)$$

gdje je  $e_k = W_k - X_k$ . Radi pojednostavljenja uzete su diskretne vrijednosti  $g(kT) = g_k$ .

Obzirom da regulacioni sistem upravlja motorom kao integracionim članom upravljačkog kruga, potrebno je da se u određenim vremenskim trenucima zada priraštaj:  $Y_k = Y_k - Y_{k-1}$ .

Na osnovu jednačine (19) i rekurzivne formule proporcionalno-integralnog algoritma, navedeni priraštaj je:

$$\Delta Y_k = K_R \left[ (e_k - e_{k-1}) + \frac{T}{2T_N} (e_{k-1} + e_k) \right] \quad (20)$$

Priraštaj (20) mijenja jednakost  $e_k = W_k - X_k$  koja sada poprima oblik:

$$e_k = \frac{W_k - X_k}{W_k} \quad (21)$$

Ako se desi da se zadata vrijednost za vrijeme jednog takta ne promijeni, što znači da je  $W_k = W_{k-1}$ , te unosenjem vrijednosti  $W_k$  i  $e_k$  u jednačinu (19) ista poprima oblik:

$$\Delta Y_k = K_R \left[ \frac{X_{k-1} + X_k}{W_k} + \frac{T}{2T_N} \left( 2 - \frac{X_{k-1} + X_k}{W_k} \right) \right] \quad (22)$$

Ova forma jednačine prikladna je za programiranje i implementiranje u mikro kompjuter jer ne zahtijeva veliki broj aritmetičkih operacija. Istraživanja su pokazala da se ovako pogodnom prenosnom funkcijom u 95% slučajeva sve vrijednosti korriguju za 4 - 15 taktova. Primjera radi, valja reći da se regulator sa davačem takta od  $T = 15$  ms, ponaša kao kontinualni regulator pri korištenju uproštenog PI algoritma [4].

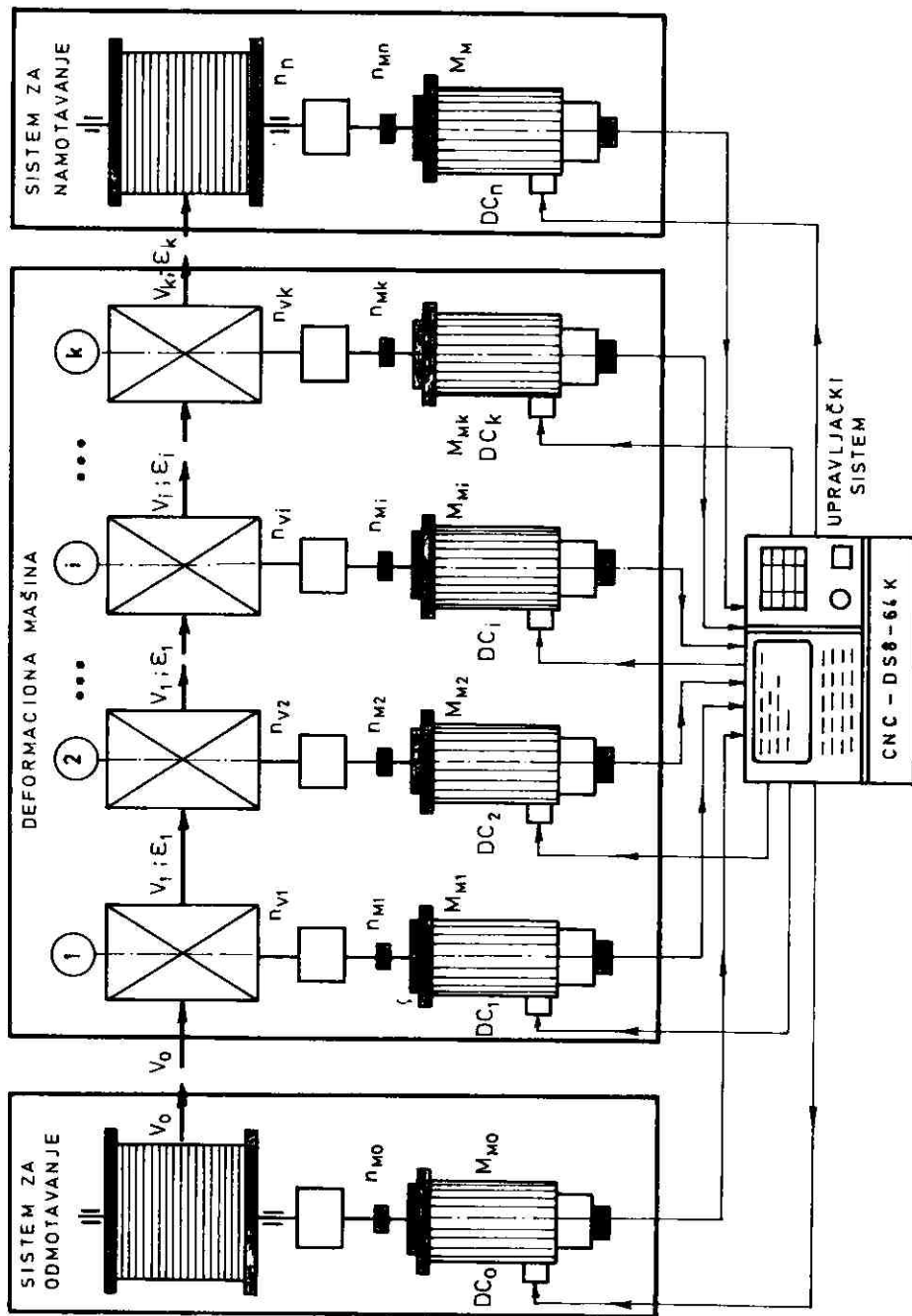
Ovaj kraći osvrt na analizu procesa regulacije upućuje na pristupe pri razrešenju konkretnog problema adaptivnog upravljanja. Tačnije, pri izboru regulatora, njegove karakteristike, kao što su konstanta proporcionalnosti  $K_R$  i vrijeme regulacije  $T_N$ , moraju biti tako odabrani da regulacioni krug brzo reaguje na promjene opterećenja, da je stabilan i da ima stacionarnu tačnost u zadatim granicama. Preporučljivo je da se nekom od metoda ispituju radne tačke i odgovarajuće zavisnosti parametara regulacije.

Isto tako, eksperimentalnom provjerom potrebno je ustanoviti valjanu granicu regulacionih parametara za pouzdano i stabilno odvijanje obradnih procesa.

Na osnovu istraživanja čiji je ovo samo jedan manji dio, stvorena je koncepcija razvoja adaptivno upravljane automatske linije za izradu osnosimetričnih profila velikim brzinama valjanja i visoke ekonomičnosti, prikazane na slici 7.

Kako se sa slike 7 vidi, regulacijom je obuhvaćen i sistem za odmotavanje, na da je mogao biti i izostavljen.

U cilju provjere koncepcije izvršena su odredjena eksperimentalna ispitivanja na modelu koja su pokazala da se može ući u razvoj kompjuterski upravljane linije za izradu osnosimetričnih profila.



Slika 7. Strukture automatske linije za izradu osnosimetričnih profila sa kompjuterskim adaptivnim upravljanjem

## 5. LITERATURA

- [1] V. Mećanin; Prilog optimizaciji obradnih procesa na numerički upravljanim obradnim centrima, XVII savjetovanje proizvodnog mašinstva, Budva 1983.
- [2] Mećanin V., Alatne mašine sa numeričkim i kompjuterskim upravljanjem, Mostar 1984.
- [3] Jurković M., Živanović S., Energetska metoda projektovanja tehnološkog procesa kao osnov efikasnog korištenja postojećih i razvoja novih kontinualnih valjačkih mašina, BIAM '84, Zagreb 1984.
- [4] Iserman R., Digitale Regelsysteme, Berlin - New York Springer 1977.

### ISTRAŽIVANJE MOGUĆNOSTI PRIMJENE KOMPJUTERSKOG UPRAVLJANJA AUTOMATSKOM LINIJOM ZA IZRADU OSNOSIMETRIČNIH PROFILA

#### R e z i m e

U cilju povećanja ekonomičnosti obradnih procesa na području obrade metala rezanjem i deformisanjem, razvijaju se obradni sistemi sa kompjuterskim upravljanjem. Kompjutersko upravljanje obuhvatajući ove postupke obrade, pokazalo se veoma ekonomičnim i pouzdanim.

Radi toga, izvršena su istraživanja mogućnosti primjene kompjuterskog upravljanja automatskom linijom za izradu osnosimetričnih profila, čiji je presjek prikazan u ovom radu.

### INVESTIGATION OF POSSIBILITIES FOR APPLICATION OF COMPUTERIZED CONTROL OF AUTOMATIC LINE FOR AXIALY SYMMETRICAL PROFILES PRODUCTION

#### S u m m a r y

For the purpose of improvement of economy of machining processes in the field of metal cutting and deformation, the systems with computerized control are developed. The computerized control showed very economical and reliable in these machining processes.

Because of this, investigations have been made to find out the possibilities of application of computerized control of automatic line for manufacturing of axially symmetrical profiles the cross section of which is shown in this work.

## XVIII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE NIŠ 1984. GODINE

### EDITOR SISTEMA ZA IZRADU PROGRAMA ZA NUMERIČKO UPRAVLJANJE ALATNIH MAŠINA

Miroslav TRAJANOVIĆ, asistent  
Mašinskog fakulteta u Nišu

Zoran Nikolić, dipl.el.ing.  
Elektronska industrija u Nišu

Zoran Djurić, dipl.el.ing.  
Elektronska industrija u Nišu

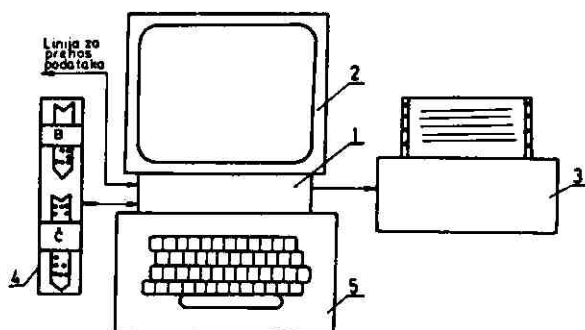
#### 1. UVOD

Proces programiranja numerički upravljanih alatnih mašina (NUMA), koji se u slučaju ručnog programiranja sastoji od pisanja programa i izrade nosioca informacije, pretpostavlja posedovanje nekog sistema za izradu programa (odnosno nosioca informacija). Postojeći sistemi za ručno programiranje su jednostavne konstrukcije i skromnih mogućnosti jer ne vrše nikakvu sintaktičku ili logičku proveru unešenih podataka.

Praksa je pokazala da se i pri ručnoj i mašinskoj izradi programa javljaju greške. Prema podacima holandskog TNO instituta, od ukupnog broja urađenih programa za NUMA 44% programa ima sintaktičke greške, 12,3% sve ostale greške (logičke, soft-ware-ske i greške u vezi sa alatom), dok je samo 43,7% ispravnih programa [2].

U fabrici Ei-Profesionalna elektronika projektovan je i razvijen sistem za izradu programa za numeričko upravljanje alatnih mašina, koji predstavlja kompletno Radno Mesto za Programiranje (RAMP). Kao što je označeno na sl.1, RAMP sačinjavaju sledeće celine: 1) upravljačka jedinica; 2) video pokazivač; 3) štampač; 4) bušač i čitač papirne trake; 5) tastatura i 6) jedinica za napajanje. Detaljniji opis RAMP-a i njegovih mogućnosti dat je u radu [1].

Pri projektovanju soft-ware-a za RAMP posebna pažnja posvećena je editoru u cilju svodjenja sintaktičkih grešaka u programu na



Sl.1. Sistem za izradu programa za numeričko upravljanje alatnih mašina - RAMP

najmanju meru. U ovom radu će se prikazati neke osobine i mogućnosti editora. Drugi deo rada odnosi se na koncepcije editora i namenskih editora. U trećem delu definisani su parametri mašine i objašnjeni kroz primere. Specifičnosti editora i rad sa editorom izloženi su u četvrtom delu rada.

## 2. EDITOR I NAMENSKI EDITOR

U cilju smanjenja mogućnosti upisivanja pogrešnih programskih komandi, unošenje bilo kojih informacija sa tastature RAMP-a vrši se u EDIT modu. Obzirom da RAMP radi u meni tehnici, ulaz u edit mod vrši se automatski pri izboru nekog od sledećih režima rada:

- programiranje ili
- korekcija.

Editor se sastoji od nekoliko namenskih editora (subeditora), koji odgovaraju različitim vrstama informacija koje mogu biti editirane. Projektovani su sledeći namenski editori:

1. PART PROGRAM za editiranje obradnih programa
2. SUBROUTINE za editiranje potprograma
3. TOOL OFFSET za editiranje tabela alata.

Nakon što je editor pozvan, sistem očekuje opis vrste informacija koje će biti editirane. Ovaj opis se nalazi odmah iza oznake za početak programa (%). Ukoliko je iza simbola % upisan neki broj (maksimalno 4 cifara), koji je ustvari broj programa, sistem prelazi u namenski editor PART PROGRAM. Medjutim, ako je iza simbola % upisano SR ili TO, sistem će preći u namenski editor SUBROUTINE ili TOOL OFFSET, respektivno. Prelazak iz jednog u drugi namenski editor je moguć i vrši se ukucavanjem znaka % i željenog opisa. Pri korekciji nekog programa ili informacija takodje se ulazi u editor, a vrstu namenskog editora sistem određuje sam.

Kao što je poznato, u upotrebi se nalaze NUMA sa različitim nivoima upravljanja i sa različitim formatima za upis programskih in-

formacija (ISO 1057, ISO 1058, ISO 1059, ISO 2539, ISO 6983/1) [3]. Pored toga, različite mašine imaju različite ose i različite funkcije. Imajući sve ovo u vidu editoru je ugrađena osobina adaptivnosti. Naime, on se uvek automatski prilagođava mašini za koju se piše program, što se postiže pomoću datoteka parametara mašine.

### 3. PARAMETRI MAŠINE

Provera podataka koja se izvodi u pojedinim namenskim editorima vrši se na osnovu datoteke parametara mašine. Skup podataka koji čine datoteku parametara mašine deli se na subdatoteke. Postoji onoliko subdatoteka koliko postoji namenskih editora.

Datoteku sa parametrima mašine kreira korisnik RAMP-a za svaku NUMA za koju želi da piše program. Datoteka se kreira jednom i može se zapisati na bušenoj traci i sačuvati za kasniju upotrebu. Svaka subdatoteka se sastoji od niza opisa adresa. Adresa je opisana sa dvadesetjednim karakterom u sledećem rasporedu:

a b c d e f g h i j k LF.

Značenje pojedinih oznaka u gornjem opisu je sledeće:

a - Adresa reči. Na ovom mestu se upisuje adresa na koju se odnosi opis. U jednoj subdatoteci opis neke adrese se pojavljuje onoliko puta koliko različitih formata proističe iz kombinacije G funkcija.

b - Kôd prve signifikantne G funkcije. Signifikantne G funkcije su G70, G94, G33 i G04, jer one utiču na formu.

c - Kôd druge signifikantne G funkcije. Ukoliko format adrese zavisi od dve G funkcije, redosled upisivanja kôdova funkcija nije bitan. Ako ne postoji G funkcija koja utiče na format, upisuju se dva znaka SP (space).

d - Mesto za znak + ili -. Kada je u okviru formata predviđeno pisanje znaka, na ovom mestu se upisuje znak +. U suprotnom se upisuje znak SP.

e - Znak kojim se definiše pisanje prednjih nula. Ako nije obavezno pisati prednje nule, na ovom mestu se upisuje 0, a u suprotnom SP.

f - Format celobrojnog dela informacije. Na ovom mestu se upisuje cifra koja pokazuje koliko mesta može da zauzme celobrojni deo informacije.

g - Decimalni znak. Kada je na ovom mestu upisana tačka, postoji eksplicitni decimalni znak, a ako je upisano SP, ne postoji.

h - Format decimalnog dela informacije.

i - Maksimalni broj istih adresa u bloku. Broj koji se upiše na ovom mestu pokazuje koliko različitih greški sa istom adresom može da se upiše u jednom bloku.

j - Minimalna vrednost informacija. Predviđeno je 5 mesta za unošenje celobrojnog dela minimalne vrednosti informacije. Prvo mesto je predviđeno za znak (+ ili -). Prednje nule je obavezno pisati.

k - Maksimalna vrednost informacije. Piše se u istom formatu kao i minimalna vrednost.

Na kraju opisa se stavlja znak LF.

Na primer, adresa X bi imala dva opisa formata u nekoj subdatoteci ukoliko je omogućeno programiranje u milimetrima (G71) i inčima (G70).

X70\_\_+03.41-0400+0400LF

X\_\_\_\_+04.31-9999+9999LF

U prvom redu je dat opis formata za slučaj da je programirana funkcija G70. Format je onda 3.4 , pri čemu se može upisati znak + ili -, prednje nule nije obavezno pisati, decimalna tačka i samo jedna adresa X može da se pojavi u bloku. Minimalna informacija je -400 inča, a maksimalna +400 inča. Međutim, u slučaju da G70 nije programirano, editor će uzeti u obzir format X adrese dat u drugom redu.

Za adrese čije je značenje kodirano (M, G i  $\odot$  funkcije) u okviru editora se ispituje da li su predviđene i da li, ukoliko su modalne, u jednom bloku postoji više funkcija iz iste grupe. Zbog toga se, pored opisa formata, za ove adrese specificiraju kodovi funkcija koji čine istu grupu. Na primer, ako grupu G funkcija, koja se označava sa G01, čine funkcije G00, G01, G02, G03 i G33, onda se u subdatoteci daje sledeći opis:

G010001020333LF .

U toku rada RAMP-a, u režimu programiranja editor iz datoteke parametra mašine uzima potrebne podatke i kontroliše unošene informacije.

#### 4. RAD SA EDITOROM

Kao što je napred rečeno, ulaskom u editor, odnosno namenski editor, omogućeno je editiranje neke vrste informacija. Način rada editora biće prikazan na primeru editiranja PART PROGRAMA.

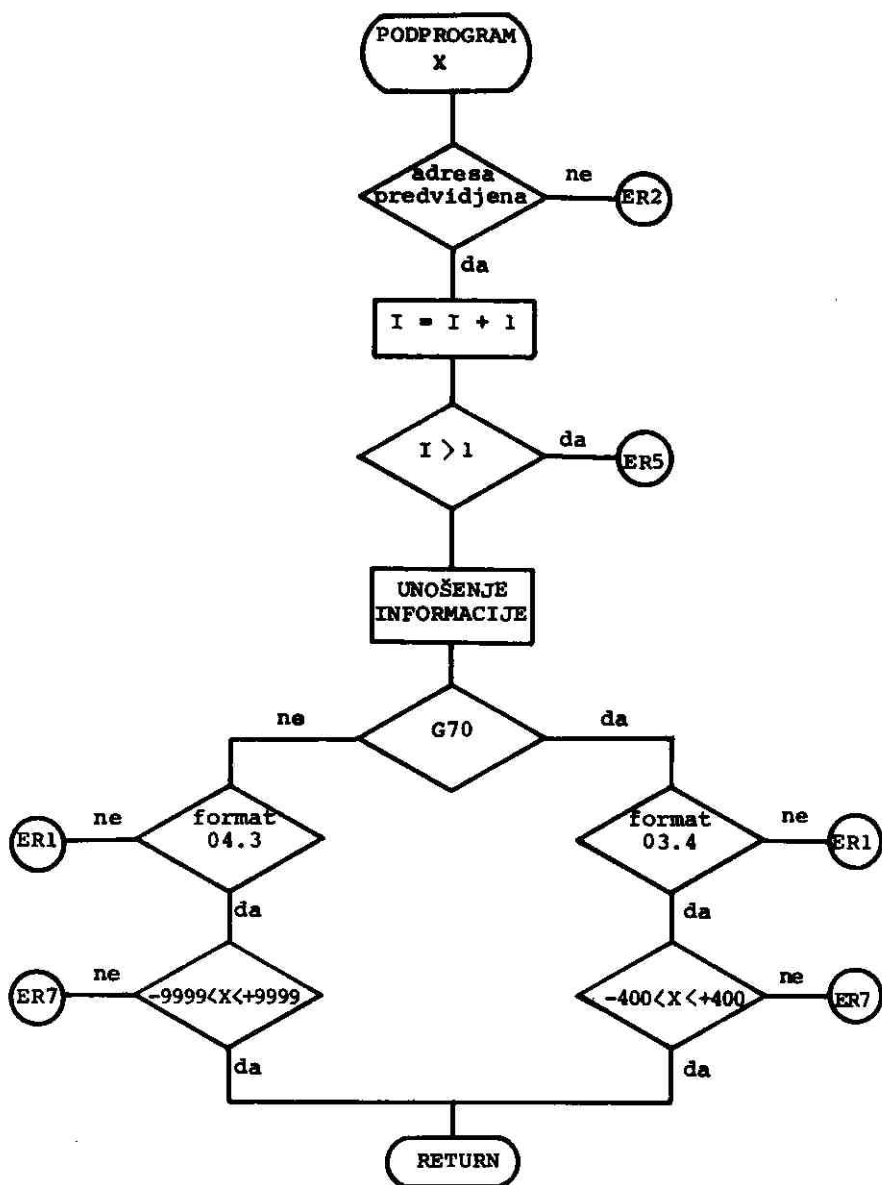
Kada se ukuca željena adresa sa tastature ona izazove skok na potprogram adrese. Potprogram adrese, koristeći podatke iz datoteke parametara mašine, prvo vrši proveru da li je ukucana adresa previdjena za tu mašinu i da li se u bloku ne nalazi veći broj istih adresa od dozvoljenog. Ako je ovaj test pozitivan, dozvoljeno je unošenje informacije. Kraj informacije je označen sa HT (horizontal tabulator) koji ujedno inicira proveru formata i vrednosti informacije. Ukoliko su i ovi testovi dobri, dozvoljeno je unošenje naredne reči u bloku.

Ako je, međutim, pri nekoj od provera otkrivena greška, javlja se poruka na ekranu, daje se zvučni signal i kursor se zaustavlja. Unošenje novih informacija moguće je nakon otklanjanja greške.

Na sl.2 je dat, kao primer, algoritam potprograma X adrese z opis prikazan u odeljku 3.

Da bi se olakšao rad programeru, na ekranu se pojavljuje jedna od poruka iz Tabele 1. U tabeli su data i objašnjenja uzroka nastanka greške i način otklanjanja.





Sl. 2. Algoritam potprograma X adrese

TABELA 1

| Broj greške | PORUKA NA EKRANU                | UZROK                                                            | AKCIJE               |
|-------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------|
| ER1         | Informacija van formata         | Premašen format                                                  | Ispravka informacije |
| ER2         | Adresa nije predviđena          | Programirana adresa ne postoji na datoj mašini                   | Brisanje adrese      |
| ER3         | Informacija nije predviđena     | Programirana G,M ili $\odot$ funkcija nije predviđena            | Ispravka informacije |
| ER4         | Više od jedne funkcije iz grupe | Iz iste grupe M ili G funkcija programirane su dve               | Ispravka informacije |
| ER5         | Više istih funkcija             | Postoji više od dozvoljenog broja istih funkcija u bloku         | Brisanje adrese      |
| ER6         | Adresa nije predviđena          | Uz programiranu G funkciju se nalazi adresa koja nije predviđena | Brisanje adrese      |
| ER7         | Informacija van oblasti         | Informacija se nalazi van dozvoljenog opsega                     | Ispravka informacije |

## 5. ZAKLJUČAK

Sistem za izradu programa za numeričko upravljanje alatnih mašina - RAMP, u uporedjenju sa klasičnim sistemima za ručno programiranje koji su u upotrebi, olakšava rad programeru i svodi mogućnost pojave sintaktičkih grešaka na minimum. U slučaju greške u programiranju na ekranu se daje poruka o njenom karakteru, što programeru olakšava nalaženje i otklanjanje njenog uzroka. Adaptivni editor, na koga korisnik može da utiče, omogućuje prilagodjenje sistema mašini za koju se piše program.

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

- [1] TRAJANOVIĆ M., DJURIĆ Z., NIKOLIĆ Z., Jedno rešenje sistema za izradu programa za numeričko upravljanje alatnih mašina, BIAM, Zagreb, 1984.
- [2] CVJETIČANIN M., Programiranje numerički upravljanih strojeva, Alatne mašine, br.1, pp.37-43, 1984.
- [3] STANDARDI: ISO 646, ISO 1057, ISO 1058, ISO 1059, ISO 2539, ISO 6983/1.

MIROSLAV TRAJANOVIĆ, ZORAN NIKOLIĆ, ZORAN DJURIĆ

EDITOR SISTEMA ZA IZRADU PROGRAMA ZA  
NUMERIČKO UPRAVLJANJE ALATNIH MAŠINA

R e z i m e

Projektovano radno mesto za programiranje NUMA predstavlja veliku pomoć u procesu pripreme nosioca informacija. Brzina izrade i tačnost programa bitno zavise od ugradjenog editora. U radu je dat prikaz realizovanog editora i njegove mogućnosti.

EDITOR OF THE SYSTEM FOR PROGRAMME DESIGNING  
FOR MACHINE TOOL NUMERICAL CONTROL

S u m m a r y

The System for programme designing for machine tool numerical control represents the great help in the process of preparing the punched tape. The quickness of the work and the accuracy of the programme depend heavily on the built-in editor. This paper presents the realized editor and its capabilities.

# XVIII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE NIŠ 1984. GODINE

## SISTEM ZA NUMERIČKO UPRAVLJANJE ELEKTROZAVOJNIM PRESAMA

Tomislav SIMIĆ, dipl.el.ing.  
Elektronska industrija Niš

Sreten Pavlović, dipl.el.ing.  
Elektronska industrija Niš

Miroslav Trajanović, asistent  
Mašinskog fakulteta u Nišu

### 1. UVOD

Primena numeričkog upravljanja omogućuje poboljšanje funkcionalnosti, povećanje pouzdanosti u radu i smanjenje potrošnje energije u širokom spektru aplikacija. Jedna od oblasti primene numeričkog upravljanja je upravljanje mašinama za obradu deformisanjem. U radu je dat prikaz jedinice za numeričko upravljanje elektroza-vojnih presa, kao jedan od mogućih načina realizovanja upravljanja mašinama.

Značaj primene numeričkog upravljanja u mašinama za obradu de-formisanjem je u povećanju brzine rada, pouzdanosti i preciznosti izrade obradka. S druge strane, zamena elektromehaničkih komponenti savremenim poluprovodničkim (tiristorima) produžava vek trajanja ure-djaja i pojednostavljuje održavanje.

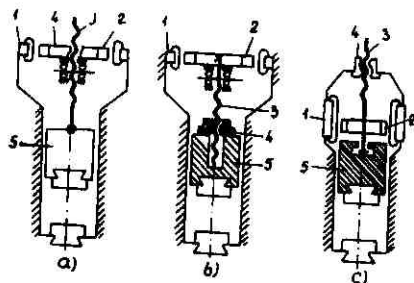
### 2. KONSTRUKCIJA I OPIS RADA ELEKTROZAVOJNE PRESE

Zavojne prese su mašine za obradu deformisanjem koje služe za oblikovanje materijala u toplom i hladnom stanju. Nazivaju se za-vojne zato što se za transformisanje obrtnog kretanja zamajca u pravolinijsko kretanje pritiskivača koristi zavojni par: zavojno vreteno - navrtka.

Shodno načinu prenosa energije od motora do zamajca, zavojne prese se dele na:

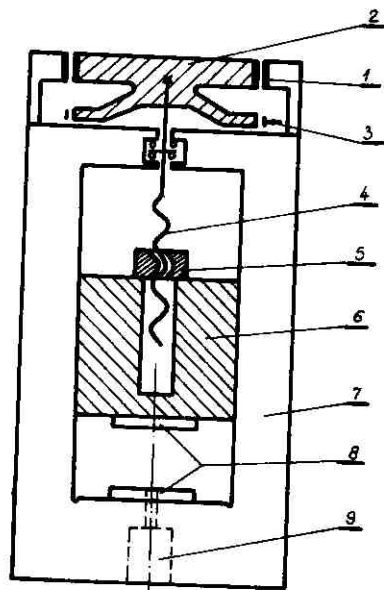
- frikcijske zavojne prese,
- hidro-zavojne prese,
- elektro-zavojne prese.

Ovde će biti prikazan princip rada elektrozavojnih presa (EZP). Moguća su različita izvodjenja EZP. Neka tipična izvodjenja su prikazana na sl.1.



Sl. 1. Konstrukтивne šeme nekih EZP

- a) sa pravolinijskim kretanjem zavojnog vretena
  - b) sa obrtnim kretanjem zavojnog vretena
  - c) sa složenim - zavojnim kretanjem zavojnog vretena
- 1 - stator, 2 - rotor (zamajac), 3 - zavojno vreteno,  
4 - navrtka, 5 - pritiskivač.



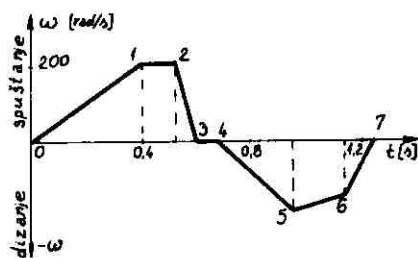
Sl. 2. Šematski prikaz EZP-1000, proizvodnje MIN - Niš

- 1 - stator, 2 - rotor, 3 - pneumatska papučasta kočnica,  
4 - zavojno vreteno, 5 - navrtka, 6 - pritiskivač, 7 - noseća  
struktura, 8 - alat, 9 - izbacivač

Bez obzira na konstruktivno izvodjenje, EZP imaju uglavnom iste sklopove. Za pogon se upotrebljavaju kratkospojeni trofazni asinhroni reverzibilni motori sa kružnim ili lučnim statorom (1). Rotor (2) je istovremeno zamajac čija je uloga da u periodu ubrzanja akumulira energiju potrebnu da se izvrši proces deformisanja obradka. Obrtno kretanje zamajca se preko navrtke (4) i zavojnog vretena (3) pretvara u pravolinijsko kretanje pritiskivača (5) koji nosi gornji deo alata. Princip rada EZP će biti prikazan na primeru EZP-1000 MIN-ove proizvodnje, čiji je šematski prikaz dat na sl.2.

U ovom slučaju rotor - zamajac (2) je fiksiran za zavojno vreteno (4) koje izводи obrtno kretanje. Navrtka (5) je čvrsto vezana za pritiskivač (6) koji ima mogućnost pravolinijskog kretanja duž vodjica postavljenih na stubovima prese. Na taj način, obrtno kretanje vretena prisiljava pritiskivač da se kreće naniže ili naviše zavisno od smera obrtanja vretena.

Jedan ciklus obrade može u opštem slučaju da se podeli na sedam perioda, kao što je prikazano na sl.3.



Sl. 3. Periodi ciklusa obrade prikazani kroz promenu ugaone brzine zamajca

- 0-1 period ubrzanja pri spuštanju
- 1-2 kretanje usled inercije
- 2-3 period udara
- 3-4 pauza u donjoj mrtvoj tački
- 4-5 period ubrzanja pri dizanju
- 5-6 period kretanja usled inercije
- 6-7 kočenje.

Nakon uključivanja elektromotora počinje period ubrzanja zamajca (0-1). Ubrzanje traje sve dok se ne dostigne ona ugaona brzina ( $\omega_z$ ) koja obezbeđuje da se u zamajcu akumulira potrebna količina kinetičke energije  $A_z$ . Ovoj energiji se dodaje rad sile težine pritiskivača ( $A_g$ ). Jedan deo ove energije se za vreme procesa obrade iskoristi za deformisanje obradka ( $A_n$ ), drugi deo se utroši na elastično deformisanje strukture prese ( $A_{def}$ ), a treći deo se iskoristi na savladjivanje otpora trenja ( $A_{tr}$ ), pa se može napisati:

$$A_z = A_n + A_{tr} + A_{def} - A_g \quad (1)$$

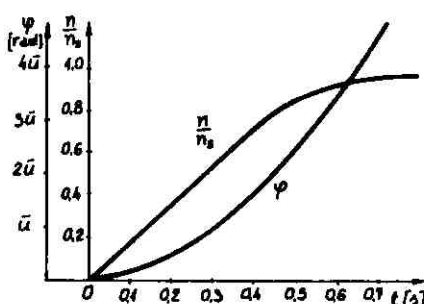
Kako je kinetička energija zamajca:

$$A_z = \frac{1}{2} J_o \omega_z^2, \quad (2)$$

gde je  $J_0$  moment inercije pokretnih masa, promenom ugaone brzine zamajca moguće je dozirati energiju u procesu obrade. Nakon što se željena ugaona brzina dostigne motor se isključuje. Ovaj period mora da se završi pre nego što počne period udara (2-3), pa u opštem slučaju postoji period kretanja usled inercije (1-2).

Pošto se zamajac zaustavi, predavši na taj način svu svoju energiju, nastaje kratak period mirovanja (3-4), nakon koga se uključuje suprotan smer obrtanja elektromotora. To je period ubrzanja zamajca pri dizanju (4-5). Kada se zamajac dovoljno ubrza motor se isključuje i nakon perioda kretanja usled inercije (5-6) uključuje se kočnica koja izvrši kočenje zamajca u periodu (6-7). Posle ovoga može da počne novi ciklus.

Iz jednačine (2) se vidi da se doziranje energije može vršiti regulacijom broja obrtaja elektromotora, što je u ovom slučaju iskorišćeno.



Sl. 4. Karakteristike relativne promene brzine  $n/n_s$  i ugla okretanja rotora ( $\psi$ )

Na sl.4 prikazane su karakteristike relativne promene brzine ( $n/n_s$ ) i ugla okretanja rotora ( $\psi$  [rad]) u vremenu motora KY 5415 K AN18 proizvodnje "SCHORCH". Sa slike se vidi da je motor izradjen tako da dostiže 95% od svoje maksimalne brzine, za približno 0,6 sec pri linearnom priraštaju brzine u većem delu krive. Nakon ovog vremena priraštaj brzine se naglo smanjuje, tako da se pri daljem radu motora u zamajcu ne akumulira značajnija količina energije u jedinici vremena. Osim toga, konstruktivne karakteristike prese (dužina zavojnog vretena) ne dozvoljavaju veliki ugao zaokretanja rotora ( $\psi_{max} = 4$  rad).

Sa dijagrama na sl.4 se vidi da je oblast programiranog doziranja energije udarca ograničena na vremenski period od 0 do 0,6sec.

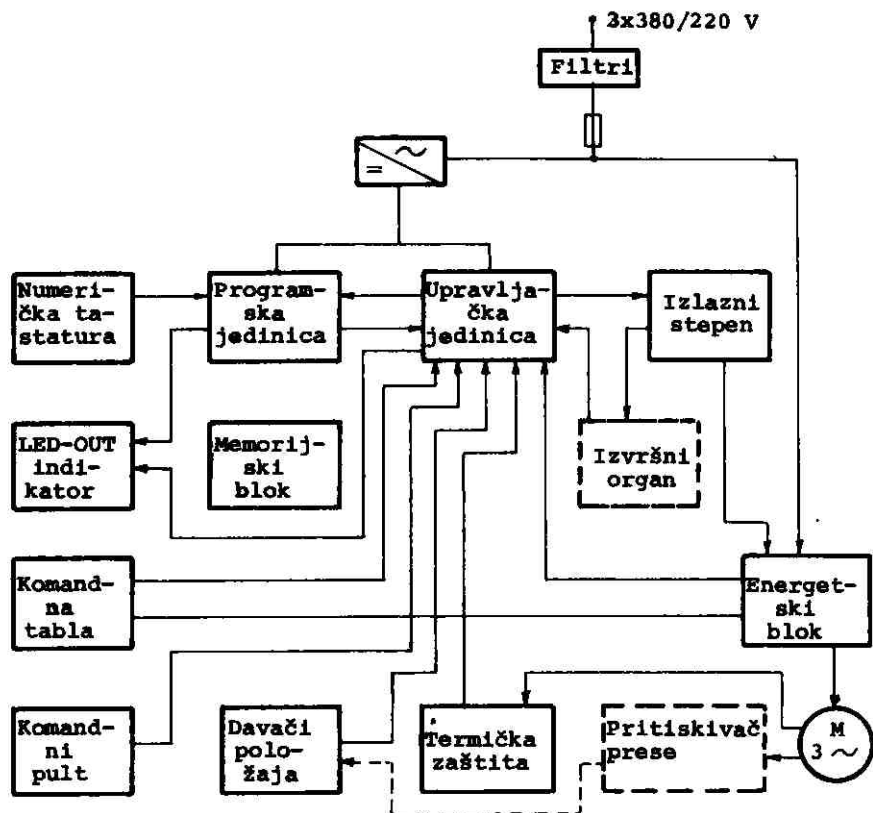
### 3. JEDINICA ZA NUMERIČKO UPRAVLJANJE

Numeričko upravljanje ovako koncipiranom presom prikazano je blok šemom na sl.5.

Programska jedinica omogućuje jednostavno unošenje programa u memorijski blok preko numeričke tastature.

U jednom radnom programu moguće je programirati 8 različitih energija, pri čemu se svakom izabranom može izvršiti najviše 99 uza-

stopnih udaraca. Unešeni program se sukcesivno prikazuje na displeju sastavljenom od osam 7-mo segmentnih LED indikatora. Izabrani program za rad moguće je testirati pri čemu operator prati proveru programa na displeju (self-testing). Ovakav način programiranja omogućuje brzo nalaženje optimalnog radnog programa.



Sl. 5. Blok šema numeričkog upravljanja elektrozavojne prese

Upravljačka jedinica upravlja radom izvršnih organa, na osnovu naredbi definisanih programom i informacija koje dobija od davača položaja i pratećih sklopova. Ova jedinica omogućuje:

- automatski rad, kada jedan start inicira ceo program i
- pojedinačan rad, kada je za svaki udarac potreban novi start.

Pored navedenog, upravljačka jedinica daje komandu za zaustavljanje pritiskivača ukoliko dobije informaciju da je došlo do:

- pregrevanja pogonskog motora (termička zaštita),
- smanjenja pritiska vazduha u pneumatskoj instalaciji ispod graničnog,
- nestanka napona neke faze i
- otkaza sistema za hlađenje motora.

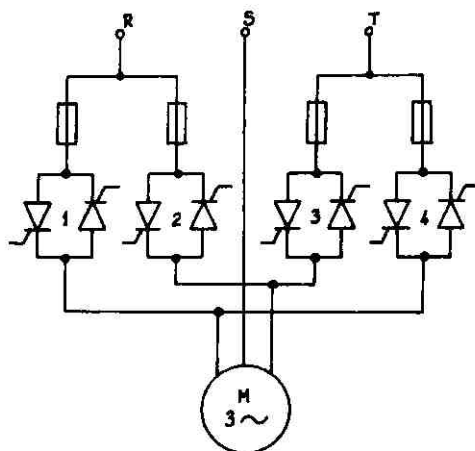


Upravljačka i programska jedinica su izrađene u poluprovodničkoj CMOS tehnologiji.

Energetski blok sastoji se od:

- dva tiristorska bloka koji omogućuju reverziranje motora pritiskivača prese,
- sistema prekostrujne zaštite i
- pratećih sklopova (sklopke, rastavljači).

Reverziranje motora izvedeno je ritistorima T00-150-15-ISKRA. Uključivanje tiristorskog para, sl.6, vrši se generatorom okidnih impulsa. Obrtanje elektromotora u smeru koji odgovara spuštanju pritiskivača se postiže aktiviranjem tiristorskih parova 1 i 3, a suprotan smer aktiviranjem parova 2 i 4.



Sl. 6. Tiristorski par

Tiristori vezani u anti-paralelnoj vezi zaštićeni su odgovarajućim poluprovodničkim osiguračima. Blok za filtriranje urađen je kao "P filter" i obezbeđuje imunitet na smetnje, a takođe sprečava i emitovanje istih u mrežu.

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu iznešenog u radu može se zaključiti:

- Ostvarenje zadatog rada elektrozavojne prese zahteva savremeno numeričko upravljanje.
- Eksploatacione karakteristike prese znatno se poboljšavaju kvalitetnim upravljanjem.
- Pouzdan rad je ostvaren ugradnjom integriranih kola visoke margine smetnji (4,5 V) u programskom i upravljačkom delu i brzim i kvalitetnim elementima energetske elektronike (silicijumskih ispravljačkih dioda).
- Za vreme od 1,2 sec koliko može da traje jedan ciklus, koje je na prvi pogled veliko, izvrši se čitav skup numeričkih, upravljačkih, energetskih, pneumatskih i mehaničkih operacija u skladnom

redosledu pod punom kontrolom programskog i upravljačkog bloka. Kraće vreme ciklusa može da se postigne smanjenjem vremena odziva sistema za kočenje.

- S obzirom na trenutno stanje upravljanja elektrozavojnih presa u svetu, koje je moglo da se vidi na poslednjem evropskom sajmu alatnih mašina EMO-5 u Parizu, ovaj uređaj je na višem nivou od postojećih vidjenih.

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

- [1] LJ.A. BOČAROV, Vitovle presi, Mašinstroenie, Moskva, 1976.
- [2] NAUČNO-ISTRAŽIVAČKI PROJEKAT: "Istraživanje i razvoj energetskih komponenti pogonskog sistema zavojnih presa, Institut Mašinskog fakulteta u Nišu, 1978-1983, Niš.

TOMISLAV SIMIĆ, SRETEN PAVLOVIĆ, MIROSLAV TRAJANOVIĆ

### SISTEM ZA NUMERIČKO UPRAVLJANJE ELEKTROZAVOJNIM PRESAMA

### R e z i m e

U radu je prikazano realizovano numeričko upravljanje za elektrozavojnu presu. Posebna pažnja posvećena je numeričkoj regulaciji kinetičke energije pritiskivača elektrozavojne prese i optimalnom redosledu rada izvršnih organa.

### THE SYSTEM FOR NUMERICAL CONTROL OF THE ELECTRO-SCREW PRESSES

### S u m m a r y

This paper presents the realized numerical control for the electro-screw press. The special attention is given to the numerical regulation of the kinetic energy of the electro-screw press ram and to the optional sequence of the actuators work.

XVIII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE  
NIŠ 1984. GODINE

OPRAVDANOST PRIMENE NUMERIČKI UPRAVLJENIH  
MAŠINA ZA ELEMENTARNU OPERACIJU STRUGANJA  
U FABRICI "HODNIH STROJEVA" INDUSTRIJE

"14. OKTOBAR"

MIRKO N. DUMANOVIĆ, dipl.mašin.inženjer

1. UVOD

Numerički upravljene mašine, iz dana u dan, sve više i više postaju deo naše objektivne stvarnosti. Praktično, porast svih kvalitativnih i kvantitativnih pokazatelja proizvodnosti nemože da se zamisli bez numerički upravljanih mašina.

Spremnost da se stara tehnologija zameni novom, progresivnom tehnologijom, u industriji "14.oktobar" u prvom redu bila je zasnovana na sposobnosti kadrova da za kratko vreme ovladaju numerički upravljanom tehnologijom sa jedne, i težnje k progresu, sa druge strane.

Na liniji osovina, u fabrici "Hodnih strojeva" došlo je do smene generacija; ciklusno upravljane mašine zamenjene su numerički upravljanim mašinama. (1)

2. VREMENSKA FUNKCIJA

Da bi se stekao pravilan uvid navedene smene generacija izvršena je tehnoeekonomska analiza, a kao elementi za ocenu ekonomičnosti uzeti su:

- a) Elementi vremenske funkcije
- b) Elementi ciklusne i tehnološke proizvodnosti

Ukupno (komandno)vreme za elementarnu operaciju struganja (2) može da se izrazi jednačinom:

$$t_z = C(t_g + t_p) + k(t_{s1} + t_{s2}) \frac{t_p}{T} + \frac{t_{pz}}{n} \dots (1)$$

gde je:  $T$  - vreme trajanja reznog alata,  
 $t_g$  - glavno (mašinsko) vreme,  
 $t_p$  - pomoćno vreme,  
 $\xi$  - korektivni faktor koji uzima u obzir vreme opsluživanja mašine i fiziološke potrebe radnika,  
 $k$  - broj korekcija alata u toku trajanja jednog sečiva,  
 $t_{s1}$  - vreme potrebno za korekciju reznog alata,  
 $t_{s2}$  - vreme potrebno za zamenu reznog alata,  
 $t_{pz}$  - pripremno završno vreme za čitavu seriju,  
 $n$  - broj komada u seriji.

### 3. CIKLUSNA I TEHNOLOŠKA PROIZVODNOST

Na osnovu komandnog (ukupnog) vremena jednostavno je orediti ciklusnu, tehnološku proizvodnost kao i koeficijente proizvodnosti, kako za ciklusna upravljane tako i za numerički upravljane mašine.

$$Q_c = \frac{1}{t_z} \quad \dots (2)$$

$$K = \frac{1}{t_g} \quad \dots (3)$$

$$\eta = \frac{K}{Q_c} \cdot 100 \dots (4)$$

Maksimalna proizvodnost obradnog sistema postiže se sledećim režimskim uslovima:

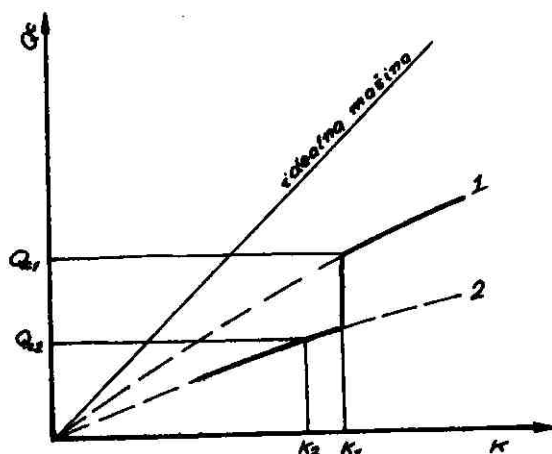
$$(s_{\max}; v_{\min})$$

### 4. REZULTATI ANALIZE

Analiza opravdanosti numerički upravljanih mašina u odnosu na ciklusno upravljane mašine, za elementarne operacije struganje izvedena je za osovinu 0.68815, koja se obradjuje na NC strugu za seriju od 560 kom. Ranije se ta ista osovina obradjivala na ciklusno upravljanim mašinama. Rezultati analize vremenske funkcije, ciklusne i tehnološke proizvodnosti kao i stepena proizvodnosti svrstani su u narednu tabelu:

| /  | VRSTA<br>MAŠINA | $t_g(\text{min.})$ | $t_p(\text{min.})$ | $t_z(\text{min.})$ | $Q_c$<br>kom/min. | $K$<br>kom/min. | $t_{pk}(\text{min.})$ | $\eta$ % |
|----|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------------|-----------------------|----------|
| 1. | NC<br>strug     | 3,81               | 2,24               | 6,05               | 0,165             | 0,263           | 60                    | 62,74    |
| 2. | CU-strug        | 4,32               | 7,076              | 11,4               | 0,0877            | 0,231           | 60                    | 37,97    |

Analiza opravdanosti numerički upravljenih strugova (NC) za elementarnu operaciju struganja, u poređenju sa ciklusno upravljanim strugovima pokazuje da se glavno (mašinsko) vreme smanjuje za 11,8 %, pomoćno vreme za 68,34 %, dok se istovremeno povećavaju ciklusna i tehnološka proizvodnja. Kvalitativnu pokazatelj skoka proizvodnosti (izvršenog tehnološkog transvera) prikazan je na dijagramu Sl.1.



Sl.1.

Glavno mašinsko vreme, smanjuje se zato što je NC strug opremljen tako da vrši kontinualnu promenu režima rezanja u velikom intervalu. Uz to, on je znatno statički i dinamički krući od ciklusno upravljenog struga, što omogućuje izbor oštrijih režima rezanja.

Pomoćno vreme smanjuje se zato što je kod numerički upravljenih mašina brzi hod-prelet znatno veći nego kod ciklusno upravljenih mašina.

#### 4. ZAKLJUČAK

Primena numerički upravljenih strugova, znatno povećava proizvodnost i ekonomičnost obrade, pri čemu se ina intenzivno iskorišćavanje fabričkog prostora. (1)

Prednost NC strugova nad ciklusno upravljanim ogleda se u postizanju veće tačnosti i kvaliteta obrade, kao i smanjnu škarta.

Pored navedenih direktnih efekata, primenom numerički upravljenih strugova, postiže se i niz drugih, indirektnih, teško merljivih pozitivnih efekata kao što su: fleksibilnost proizvodnje, mogućnost za dobru organizaciju i planiranje proizvodnje, humanizaciju rada, relativno mali broj steznih alata idr.

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

- /1/ M.N. DUMANOVIĆ, Obrada osovinā u Sektoru "Hodnih strojeva", samostalni stručni rad, (40, 43, 44 i 45) 1983.god.
- /2/ P.V. DAŠIĆ, Opravdanost korišćenja CNC struga MD 5S u Fabrici "Transmisija" Industrije "14.oktobar", MAG, časopis SOUR-a Mašinogradnja (43,44), 1983.god.
- /3/ V. DUKOVSKI, Avtomatizirano proizvodstvo I, Univerzitet "Kiril Metodij" Skopje, (18,19), 1980.god.

MIRKO DUMANOVIĆ

OPRAVDANOST PRIMENE NUMERIČKI UPRAVLJENIH  
MAŠINA ZA ELEMENTARNU OPERACIJU STRUGANJA  
U FABRICI "HODNIH STROJEVA" INDUSTRIJE  
"14.OKTOBAR"

## R e z i m e

Rad predstavlja komparativnu analizu vremenske funkcije za elementarnu operaciju struganja na numerički upravljanim i ciklusno upravljanim mašinama u fabrici "Hodnih strojeva" Industrije "14.oktobar". Jasno se može videti da se glavno komandno vreme za NC mašine smanjuje za 5,35 min. a ciklusna proizvodnost raste za 88,14% ukazuje na nesumnjivu prednost numerički upravljanih mašina, i što svakako potvrđuje opravdanost izvršenog transfera tehnologije.

THE JUSTIFIABLENESS OF USING THE NUMERICAL  
CONTROL MACHINES TOOLS FOR THE ELEMENTARY  
OPERATION OF LATHING IN THE FACTORY "TRAVELING  
UNITS" OF THE INDUSTRY OF "14.OCTOBER"

## S u m m a r y

The work presents comparative analysis of temporal function for elementary operation of lathing on numerical control and cyclus control of machines tools in the main time of piece for NC machine is decreasing for 5,35 min and the cyclus producting is increasing for 88,14% and shows to donitless advantage of numerical control machines, and what is surely confirms the justifiableness of executed of transfers of the tehnology.

MONTAŽA

## MONTAŽA - NOVO PODROČJE

### INOVATIVNEGA DELA

Zoran SELJAK, profesor  
Fakulteta za strojništvo

#### 1. Uvod

Potreba po stalnem uveljavljanju napram domači in mednarodni konkurenci zahteva, da delovne organizacije permanentno skrbijo za zmanjševanje izdelovalnih stroškov in izboljšanje kvalitete svojih izdelkov. Ukrepi za doseg te ciljev bodo po izkušnjah najučinkovitejši tam, kjer nastaja največji delež stroškov. Analize stroškov in raziskave v mnogih delovnih organizacijah so pokazale, da težišče stroškov prehaja vedno bolj od mehanske obdelave proti montaži. Tako dosega delež stroškov za montažo 30 do 70 % izdelovalnih stroškov in zato velja temu delu proizvodnje posvetiti več pozornosti.

Ob analizi vzrokov takega razvoja lahko ugotovimo, da smo racionalizacijo na področju mehanske obdelave izvajali bolj dosledno kakor pri montaži. To nas ne sme niti čuditi, saj so naloge pri izdelavi posameznih delov praviloma veliko preprosteje izvedljive kakor sestavljanje množice sestavnih delov različnih lastnosti in oblik v izdelek z določeno funkcijo. Pri mehanski obdelavi serijskih izdelkov dosegamo visoko stopnjo avtomatizacije. Medtem, ko se spekter uporabljenih obdelovalnih strojev razteza od NC-strojev do fleksibilnih transfernih linij, opravljamo montažo v večini primerov "na roko". Mehanizacija se uveljavlja največ pri montaži masovnih izdelkov, kjer so uporabljene naprave prirojene na posamezne montažne naloge.

Tako stanje ne sme voditi k sklepu, da na področju montaže serijskih izdelkov ni možnosti za gospodarno avtomatizacijo. Sicer je res, da v večini obratov še niso ustvarjeni pogoji za vesplošno uvajanje avtomatizacije montaže in bi ponudeni sistemi fleksibilne montaže ne dosegli željenega učinka. Jasno nam mora biti, da vsak ukrep za izboljšanje tega stanja predstavlja dolgoročno bistveno večji racionalizacijski potencial, kakor pri enakem vlaganju za povečanje



učinkovitosti pri mehanski obdelavi. Tudi NC-tehnologija ni bila uvedena preko noči v industrijsko prakso in kdor ni sproti sledil temu razvoju, mora danes vlagati velike napore za doseg razvojnega preskoka. Podoben, verjetno pa še hitrejši bo razvoj montaže. Delovne organizacije, ki želijo izkoristiti racionalizacijske rezerve montaže, morajo že danes pričeti z razvojnim delom - zamujeno bo vedno težje dohiteti. To trditev bi lahko potrdili z ugotovitvijo, da so bila podjetja, ki so danes tehnološko uspešna, praviloma seznanjena z novimi tehnologijami ali tehnikami, predno so jih uvedla v proizvodnjo. Taka podjetja tudi lažje presoja o trenutku, ko je neka nova tehnologija bolj gospodarna, kakor doslej uporabljena.

Montaža bo središče racionalizacijskih naporov 80-tih let - trditev, ki jo je možno dokazati. Ako današnje stanje montaže podrobneje obravnavamo, bomo ugotovili, da postavljata tržišče in potrošniki vedno bolj kompleksne zahteve. Enakomerna kvaliteta je predpogoj za uspešno prodajo. Razen tega so prisotne zahteve po vedno krajših dobavnih časih, ob širokem spektru variant, kakor tudi hitra prilagoditev izdelkov na najnovejši razvoj. To kaže na nujno, da bi z veliko produktivnostjo in fleksibilnostjo montirali s čim manjšimi stroški.

V preteklosti so bili napori za izboljšave osredotočeni na področje konstrukcije, pripravo dela in obdelavo, medtem ko je bil pri posamični ali maloserijski proizvodnji zanemarljivo delovno intenzivno področje montaže. Zakaj se pogosteje ni poskušalo, da bi z enostavnimi sredstvi izkoristili racionalizacijske potencialne v montaži, je le težko razumljivo. Ravno tu obstajajo največje racionalizacijske rezerve. V povezavi med konstrukcijo in izdelavo, oz. montažo velja uvesti primerne izboljšave, da bi dosegli prihranke tudi pri posamični ali maloserijski proizvodnji in s tem premagali konkurenčni pritisk od zunaj.

Odločilno lahko vpliva na racionalizacijo oblikovanje posameznih delov, ki ga dosledno upoštevamo že pri razvoju izdelka. Ugotoviti namreč moramo, da pri avtomatizaciji montažnih postopkov - tudi ob višjem tehničnem nivoju montažnih naprav - premalo upoštevamo oblikovanje za avtomatizirano montažo, kar je neobhodno za gospodarno avtomatizacijo.

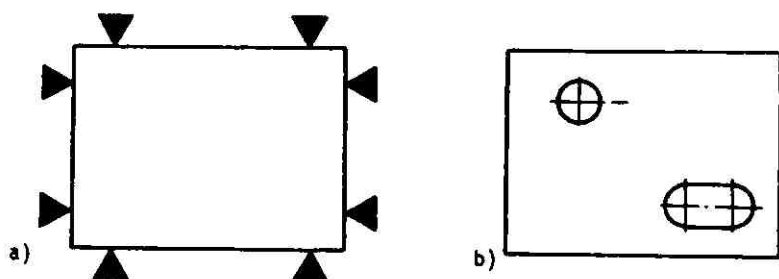
Tehnični razvoj zadnjih let je vodil k povečevanju življenjskega standarda, istočasno pa so bili prisotni negativni vplivi na delovnega človeka. Vedno bolj prihajajo do izraza fizične in psihične preobremenitve, kakor tudi nevarnosti nesreč. Da bi tako stanje reševali pozitivno, moramo razvijati delovna mesta za človeka. Pri današnjem tehnološkem stanju proizvodnje, ko je še veliko ročne strege v proizvodnji in montaži, kaže na intenzivnejše uvajanje različnih strežnih naprav za urejanje, dovajanje, odvajanje in za medsebojno povezavo. Posebno pozornost moramo posvetiti razvoju fleksibilnih strežnih in montažnih naprav. Modulna gradnja sestavljenk omogoča mehanizirana posamezna montažna mesta, kakor tudi fleksibilne montažne avtomate ali celovite montažne sisteme, ki so postavljeni linijsko ali v karejih. Programabilni montažni sistemi so zelo primerni za montažo izdelkov z več variantami ali za različne izdelke v majhnih serijah.

Pomembna je tudi priprava in prenos dosežkov raziskovalnega in razvojnega dela, kakor tudi v praksi doseženih izkušenj v široko uporabo. Le tako nam bo uspelo doseči humanizacijo delovnega okolja in izboljšanje gospodarnosti.

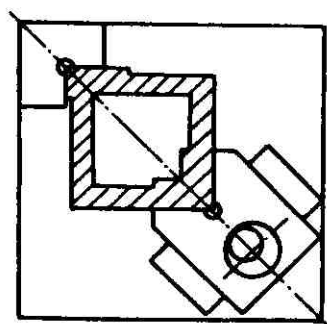
## 2. Oblikovanje izdelkov za avtomatizirano montažo

Konstrukter ima za cilj, da skonstruira izdelek za uporabo, s primernim izgledom, da odgovarja funkcionalno in včasih posveti pozornost zanesljivosti izdelka. Glede na stroške v proizvodnji pa je neobhodno, da posveti konstrukter že pri oblikovanju posameznih elementov pozornost tudi problematiki obdelave strege in montaže /1/. To področje dejavnosti je še zelo nerazvito.

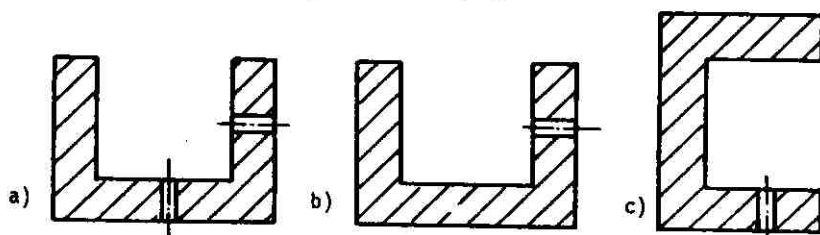
Potek montaže je potrebno analizirati že med snovanjem izdelka. Poenostavitve poteka montaže bomo dosegli, če bomo izdelek razdelili v podsklope. Izdelek z nekaj elementi ne bomo delili na sklope. Pri izdelku s sedmimi ali petnajstimi elementi pa že lahko delimo na podsklope, ki jih samostojno sestavljamo in nato te podsklope (včasih module) sestavljamo v izdelek. Enostavnost montaže moramo ravno tako doseči pri enostavnih podsklopih kakor pri kompleksnejših enotah.



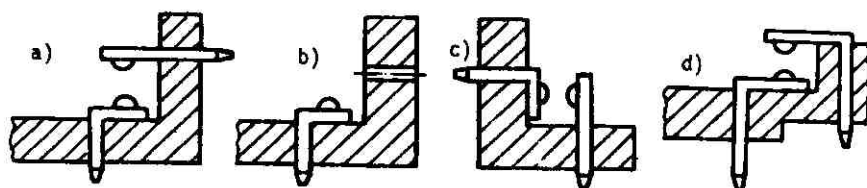
Slika 1: Zunanje centriranje ohišja "a" in centriranje po luknji z utorom



Slika 2: Prednostne površine za vpetje



Slika 3: Prikaz smeri sestavljanja delov



Slika 4: Primer sestavljanja v dveh smereh in rekonstrukcije ohišja z vtiskavanjem kontaktov v eni smeri

Za oblikovanje izdelkov, ki jih lahko enostavno montiramo, je pomembno:

- oblikovanje osnovnih delov,
- smer sestavljanja delov,
- sendvič - način sestavljanja,
- samocentriranje zloženih delov, brez pomoči posebnih naprav, dokler jih ne spojimo s spojnimi elementi,
- dovajanje delov v urejenem stanju in njihovo oblikovanje, da so sestavljivi,
- na osnovnih delih mora biti prostor za dostop z orodjem in za prijemanje,
- določiti je potrebno oporne ploskve, ki preprečujejo sile pri sestavljanju delov,
- kriteriji za izbiro načina spajanja,
- kvaliteta delov.

## 2.1. Oblikovanje osnovnih delov

Za osnovni del smatramo del na katerega montiramo ostale dele. Zanj ni nujno, da ga najprej vzamemo v roke ali nekam namestimo, temveč da nanj pritrujemo ali skladamo ostale dele. Oblikovati bi ga morali tako, da ga je možno pri zaporedju sestavljanja podajati od enega montažnega mesta do drugega brez pomoči posebnih naprav. Ta zahteva se sicer vedno ne da izpolniti, moramo jo pa imeti - posebej pri ročni montaži - kot jasno začrtan cilj. Pri verižni montaži s kroječimi paletami ali natičnimi trni, ali pri avtomatizirani montaži z vpenjalji za obdelovance lahko le-ti prevzamejo del nalog osnovnega elementa.

Osnovni del naj bo tako konstruiran, da se pri vpetju po možnosti sam centrirajo - če je potrebno, naj ima tudi nastavke za vpenjanje. Vpenjanju se skušamo izogniti, saj so vpenjalne naprave dosti dražje, kakor standardni nosilci obdelovancev oz. paleta. Vpenjanje obdelovancev v vpenjalne naprave predstavlja "sekundarne montažne operacije" in s tem tudi dodatne stroške. Izrazito osnovni del je na področju elektronike tiskana plošča, na katero montiramo nato vse elemente, ki spadajo k nekemu vezju. V mnogih primerih je osnovni del lahko ohišje ali osnovna plošča.

Pri deljeni montaži, posebno še pri mehaniziranih montažnih postopkih, je še posebno pomembna natančnost centriranja osnovnega dela v vpenjalni napravi ali na paleti. Osnovne plošče ali druge bazične dele moramo ob oblikovanju preveriti, če so tolerance zunanjih izmer dovolj ozke, da zunanje centriranje odgovarja avtomatičnemu sestavljanju delov. V primeru, da zunanje centriranje ni mogoče (sl.1a), moramo na osnovnem delu predvideti centrirne luknje. Centrirne luknje morajo biti v takem tolerančnem področju, da so funkcijske točke osnovnega dela zanesljivo na svojih mestih. Pozicioniranje dosežemo s centrirnimi zatiči. Da bi se izognili predoločenosti, bomo eno centrirno luknjo oblikovali okroglo, drugo pa podolgovato (slika 1b).

Kadar moramo osnovni del pred montažo vpeti, je primerno, da predvidimo prednostne površine za vpetje (slika 2), ki prevzemajo enako funkcijo kakor centrirne luknje. Na sliki je vidna opora, proti kateri potisne drsnik z ekscentrom pravokotno ohišje. Paleta z vpenjalji ne morejo biti opremljene s pnevmatičnimi vpenjalnimi elementi. Vpenjalno funkcijo lahko opravljajo le z vzmetmi, vreteni, priteznimi vijaki ali z ekscentri /2/.

## 2.2. Smer sestavljanja

Smer sestavljanja delov naj bo prednostno premočrtna in vertikalna, posebno še takrat, če operaciji sestavljanja sledi operacija spajanja npr. kovičenje, zasekavanje, krivljenje ali vijačenje. Horizontalno sestavljanje lahko opravimo brez težav, če so sile sestavljanja majhne oz. sledeče operacije sestavljanja ne zahtevajo večje sile. Operacija sestavljanja bo potekala po neravni poti, če dela ne moremo sestaviti v ravni smeri. Prepreka je lahko v posameznih oblikovnih elementih osnovnega dela.

Na sliki 3 so prikazane smeri sestavljanja, kakor tudi prostor za sestavljanje na osnovnem delu tako, da dodani del lahko prinese prijemalo in ga premočrtno

vtakne v luknjo (sl. "a"). Na sliki "b" imamo horizontalno premočrtno sestavljanje in na sliki "c" ukrivljeno pot sestavljanja. Tak način sestavljanja je zelo težko avtomatizirati.

Na sliki 4 je prikazan primer sestavljanja v dveh smereh. Prvi del vložimo vertikalno in premočrtno ter ga pritrdimo na ohišje, del 2 vložimo horizontalno. Da bi lahko premagali silo vtiskovanja moramo ohišje zasukati v vertikalni položaj (sl. "c"). Obračanje ohišja predstavlja sekundarni montažni postopek. Rešitev tega primera je prikazan na sl. 4d, kjer ni potrebno obračanje ohišja za vtiskovanje kontaktov - in oba kontakta sta po obliki podobna, kar daje tudi prednost pri izdelavi.

### 2.3. Sendvič - sistem sestavljanja delov in orientacija

Sendvič - sestavljanje in samocentriranje posameznih delov ne smemo ločevati pri oblikovanju osnovnih delov. Sendvič-sistem sestavljanja imenujemo takrat, ko več delov v zaporedju in enaki smeri sestavimo v celoto. Tak primer je prikazan na sliki 5, ki ga sestavljajo 4 deli.

Na sliki 6 je prikazan sestav, ki se sestoji iz osnovnega dela in nadaljnjih treh delov. Vsi trije deli se sami centrirajo na osnovni del. Deli se ne premaknejo, dokler spojni delement ne oblikujemo tako, da dobimo trajni spoj sestava. V tem primeru je v pomoč za sestavljanje in centriranje prislon (b). Del 1 in 2 natakemo na centrirni čep (a) osnovnega dela. Ko vložimo del 3, ki ima enakostrano U-obliko, z zakrivljenjem koncev dobimo zvezo delov 1, 2 in 3 z osnovnim delom.

Nadaljnji primer oblikovanja samocentriranja delov je prikazan na sliki 7. Na osnovni del je potrebno priviti kabelski čevelj tako, da ima podaljšek določeno usmeritev. Ako je na osnovnem delu le ravna naležna ploskev, bo kabelski čevelj zavzel poljuben položaj. Z utorom, ki je prikazan na desni strani, fiksiramo položaj montiranih delov v čisto določeno smer.

### 2.4. Oblikovanje za urejanje in sestavljanje

Pomembno izhodišče za gospodarno montažo, posebno še pri mehanizirani montaži je:

- oblikovanje delov za lahko urejanje in za sestavljanje,
- oblikovanje delov ali kombinacija delov za sestavljanje.

Na sliki 8a) je prikazana kombinacija sestava, ki ga sestavljata struženi del in gumijasto tesnilo, ter tako tvori ventil. Struženi del (1) ima premer stebila D1, ki služi za orientacijo in za prijemanje med montažo tesnila. Za lažjo montažo ima struženi del konico, da lažje natakemo gumijasto tesnilo. Ravno tako bi lahko napravili konično luknjo v gumijastem tesnilu, ki bi olajšala sestavljanje - le orientacija bi bila težavna. Ko je gumijasto tesnilo nataknjeno na osnovni del, se ne more več sneti in je tako varovan, da se ne zgubi.

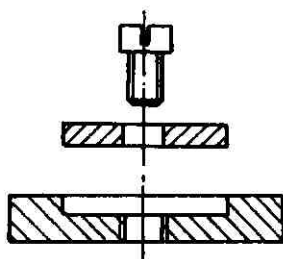
V drugem primeru (sl. 8b) imamo pločevinaste dele, ki so tako oblikovani, da jih je lažje urejati, dovajati in vložiti v osnovni del. Pločevinasti del (1) je po širini simetričen in je tako zakrivljen, da sta stranici različnih dolžin. Tako je omogočeno avtomatično urejanje in dovajanje delov. Za lažje sestavljanje ima pločevinasti del poševne prireze, ravno tako je tudi v odprtini osnovnega dela (2) poševnina, ki olajša vstavljanje pločevinastega dela (1).

Problematika avtomatičnega urejanja in oblikovanja delov za zanesljivo pravilno orientacijo je bila obravnavana na drugih mestih /1/.

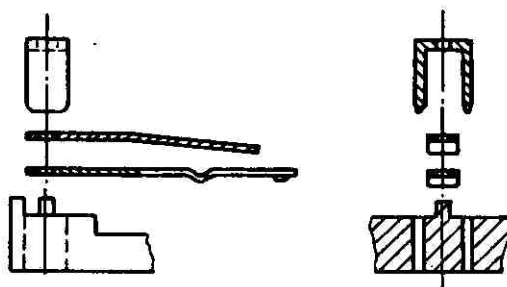
### 2.5. Prostor za prijemanje in orodje pri sestavljanju

Prostor na osnovnem delu je razumeti tiste oblikovne značilnosti, ki omogočajo popolno sestavljanje delov brez dopolnilne operacije vtiskovanja ali podobnih operacij. V osnovnem delu mora biti na voljo toliko prostora, da posamezne dele lahko s prsti ali prijemali vstavimo ali vtisnemo do njegovega končnega položaja. Na sliki 9 je prikazan tak prostor.

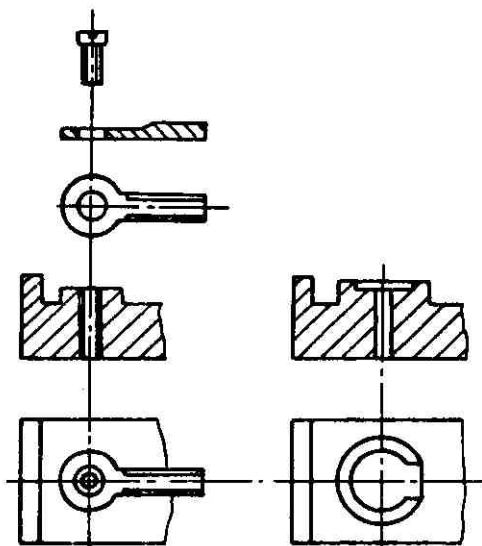
Podrobneje je pomembnost konstruktivnega oblikovanja z vidika vlaganja in privijanja posameznih delov posebej prikazana na sliki 10. V prvem delu imamo



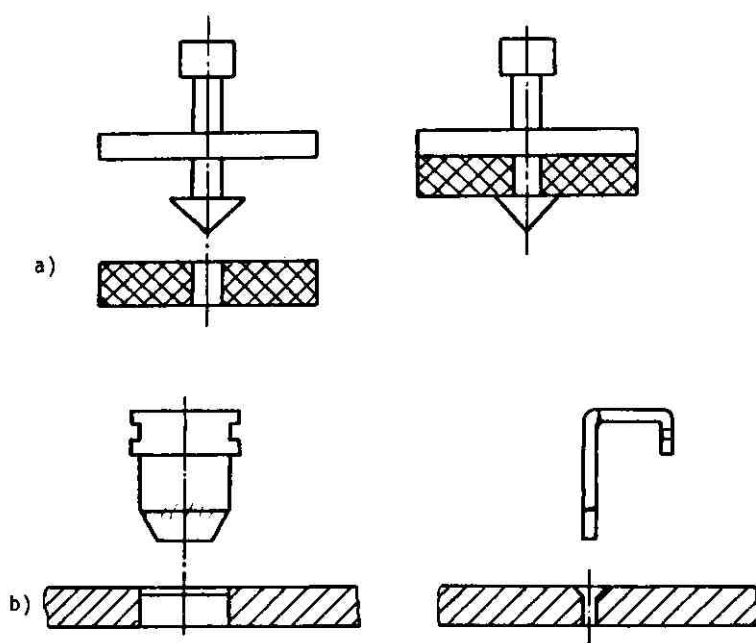
Slika 5: Sendvič sistem sestavljanja delov v celoto



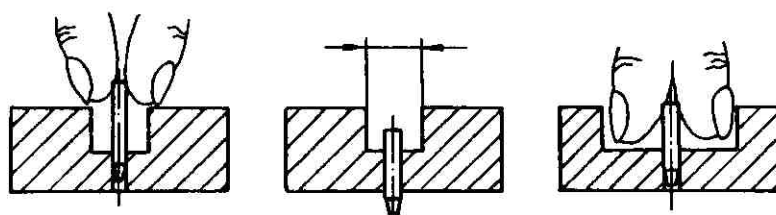
Slika 6: Sendvič sestav s samodejnim centriranjem



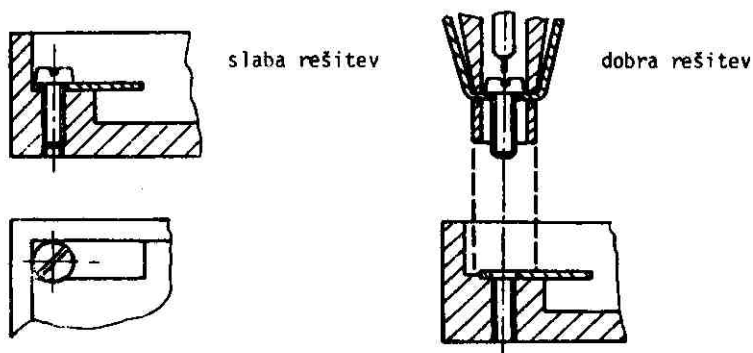
Slika 7: Primer sendvič sestava z samocentriranjem kabliskega čevlja



Slika 8: Primeri oblikovanja elementov za urejanje in sestavljanje



Slika 9: Prostor za lažje vlaganje delov v osnovni del



Slika 10: Prostor za vlaganje vijakov in privijanje

prikazano neprimerno rešitev, ko vloženi element sega do stene in tako je tudi glavica vijaka pozicionirana čisto ob steni. Na ta način ni mogoče vijak dodati s prijemalom in ga priviti. Rešitev je dana z drugo varianto pritrditve, ko ima vijak toliko prostora, da ga lahko dodamo s prijemalom in ga avtomatični vijačnik privije.

Drug primer neprimernega in primerne oblikovanja je prikazan na sliki 11, kjer vstavljamo 3 zatiče v osnovni del. Na varianti "a" je prikazana oblika, kjer sta luknji za zatič 1 in zatič 3 čisto ob steni, le zatič 2 lahko preprosto vložimo do predpisane globine. Del 1 in del 3 lahko le vstavimo v odprtino in potem v drugi delovni operaciji pritisnemo zatiče na določeno globino. V varianti "b" ima osnovni del predvideni prostor, ki omogoča, da zatiče vstavimo s primernim prijemalom in jih v isti delovni operaciji s posebnim pestičem vtisnemo na določeno globino. Prostor za prijetanje, oz. za prijemala mora biti tako oblikovan, da operacijo sestavljanja s prijemalom ali drugim orodjem lahko opravimo do konca.

## 2.6. Oporne ploskve za prestrezanje sile vtiskovanja

Pri montaži, kjer dosežemo zvezo delov z vtiskovanjem ali nastiskovanjem, je potrebno definirati oporne ploskve na osnovnem delu, da prestrežejo sile vtiskovanja. Oporne ploskve morajo biti premo v smeri delovanja sile. V primeru, da temu ni tako, se osnovni del oz. ohišje lahko deformira ali zlomi.

Na sliki 12 a in b sta prikazana primera oblikovanja opornih ploskev na ohišju tako, da lahko prevzamejo zatiče. V vsakem primeru se moramo s konstrukcijo izogniti upogibnim ali strižnim napetostim v osnovnem delu, ko vtiskujemo druge sestavne dele.

## 2.7. Kriteriji za izbiro spojnih elementov

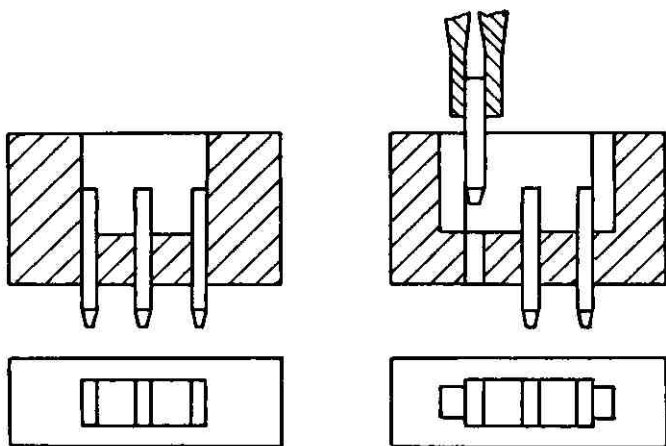
Z izbiro načina spajanja pri oblikovanju nekega izdelka lahko bistveno vplivamo na stroške montaže. Z uporabo spojnih elementov kot so: vijaki, matice, kovice, žebli itn. se poveča število delov v sklopu. Motnje ali napake, ki lahko nastopajo, so različne pri posameznih izvedbah. Na sliki 13 je prikazanih 10 različnih vijačnih spojev in relativnih stroškov za strego in montažo /3/. Iz diagrama se jasno vidi, da se stroški lahko bistveno povečajo, če spremenimo samo vijačni spoj - ne da bi pri tem spreminjali obliko glave, premer in obliko vstopne faze.

Pri sestavljanju kovinskih delov se redno zahteva določeno pozicioniranje, usmeritev ali prileganje na druge dele. V mnogih primerih prilagodne elemente lahko vkonstruiramo v sam sestavni del; v drugih primerih bomo uporabili posebne dele, npr. zatiče, vijake ipd. V vseh primerih je potrebno upoštevati stopnjo natančnosti, ki jo zahtevamo od sklopa, da bi določili tolerance za posamezne sestavne dele /8/.

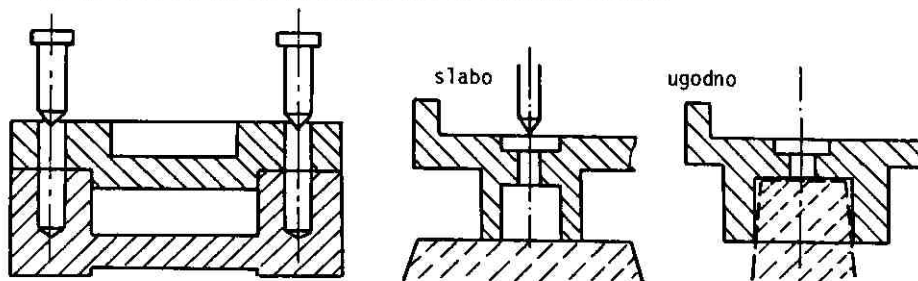
Na sliki 14a sta prikazana alternativna vijačna spoja. Prvi spoj uporablja najpreprostejšo in najobičajnejšo obliko prilagajanja in spajanja dveh pločevin. Luknje so v pločevino zvrtane ali prebite tako, da so v zgornjem delu prehodne luknje, v spodnjem pa je navoj. Isto funkcijo spajanja lahko opravljajo samorezilni vijaki s konično glavico - tako je zagotovljeno boljše pozicioniranje. Sl. 14b prikazuje natančnejše pozicioniranje pri spajanju dveh delov z vijakom in dvema zatičema. Zatiča sta vtisnjena v povrtano izvrtino. Čim večja je med zatičema razdalja, tem natančnejše je pozicioniranje.

Sl. 14c prikazuje varianti pozicioniranih oblik, ki jih dosežemo s preoblikovanjem. V gornjem delu sta iztisnjena izbočka, ki se vgnezdita v izvrtane ali izsekane luknje spodnjega dela. Pozicionirni izbočki so lahko tudi iztisnjeni tako, da je potem luknja v pločevini. Medsebojno ujete pločevine lahko spojimo z vijaki ali kovicami (sl. 14d).

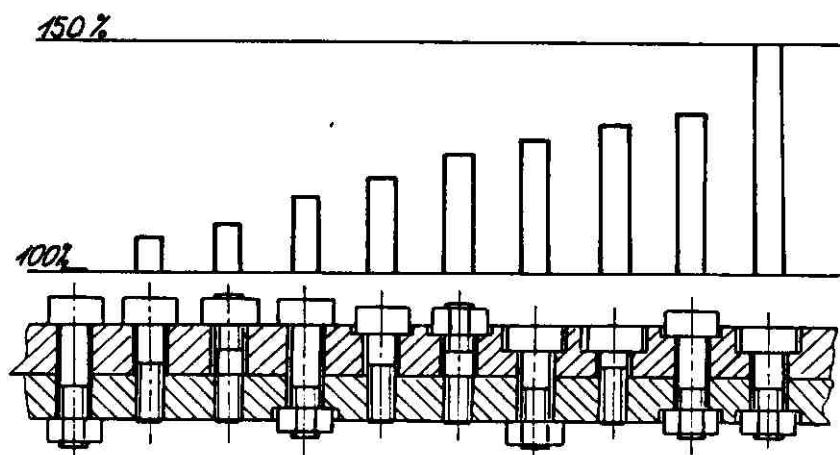
Iz teh primerov lahko sklepamo kako pomembno je oblikovanje posameznih delov in tudi posameznih geometričnih elementov na teh delih. Vsaka oblika spoja zahteva svojo tehnologijo montaže in ima tudi svojo ceno. Zato je zelo



Slika 11: Prostor za prijemalo pri vstavljanju zatičev

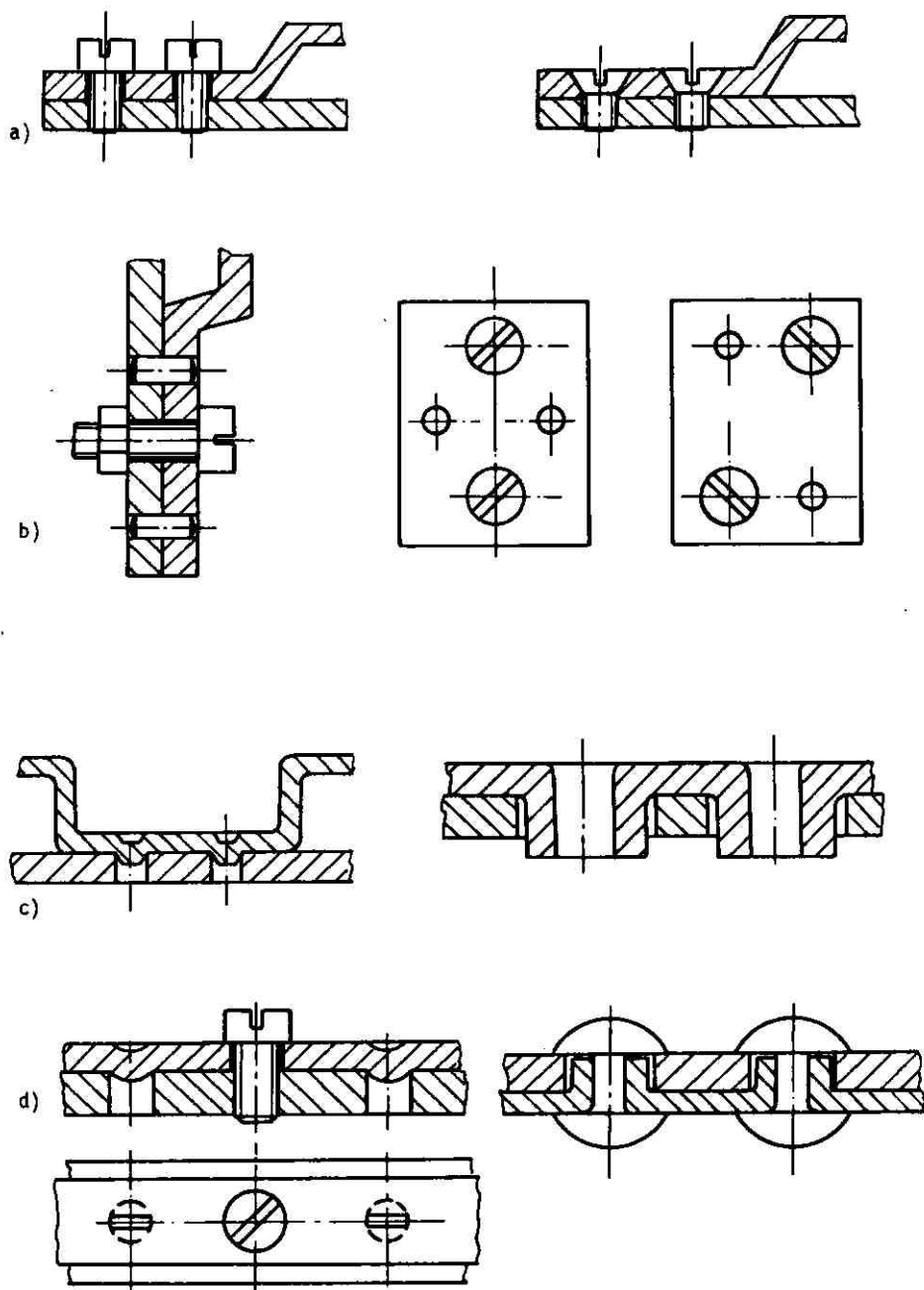


Slika 12: Oporne plošče, ki prestrežejo sile vtiskavanja



Slika 13: Različne vijake in njihova cena v %





Slika 14: Različne oblike spojev dveh pločevin

pomembno, da konstrukter ob oblikovanju delov analizira tudi tehnologijo izdelave in postopek montaže, kakor tudi stroške.

## 2.8. Kvaliteta montiranih delov

Za gospodarno montažo je kvaliteta delov zelo pomembna. Že pri konstruiranju izdelka moramo upoštevati kvaliteten nivo posameznih delov, da izpolnjujejo svoje funkcije. Vendar to enostransko gledanje ni dovolj, ker moramo upoštevati tudi možnosti in zahteve montažnih postopkov. Tako je določen del funkcionalno čisto zadovoljiv, ne odgovarja pa zahtevam, ki nastopijo pri sestavljanju.

Nadalje lahko pri ročni montaži brez težav izločimo slabe dele, kar pa ni mogoče pri mehanizirani montaži. Zato je zanesljiva kvaliteta posameznih delov izhodišče za mehanizirano montažo. Zaradi gospodarnosti ne kontroliramo več 100 % vseh delov, pač pa imamo statistično kvaliteto kontrolo z vzorčenjem.

Glede na to, da imamo v montaži tuje dobavitelje delov in domačo izdelavo, moramo postaviti kvaliteten nivo vseh delov. Kvaliteten nivo predstavlja mejno vrednost in v kolikor je le-ta prekoračena, se zavrne serija ali pošiljka. Manjša AQL-vrednost (acceptable quality level) daje več zagotovil za majhno število slabih delov kot velika AQL-vrednost /2,7/.

Tako konstrukcija izdelka definira kvaliteto kontrolo izdelka glede na funkcionalnost, pri planiranju montaže pa predpišemo kontrolo kvalitete na posameznih elementih glede možnosti sestavljanja. Tako bi lahko npr. pri ročni montaži kvaliteten nivo posameznih delov AQL 1 bil dovolj dober, pri delni mehanizaciji bi moral biti 0,65 in pri popolni avtomatizaciji 0,40. Zato se ni čuditi, da morajo ob uvedbi avtomatizirane montaže odpasti vse površnosti, nedoslednosti - pa tudi familjarnost.

## 3. Montaža in montažne naprave

### 3.1. Vrste montaže

Montažo predstavljajo postopki sestavljanja in so specifičirani z nekaterimi standardi /4/ in smernicami /5/. Dodatno k tem funkcijam nastopajo pri montaži še posebne funkcije: justiranje, kontrola, toplotna obdelava, čiščenje, mazanje, varovanje z lakom itn (slika 15).

Montažne postopke - pri posamičnem montažnem mestu ali pa pri čisto avtomatizirani montažni liniji delimo v naslednji osnovni vrsti:

- PM = primarna montaža, kjer so zajeti vsi tisti postopki, ki doprinašajo k dvigu vrednosti izdelka med montažnim postopkom - vsa poraba energije, informacij in delov za izpolnitev izdelka.
- SM = sekundarna montaža, kjer so zajete vse potrebne sekundarne porabe časa, informacij in energije, ne da bi se vrednost izdelka s tem povečala - za podajanje naprej, obračanje, ponovno prijemanje itn.

Montažo racionaliziramo z uvajanjem izboljšane tehnologije postopkov sestavljanja, z uvajanjem mehanizacije in avtomatizacije montažnih postopkov. Delo, ki smo ga poprej opravljali ročno skušamo opraviti z uvedbo primerne tehnične naprave mehanizirano. Tako so danes že na voljo naprave za delno mehanizacijo montažnih opravil, kot npr. vibracijski dodajalniki, naprave za vlaganje, vijačniki itn.

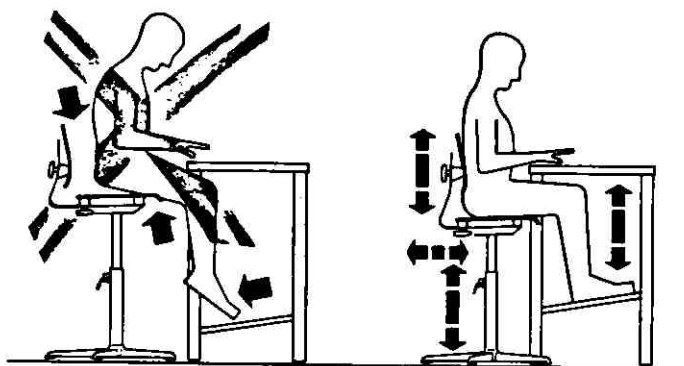
Dodatno k splošnim naporom za olajšanje dela imamo vedno večjo raznolikost izdelkov in to poveča število izvedenk, s tem pa krajšanje serij. Sedanja proizvodnja je karakteristična po naslednjem:

- prognoziranje potrebnega števila izdelkov ni zanesljivo,
- izdelki so različni,
- velikosti serij se manjšajo,
- kompleksnost izdelkov se večja,

Montažo delimo v dve glavni usmeritvi:



Slika 15: Delne funkcije montažnega sistema



Slika 16: Prilagajanje sedeža na delovno mesto

- ročna montaža za kompleksne izdelke, za izdelke v majhnih serijah, kakor tudi za izdelke, ki so kratek čas v proizvodnem programu.
- avtomatizirana montaža, ki je primerna za velikoserijsko proizvodnjo. Za to so namenjeni posebni stroji, ki so sestavljeni iz standardnih modulov.

Med tema dvema glavnima usmeritvama imamo še vrsto vmesnih stanj, ko avtomatiziramo le dovajanje, usmerjanje ali vlaganje posameznih delov. Lahko avtomatiziramo le posamezne faze montaže, ostale pa opravimo ročno. Z uvajanjem robotizacije ustvarjamo fleksibilne montažne sisteme, ki jih dovolj hitro prilagodimo na nove variante določenih izdelkov.

### 3.2. Ročna montaža

Danes še prevladuje ročna montaža. Človek je v središču dogajanja v toliki meri, kot še komaj pri kakšnem drugem izdelovalnem procesu. Delavci so priučeni na posamezne montažne operacije in se prilagajajo novim pogojem dela, ko se spreminjajo posamezni deli pri različnih izvedbah istega izdelka. Prilagodijo se tudi zamenjavi izdelka na isti proizvodni liniji, prilagajajo se z vidom in otipom za premikanje različnih sklopov, za naloge natančnega sestavljanja, ali za kontrolo izmer ipd. Rezultat tega je, da delavci nimajo večjih potreb za posebna orodja, naprave ali vpenjala. S časom se pri takem delu utrudijo in niso sposobni opravljati posamezne operacije natančno na isti način - to vodi do problemov kvalitete, pomanjkanja motivacije ipd.

V preteklosti je bila ročna montaža usmerjena na dosledno delitev dela na enostavne montažne operacije, ki so jih opravljali na tekočih trakovih. Tako stanje se še danes nadaljuje na montažnih linijah za majhne in srednje velike izdelke. Zaradi sprememb na ekonomskem in socialnem področju konvencionalna montažna linija ni več sprejemljiva solucija. Na tekočih trakovih so neprimerni delovni pogoji, prisotna je monotonija in preobremenitev delavcev. Iskati moramo nove ideje, oblikovati nove montažne sisteme in odpraviti dosedanje pomanjkljivosti.

Pomanjkljivosti bomo odpravili, če bomo delovna mesta oblikovali po načelih študija dela. Pri tem moramo upoštevati fiziološko, psihološko, organizacijsko in varnostno problematiko, da bi delavcu delo po možnosti olajšali ali vsaj nepotrebno ne oteževali.

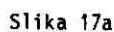
Fiziologija dela zahteva upoštevanje izmer človeškega telesa pri konstruiranju in postavljanju delovnega mesta /6/:

- na delovnem mestu naj bo dana možnost delati sede ali stoje. Taka možnost je dostikrat za delavce zelo ugodna.
- delovno mesto mora biti z enostavnimi prijemi prilagodljivo na izmere telesa (sl. 16).
- za roke in noge mora biti dovolj prostora za gibanje. Montažne dejavnosti se morajo odvijati v dosegu rok (glej sliko 17).

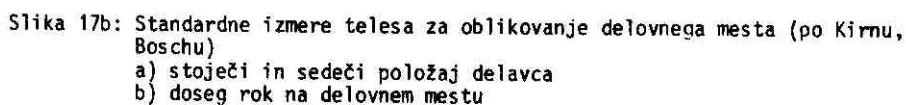
Velikega pomena je, da se pri oblikovanju delovnega mesta prilagodimo na človeško telo. Izhajati moramo iz ugotovitve, da le za delovca ugodno oblikovano delovno mesto omogoča stalno učinkovitost - po ergonomskih načelih ne smemo vsiljevati, da bi se človek prilagajal na obdelovalne naprave ali delovno mesto.

Posamično montažno mesto imamo praviloma takrat, ko lahko določen izdelek izgotovimo na enem mestu. Ako nam je potrebnih več montažnih mest za izgotovitev nekega izdelka, govorimo o povezanih montažnih mestih. Od velikosti izdelka in sestavnih delov, kakor tudi od števila sestavnih delov je odvisno, če ga bomo montirali na enem delovnem mestu. Pri sistematičnem oblikovanju delovnega mesta moramo upoštevati izmere dosega delavca (slika 17) ter število in velikost sestavnih delov.

Za ergonomsko pravilno oblikovanje posameznega delovnega mesta je osnovno izhodišče stabilna montažna miza. Dodatno mora izpolnjevati še nekaj pogojev: imeti mora prostor za noge, predstavlja podstavek za stopala, nastavljive opore za roke. Zalagovniki za sestavne dele naj bodo tako razmeščeni, da so razdalje poseganja v zalagovnike po možnosti enake od montažnega mesta - po možnosti naj



| Označba                         | Izmere (mm)            |
|---------------------------------|------------------------|
| delovna višina<br>natančno delo | (priporočeno)<br>1275  |
| delo na stroju                  | 1100-1200              |
| ročno delo                      | 1000                   |
| položaj del.m.<br>natančno delo | (priporočeno)<br>200   |
| delo na stroju                  | 300                    |
| ročno delo                      | max. 325               |
| zamaknjenost<br>sedeža          | C=min 50               |
| prostor za<br>kolena            | D=min 700<br>E=min 400 |
| prostor za odmik<br>nog         | K=min 350<br>L=min 300 |
| naslon za<br>stopala            | M=280-380<br>N=min 400 |
| prostor za premik<br>nog        | O=min 200<br>P=min 200 |
| natančno delo                   | 280                    |
| delo na stroju                  | 370                    |
| ročno delo                      | 450                    |



bodo v mejah največjega fiziološkega dosega,

Da bi lahko razmestili množico sestavnih delov v predpisani prostor, zložimo zalogovnike v več nivojih (slika 18). Pomanjkljivost take razmestitve je v različnih razdaljah od središča montažnega poteka do posameznih zalogovnikov oz. sestavnih delov. Poseganje navzgor zahteva več moči kakor poseganje v istem nivoju. To pomeni tudi, da moramo roke dvigniti z opor, ki jih imamo na montažni mizi. Zaradi razlik v razdaljah in višinah moramo upoštevati, da bo utrujanje delavcev večje in s tem tudi učinek manjši.

Nadalje moramo kompleksnost takega montažnega mesta (s pribl. 25 deli) upoštevati tudi pri izbiri delavcev. V tem primeru se zahteva obvladanje več operacij in na različnih mestih izdelka, zato mora biti tudi usposobljenost delavcev bolj celovita.

Ugodnejše izhodišče za oblikovanje montažnega mesta omogočajo izdelki z manj sestavnimi deli. Tako je možno pri izdelku z desetimi sestavnimi deli zalogovnike razmestiti le v dveh nivojih. Če so zalogovniki prirejeni velikosti in količini sestavnih delov, bo tudi prostor dokaj ugodno izkoriščen (sl.19). Seganje z roko na drugi nivo ne zahteva posebnih naporov in ni dodatnega utrujanja.

V montaži ima zelo ugodno veljavo vrtljivi krožnik s posameznimi zalogovniki ali posodami. Glede na velikost krožnika je taka izvedba lahko dokaj razsežna, vanjo pa namestimo zelo veliko sestavnih delov. Z nožnim stikalom lahko krožnik zavrtimo v želeno lego in jemljemo dele iz posameznih posod.

Drugo varianto predstavlja krožna miza, ki je opremljena tudi s krožnikastim zalogovnikom (ali celo dvojnim). V tem primeru imamo razmeroma kratke in enake poti do sestavnih delov, ki so nameščeni v ustreznih predelkih. Glede na to, da ima krožnik veliko predelkov in lahko hranimo veliko različnih sestavnih delov, lahko izdelek v znatni meri izgotovimo na enem montažnem mestu (slika 20). Za kompleksnejše izdelke, ki imajo več elementov, lahko namestimo še drugi krožnik in tako zadostimo potrebam. Osrednji steber nosi lahko konzolo, na kateri visi orodje - npr. pnevmatski vijačnik.

Na sliki 21 imamo podan prikaz delovnega mesta, ki je opremljeno z različnimi enotami. Na delovni mizi je lahko nameščena oporna ali vpenjalna naprava za izdelek, ki ga montiramo. V dosegu rok pa so še različni zalogovniki, naprava za kovičenje ali podobne naprave. Ob strani je lahko postavljeno stojalo za palete ali posode v katere odlagamo izdelke /9/.

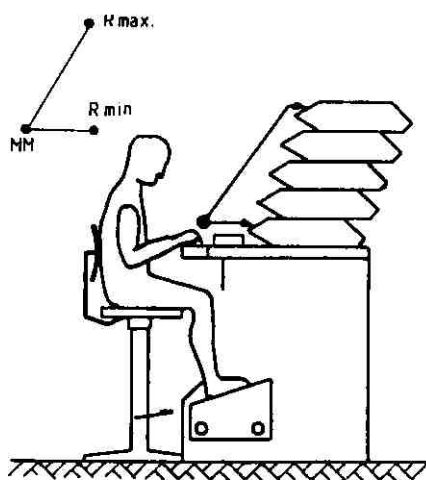
V vseh primerih moramo upoštevati principe ergonomike tako, da oblikujemo in razporejamo posamezne zalogovnike in naprave v okvire, ki jih imamo podane z izmerami človeka (sl.17).

### 3.3. Montažne linije

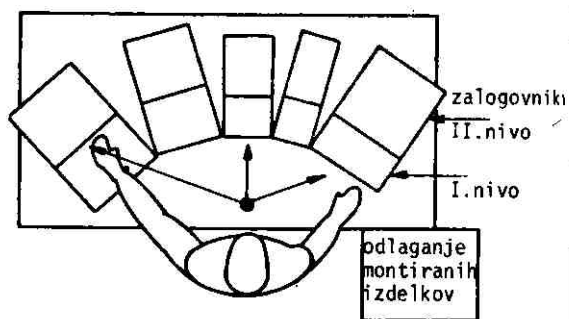
Kadar nek izdelek zaradi njegove kompleksnosti ne moremo več gospodarno montirati na posameznih montažnih mestih, lahko poljubno število posameznih montažnih mest povežemo s transportnim trakom. V preteklosti je bilo pojmovanje serijske proizvodnje povezano z montažnim trakom, ki je povezoval posamezna montažna mesta v celoto. Toga povezava prinaša s seboj veliko človeških problemov, ker so delavci strogo vezani na delovni takt montažnega traku.. Montažna opravila so razdeljena na takte in takta se mora držati celotna delovna skupina, ki dela na montažni liniji (slika 22). Izdelek potuje od enega delovnega mesta do drugega in vsak delavec mora opraviti določeno operacijo v določenem času takta. Odstopanje ni mogoče, ker bi bila prizadeta celotna montažna linija.

Zaradi teh in podobnih pomanjkljivosti so bile opravljene široke raziskave za bolj humane delovne strukture. Na osnovi ugotovitev raziskav so bili razviti različni sistemi tekočih trakov, ki omogočajo bolj sproščeno delo in večjo kreativnost pri tem delu.

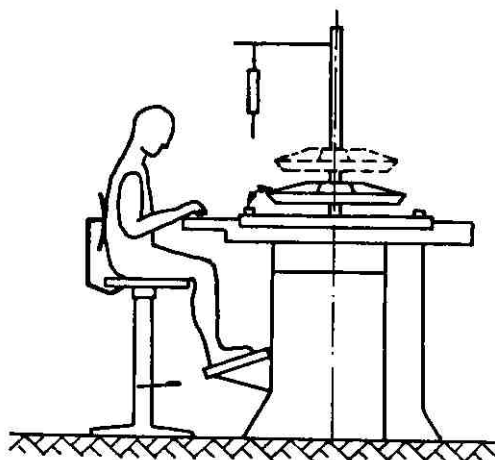
Ako postopek dopušča, bomo montažno linijo formirali tako, da bo ob posameznih montažnih mestih tekel transportni trak, ki nosi sestavljene sklope (sl.23). Delavka vzame sklop, ki je sestavljen do neke faze in ga položi pred sebe, opravi na njem določene montažne operacije in ga položi nazaj na tekoči trak. Na posameznih montažnih mestih mora biti proces montaže tako zaključen, da se doseženo stanje med transportom zanesljivo ne spremeni. Pomemben faktor, ki ga moramo



Slika 18: Razmestitev sestavnih delov v večih nivojih



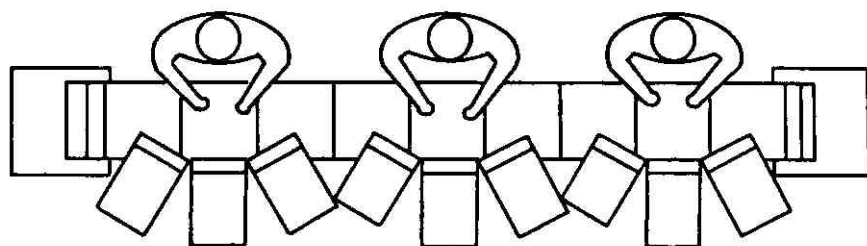
Slika 19: Razmestitev sestavnih delov v zalogovniku v dveh nivojih



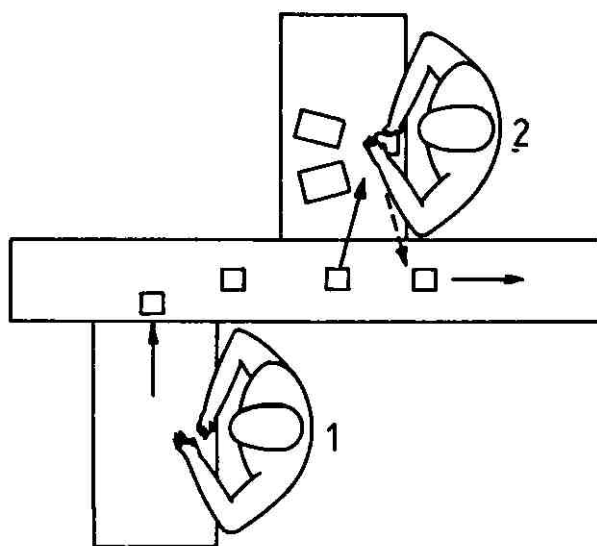
Slika 20: Montažno mesto z delilno mizo in vrtljivim krožnikom z gnezdi



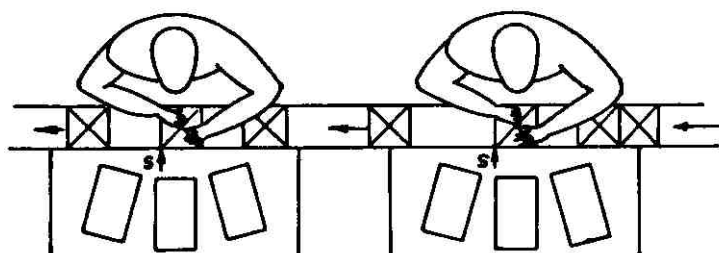
Slika 21: Opremljeno montažno mesto z zalogovniki in montažnimi napravami



Slika 22: S tekočim trakom toga povezana ročna montažna mesta



Slika 23: Tekoči trak je speljan mimo montažnih mest



Slika 24: Tekoči trak teče preko montažnega mesta (pred delavcem) s paletami in obdelovanci



upoštevati pri takem tekočem traku, predstavljajo stroški sekundarne montaže. Pri vsakem montažnem mestu delavka vzame sklop s traku in ga položi na mizo, po opravljeni montaži ga zopet odloži nazaj na trak. To se ponavlja na vsakem montažnem mestu in če so montažne operacije zelo kratke, potem bo sekundarni montažni čas predstavljal kar znaten delež montažnih stroškov.

S tekočim trakom, ki teče preko montažnega mesta (slika 24) in nosi montažne palete, lahko uspešneje montiramo. Vsako montažno mesto je opremljeno s stop - zaklepom, ki ga delavec sproži. Brezkončni transportni trak prinese paleto, zaklep jo fiksira na določenem mestu in po opravljenih montažnih operacijah delavec spusti paleto na naslednje delovno mesto.

Med posameznimi montažnimi mesti se lahko zaustavi več palet in čakajo, da se zvrstijo. Tako je delavcem dopuščeno odstopanje od takta, ki pa ne vpliva na dogajanje cele montažne linije.

Novo delovno strukturo predstavlja delno avtomatizirana montaža, ki je razdeljena na "sekcije" ali "odseke" (slika 25). Montažna mesta so razdeljena na povsem ročna in povsem avtomatizirana. Odseki so razdvojeni s primernimi zalogovniki, kjer se lahko nabirajo montirani sklopi, dokler se ne zvrstijo pri naslednji fazi montaže. Taka ureditev omogoča:

- neodvisnost delavcev od takta stroja (odvisno od velikosti zalogovnika, števila palet itn),
- montažni avtomati niso odvisni od rednega delovanja ostalih montažnih enot ali delavcev, ki so začasno odsotni (odvisno od velikosti zalogovnika),
- posamezni delavci lahko opravijo obsežnejše montažne naloge, ki so povezane z njihovim montažnim odsekom.

Uvajanje novih struktur v ročno montažo je perspektivno. Prehod od starega načina montaže ob togem montažnem traku na nove montažne sisteme zahteva sicer v začetku večje stroške, kasneje pa se poplača z zmanjšanjem sekundarnih stroškov in stroškov, ki nastopajo pri zaustavljanju linije zaradi posameznih napak na liniji, zaradi odsotnosti delavcev ipd. Ko tak sistem steče, je vzdrževanje lažje in se bolje prilagaja na nove naloge. Posebno prednost imajo taki sistemi ob uvajanju novih izdelkov.

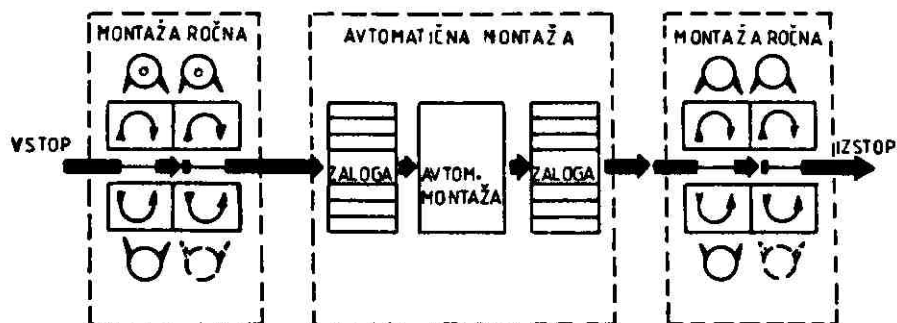
Tekočemu traku v montaži se tudi dandanes ne moremo odreči. Seveda pa moramo zadostiti zahtevam po večji fleksibilnosti in izboljšanim delovnim pogojem na posameznih delovnih mestih. Da bi bili ljudje neodvisni od takta montažnega sistema, so možne različne ureditve delovnih mest ob tekočem traku. Kot najpreprostejša oblika so lahko posamezna in paralelna delovna mesta v liniji, med temi mesti pa je prostor izkoriščen za vmesne zalogovnike obdelovancev.

Nadaljnja možnost predstavlja razporeditev v "kareju" (slika 26). Dva trakova tečeta protismerno, na koncih kareja so nameščene prečne podajalne naprave ali prečni transportni trakovi, ki preusmerijo palete s prvega na drugi transportni trak. Na vsakem montažnem mestu opravijo delavci svoje naloge tako, da se pri 1 začne in pri 6 se delo sklene. Prosto paleto prečni transporter zopet vrne v izhodni položaj /10/.

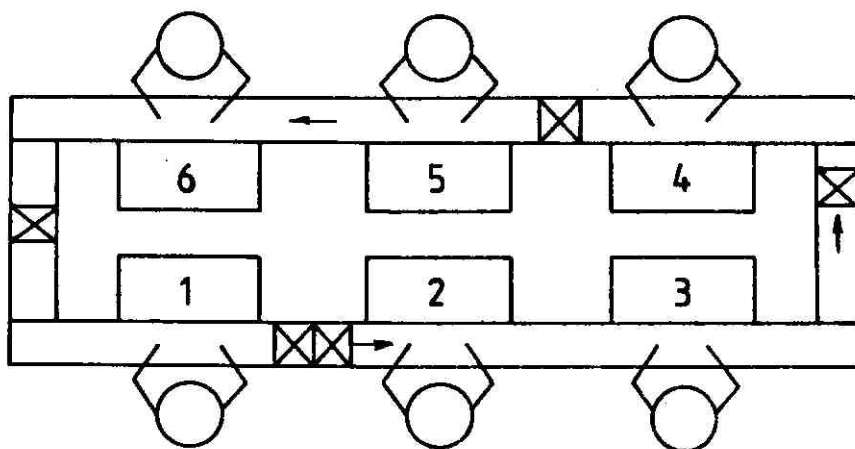
Pri zelo kompleksnih montažnih postopkih, ki so povezani v zaporedje montažnih mest, so lahko časi za posamezne operacije zelo različni, oz. posamezne operacije so večkratno daljše kot osnovni takt. Problem lahko razrešimo tako, da razdelimo delo na več delovnih mest. V takih primerih je priporočljivo, da ob transportnem traku napravimo zanko (sl.27), ki usmerja palete na dodatna montažna mesta in jih nato vrača v glavni tok. Tu imamo dve ročni montažni mesti in k vsakemu vodi palete prečna dodajalna ali transportna naprava. Palete dobivamo na delovno mesto s pozivom. Po opravljenem delu delavec sprosti paleto in ta potuje zopet na glavni transportni trak in nadaljnjo montažo.

Pri povezavi posameznih montažnih mest s transportnimi trakovi in paletami, ki služijo kot montažne vpenjalne naprave, je velikega pomena njihova konstrukcija. Zelo pomembno je, da je na paleti možno opraviti vse montažne operacije izdelka. Pri konstruiranju palete moramo preveriti naslednje kriterije:

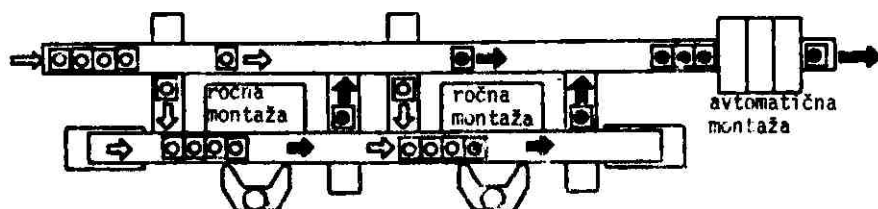
- kako vpeti izdelek - znotraj ali zunaj?



Slika 25: Montažni sistem s "sektorji" ročne in avtomatizirane montaže



Slika 26: Povezava posameznih montažnih mest z dvojnim trakom in paletami



Slika 27: Montažna linija z dodatno zanko, ki omogoča daljše montažne operacije

- ali lahko opravimo montažo z ene strani, ali tako izvesti, da izdelek ne bi bilo potrebno obračati?
- ako moramo sklop obrniti za 180°, moramo preveriti če ga lahko pred in po obračanju vstavimo na zunanje konture,
- ako to ni izvedljivo, kako naj bo oblikovan sedež sklopa po obračanju?
- kolikor preprostejša je konstrukcija palete, tem lažja in z manj problemi je montaža. Število palet naj bo vsaj pet krat več kot je posameznih montažnih mest. Tako veliko število palet pa zahteva zelo racionalno izdelavo.

Heksagonalni montažni sistem predstavlja noviteto, ki jo lahko uporabimo za ročno, mešano ali povsem avtomatizirano montažo v masovni proizvodnji. Izdelan je iz poljubnega števila transportnih modulov, s heksagonalno razmestitvijo pa dosežemo dovolj ročnih ali avtomatičnih montažnih mest, kakor tudi vmesne zalogovnike. Primeren je za montažo majhnih elektronskih delov do izdelkov v izmeri 200 x 200 mm /11/.

Sistem je bil zasnovan za urarsko industrijo in okoli dve tretjini izdelovalcev ur ga uporablja. Sistem je bil kasneje razvit za širšo uporabo tako, da je možno sestavljati tudi večje sklope. Transportni moduli prenašajo palete v velikosti 200 x 200 mm, na katerih so pozicionirane vpenjalne naprave za en ali več sklopov, odvisno od njihove velikosti. Palete premika transportni modul z večimi hitrostmi. Možno jih je pozicionirati na 0,02 mm natančno, kar dosežemo s pnevmatičnim zaklepom. Vsaka stranica šesterokotnika tvori transportni modul, ob njem je prostora za eno ročno montažno mesto ali dve avtomatični mesti. Dodatna oprema kot npr. vibracijski dodajalniki, vijačniki, vtiskovalniki, testirne naprave in drugo je lahko razmeščena na notranji in zunanji strani šesterokotnika.

Glede na število operacij, ki jih moramo na izdelku opraviti, bomo sestavili odgovarjajoče število transportnih modulov v ustrezno konfiguracijo (sl.28):

- osnovna verzija: šesterokotnik s šestimi transportnimi moduli,
- razširjena faza 1: šesterokotnik z osmimi transportnimi moduli,
- razširjena faza 2: šesterokotnik z 10 transportnimi moduli,
- razširjena faza 3: različne osnovne verzije povezane v večje sisteme.

Vrsto različnih izvedb heksagonalnega sistema prikazuje slika 29. Pri prvi razporeditvi delavec ponavlja posamezne operacije na sklopu tako, da najprej opravi prvo operacijo na vseh sklopih, ki so na sistemu, nato drugo operacijo in sledeče. Orodja in deli so razporejeni pred delavcem na premičnem stojalu z zalogovniki. Tako minimiramo strego in delavec opravi celotno montažo izdelka. Pri drugi razporeditvi sta dva delavca. Tretja kombinacija ima enega delavca in dodane tri avtomatične enote.

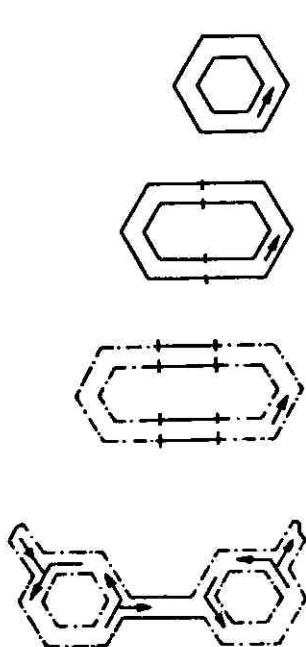
Na sliki 30 je prikazana razporeditev povezanih heksagonalnih enot v celoto, kjer se lahko montirajo različni sklopi.

Povezava montažnih mest s krožnimi mizami lahko predstavlja racionalizacijo dela pri montaži. Iz poprejšnjega opisa (slika 29) vemo, da lahko na krožni mizi sestavljamo posamezne sklope do določene stopnje nato jih transportiramo na druga delovna mesta za nadaljnjo montažo. Ob tem bi morali sklope snemati iz posameznih gnezd in jih transportirati z ustreznimi trakovi. To pa predstavlja opravila sekundarne montaže in dodatne stroške.

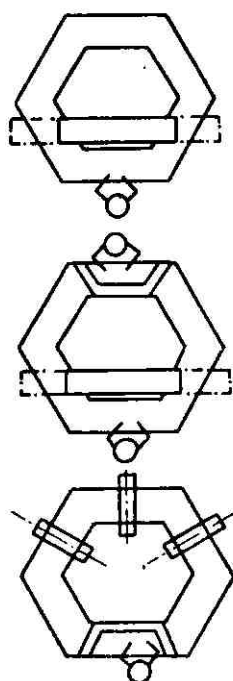
Pri majhnih izdelkih, ki ne presegajo izmer 50 x 70 x 30 mm in njihova masa je pod 200 g, lahko ustvarimo povezavo tako, da krožno mizo (krožnik z montažnimi gnezdi) nudajamo od delovnega mesta do delovnega mesta (slika 30).

S tem dosežemo razmeroma visoko vredno delo ob vsakem montažnem mestu. Krožniki delujejo kot vmesni magazini tako, da ne prihaja do zastojev. Čeprav imamo opraviti z individualnimi delovnimi mesti, so stroški sekundarne montaže majhni. Transport s krožniki med posameznimi montažnimi mesti je relativno poceni in ne zahteva izjemnih naporov. Investicija je majhna.

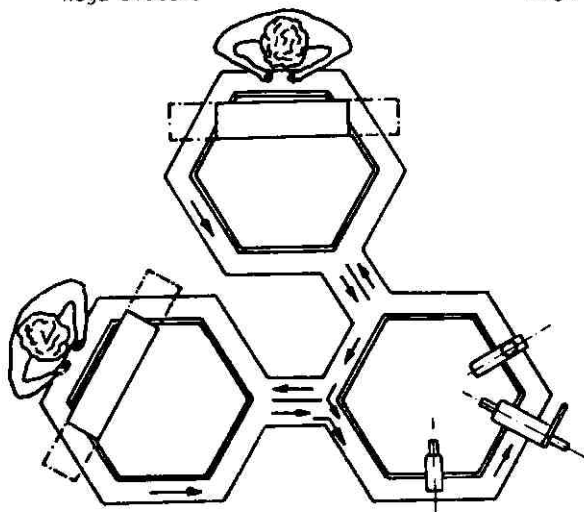
Tako lahko povežemo več samostojnih montažnih mest v celoto, ki omogoča montažo zelo kompleksnih izdelkov (sl.31). Na prvem montažnem mestu se na krožnik vstavljajo bazični deli, ki jih na naslednjih dopolnjujemo do tolike mere,



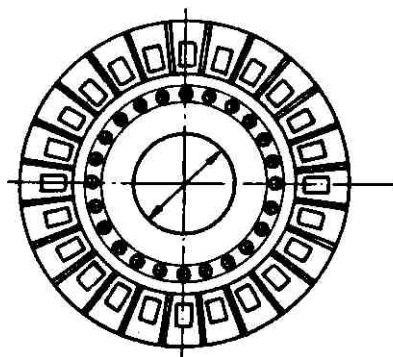
Slika 28: Različne konfiguracije  
heksagonalnega montaž-  
nega sistema



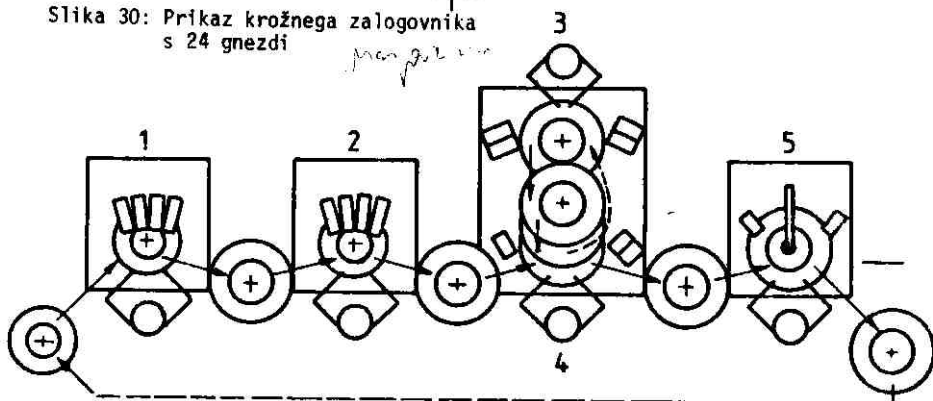
Slika 29: Možni načini uporabe  
osnovnega heksagonal-  
nega sistema



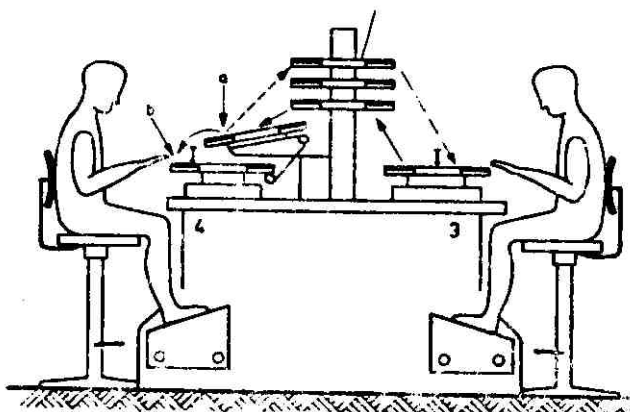
Slika 30: Povezava avtomatičnih in ročnih montažnih enot v enotnem  
montažnem sistemu



Slika 30: Prikaz krožnega zalogovnika  
s 24 gnezdi



Slika 31: Montažna linija s prosto povezanimi delovnimi mesti s krožnimi zalogovniki



Slika 32

da je na zadnjem montažnem mestu izdelek gotov. Tretje in četrto montažno mesto sta medsebojno kombinirani (sl.32). Montaža se pri takih kombinacijah odvija tekoče in sekundarni časi so zreducirani na zelo kratke čase /12/.

Opisani primeri montažnih sistemov so se že uveljavili v industrijski proizvodnji in z njimi je bilo možno izvesti inovativne premike na področju serijske proizvodnje. Na začetku našega prispevka pa smo ugotavljali, da je v vedno večji meri proizvodnja v manjših serijah, s pogostimi menjavami programov proizvodnje in s tem nastopajo tudi velike spremembe v montaži.

Modulna gradnja montažnih mest. Kratka življenjska doba izdelkov, ki je pogojena s prilagajanjem na tehnični razvoj, zahteva tudi pogosto preurejanje montažnih sistemov /13/. Modulna gradnja omogoča preurejanje montažnih sistemov na nove izdelke ob relativno majhnih stroških. Rešitev problema je v razvoju modulov oz. sestavljenk za določen spekter izdelkov, ki so si podobni po izmerah, teži in številu. Razen izmenljivih sestavov, ki so nameščeni na standardiziranih presečnih mestih, imamo tudi vrsto nastavljivih elementov, ki so namenjeni posebnim montažnim nalogam.

Uspešno reševanje zahteva pri modolni gradnji zelo veliko organizacijskih naporov. Zahteva se fleksibilnost v poteku montaže, upoštevati je potrebno variante izdelkov, preurejanje sistema, kakor tudi veliko prilagodljivost na nove izdelke. Modulna gradnja omogoča tudi postopno gradnjo sistema tako, da dosedanja ročna montažna mesta postopoma avtomatiziramo s fleksibilnimi strežnimi napravami ali drugimi pomagali.

Industrijski roboti v montaži dobivajo v zadnjih letih vedno več na pomenu. Z njimi naj bi zadostili zahtevam po vedno krajših dobavnih rokih, širokih spektrih izdelkov, kakor tudi hitremu in pogostemu prilagajanju izdelkov na tehnične spremembe. Iz tega izhaja nujna proizvajati z veliko produktivnostjo in fleksibilnostjo ob najmanjših stroških. V območju malo- in srednjeseerijske montaže naj bi dali odgovor na te zahteve industrijski roboti. Euforija, s kakršno se je doslej obravnavalo možnosti uporabe montažnih robotov, se umika treznemu obravnavanju te problematike /14/.

Čeprav obstaja na tržišču cela množica različnih naprav, je pri planiranju in izbiri najprimernejšega robota dokaj težavno stanje. Trenutno je pri uporabnikih in ponudnikih premalo know-how o najboljši prireditvi montažne naloge na robota ali obratno /16/. Ob tem lahko ugotovimo, da robot že dolgo ni več poglavitni del avtomatizacije, pač pa ima velik pomen tudi ostala periferija in krmljenje celotnega sistema.

Prvi korak pri planiranju uporabe robota je v ugotavljanju spektra izdelkov, ki bi jih naj montirali. Na osnovi ugotovljenih razredov izdelkov, števila kosov, variantnih delov itn, določimo osnovni obseg montaže in montažno strukturo. Sledi analiza delovnega mesta, kateri sledi dodeljevanje posameznih nalog ustreznim robotom. Za naloge, ki jih roboti ne bodo opravljali, moramo izbrati ustrezne nosilce funkcij oz. periferne enote. Po izbiri naprav sledi v naslednjem koraku izdelava podrobnih zahtev za robote in ostale strežne in montažne naprave.

Iz povedanega izhaja, da moramo pri uvajanju robotov in ostalih montažnih naprav postopati zelo sistematično, z vsem znanjem analize in gradnje montažnih sistemov. Izkaže se, da posamezne funkcije niso posebno zahtevne. Ugotovimo lahko, da shajamo pri celi vrsti montažnih nalog s fleksibilnimi strežnimi napravami z relativno malo prostostnimi stopnjami - in da je k tem enotam potrebno prigraditi vrsto strežnih naprav od urejanja, dodajanja in pozicioniranja, ki dokončno omogočijo skladno delo sistema.

#### 4. Sklepne ugotovitve

Razvoj na področju strege in montaže napreduje trenutno rasantno in sicer na področju tehnike, organizacije in planiranja. Čeprav se nekatere preveč optimistične prognoze niso izpolnile, je tako imenovani "odjedalec dela" - industrijski robot le dobil več ali manj svoje pravo mesto.

Uspešno uvajanje novih montažnih in strežnih sistemov ne zavisi le od razpoložljivosti ustreznih tehnologij, izbrati moramo ustrezen spekter obdelovancev ali področje uporabe ter preveriti oblike, če so primerne za avtomatizirano strego in montažo. Nove postroje moramo preverjati in izbirati po gospodarnostnih kriterijih in prilagodljivosti na pričakovane naloge.

V zadnjem času so se uveljavili strežni in montažni sistemi, ki so zasnovani na modularni gradnji. Z njimi se lahko v zelo kratkem času prilagodimo zahtevam trga in proizvodnje.

S tem prikazom smo se dotaknili problematike, ki postaja z vsakim dnem tudi v naših delovnih organizacijah vse bolj aktualna. Problematika je zelo obširna in jo s tem pregledom ni bilo mogoče nazorneje prikazati. Pred nami je uvajanje računalnikov na področje montaže in doseganje take prilagodljivosti, ki bo omogočala streči vsem zahtevam tržišča. Najhujša zahteva pa je, da bi postavljali take proizvodne in montažne sisteme, ki bi s svojo tehnično dovršenostjo in organiziranostjo bili v stanju konkurenčno nastopati z ekonomskega in tehničnega vidika na domačem in mednarodnem tržišču.

### Literatura

- /1/ Z.SELJAK: Oblikovanje obdelovancev za avtomatizacijo strege in montaže; 10.seminar- Avtomatizacija strege in montaže, Ljubljana, 10. in 11.nov.1983, str.15-28.
- /2/ B.LOTTER: Montagefibel für das Management; Vereinigte Fachverlage, Krauskopf Ingenieur Digest, 1982, Mainz.
- /3/ J.DILLING: Montagegerechte Produktgestaltung, VDI-Berichte Nr.323, str.33-40.
- /4/ DIN 8593
- /5/ VDI-Richtlinien 3239, 3240, 3244.
- /6/ H.J.WARNECKE, H.G.LOHR, W.KIENER: Montagetechnik, Schwerpunkt der Rationalisierung, Krauskopf Verlag, Mainz 1975.
- /7/ J.JELENC: Uporaba avtomatizacije strege v proizvodnji malih univerzalnih elektromotorjev, Magisterij FS, Ljubljana, 1984. (rokopis).
- /8/ Federico Strasser: Designing for Alignment; Machine Design 1984/3, str.80.
- /9/ Bosch-Baueinheiten, Montage- und Zubringetechnik (7.81), Prospekt.
- /10/ P.NICOLAISEN: Flexibilität auf dem Gebiet der Montage- und Handhabungstechnik, f+h-fördern und heben 27 (1977), Nr. 6, str. 47-50.
- /11/ Anna Kochan: Hexagonal assembly system offers space and speed, Assembly Automation, Nov.1982, s.202-204.
- /12/ Prospekti in tehnična poročila firm Roland Bailly, ISM-Equipments industries de montage SA, Maschinenfabrik A.G.Menzingen, itn.
- /13/ W.EVERSHAIM, P.KETTNER, K.P.MERZ: Ein Baukasten-system für die Montage konzipiert, Ind.Anzeiger, Nr.92, 18.11.1983/105 Jg, str. 27-30.
- /14/ U.UNGEHEUER, B.BETTE, A.HAUSMANN: Industrieroboter im Montageeinsatz, Ind. Anzeiger, Nr.92, 18.11.1983/105 Jg, s.31-35.
- /15/ N.N.: Roboter montieren Motoren; Ind.Anzeiger, Nr.7, 25.1.1984/106 Jg.s.28-31.
- /16/ K.HEINZ, P.SALWICZEK: Planung u.Organisation des Einsatzes von Montage- und Handhabungseinrichtungen; VDI-Z. 124 (1982)4, s.115-120.

Zoran SELJAK

## MONTAŽA - NOVO PODROČJE INOVATIVNEGA DELA

### Rezime

Montaža se v zadnjem času vedno večkrat omenja, kadar razpravljamo o racionalizaciji v proizvodnji. Dejstvo, da dosega delež stroškov za montažo 30 do 70 % izdelovalnih stroškov kaže, da moramo v bodoče posvetiti temu problemu več pozornosti. Začnemo lahko z rekonstrukcijo posameznih elementov, da jih bomo lažje sestavljali. Z uvajanjem opremljenih montažnih mest, montažnih sistemov, robotov in strežnih sistemov bomo lahko dosegli velike racionalizacijske efekte. Z učinkovitejšim planiranjem in izboljšano organizacijo lahko izboljšamo potek montaže in s tem tudi finančni efekt.

## MONTAGE - EIN NEUES GEBIET DER INOVATIONSTÄTIGKEIT

### Zusammenfassung

Die Montage wird in der letzten Zeit immer häufiger erwähnt, wenn über die Rationalisierung der Fertigung diskutiert wird. Die Tatsache dass der Anteil der Kosten die Montage 30 ... 70 % der Fertigungskosten beträgt, zeigt, dass wir diesem Problem in der Zukunft mehr Aufmerksamkeit schenken müssen. Man kann bereits bei der Rekonstruktion der einzelnen Teile beginnen, um sie später leichter zusammenbauen zu können. Mit der Einführung von Montageplätzen, Montagesystemen, Robotern und Handhabungssystemen werden wir grosse Rationalisierungseffekte erzielen können. Durch eine wirkungsvollere Planung und verbesserte Organisation wird der Ablauf der Montage und damit der finanzielle Erfolg verbessert.



# XVIII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE NIŠ 1984. GODINE

## RAZISKAVA UPORABNOSTI FLEKSIBILNIH STREŽNIH NAPRAV NA PRIMERU MONTAŽE TURBINSKEGA DELA ELEKTROMOTORNIH SESALNIH ENOT

Vojko Kosec, dipl.ing., dr. Zoran Seljak, dipl.ing.

### 1. UVOD

Montaža sodi v tisto področje proizvodnje, ki svojo pestro strukturo in kompleksnostjo nudi množico najrazličnejših izboljšav. Poleg tega pomembnega dejstva predstavlja montaža enega bistvenih stroškov v celotni proizvodni verigi, ki v pretežni meri leži v me-  
jah od 50 - 70% celotnih stroškov /1/. Zato nudijo izboljšave v mon-  
taži tudi močno alternativo, ki zaradi svoje ekonomske vrednosti  
potencialno prekašajo večino izboljšav in racionalizacij na ostalih  
področjih proizvodnje. Torej je racionalizacija montaže tisto področ-  
je proizvodnje, v katerega je najbolj smiselno vlagati znanje, iz-  
kušnje in sredstva, da bodo rezultati te dejavnosti oprijemljivi.  
Trendi v svetu, pa tudi pri nas doma kažejo, da nudijo najugodnejše  
rezultate pri individualni in maloserijski montaži že organizacijski  
prijemi, dočim je pri velikoserijski in masovni montaži potrebno  
uvajati avtomatizacijo. Pri tem je potrebno upoštevati trend razvoja  
v prihodnjih letih, kar praviloma pomeni, da moramo zahtevati od  
instaliranih sredstev dovolj velik nivo prilagodljivosti. Še posebej  
je to pomembno, kar zahteva uvedba avtomatizacije običajno kar kapital  
no intenzivno naložbo, ta pa se izplača le takrat, kadar jo lahko  
koristimo.

Prilagodljivost nekega montažnega sistema lahko v grobem oka-  
rakteriziramo z dvema vrstama prilagodljivosti:

- variantna prilagodljivost
- menjalna prilagodljivost

Pod variantno prilagodljivostjo je potrebno razumeti možnosti,  
da montažni sistem v čim krajšem času prilagodimo drugačni izvedbi že  
osvojenega proizvoda.

Pri menjalni prilagodljivosti pa moramo upoštevati pogoje, ki jih  
narekuje drastična sprememba izdelka, oziroma popolnoma prenovljen  
izdelek, ali celo nov proizvod.

## 2. SISTEMATIKA PLANIRANJA AVTOMATIZIRANE MONTAŽE

V uvodu je bilo omenjeno, da lahko od racionalizacije montaže pričakujemo dokajšnje prihranke v proizvodnji. Pri tem je potrebno upoštevati, da večjih kvalitativnih skokov ne moremo pričakovati. Na sliki 1 je predstavljena tendenca uporabe industrijskih robotov v ZRN. Tu je bil v letu 1981 delež v montaži instaliranih industrijskih robotov 100 : 2300, dočim je v letu 1983 rahlo narasel na še vedno skromnih 248 : 4800 /2/. To pomeni, da je sicer opazen trend rasti okoli 1%, vendar je delež še vedno majhen. Zato je pravzaprav nujno, da se robotizacije v montaži lotimo na racionalen, sistematičen način. Do izraza prihaja sistematika planiranja avtomatizirane montaže (slika 2). Osnova vsakega procesa planiranja je enoličen popis zadanih nalog. To pomeni, da moramo v planiranje zajeti vse ročne vplive, ki bi lahko imeli posledice na končni rezultat. Celovito je potrebno obdelati vse možnosti od zasnove samega proizvoda do končne faze izdelave. S tako plansko sistematiko lahko rešujemo različne probleme pri uvajanju avtomatizacije v montažo. Seveda pa prihaja kljub taki metodologiji do različnih, bolj ali manj preročljivih težav, ki se razlikujejo od primera do primera. V naslednjih poglavjih je obdelano področje avtomatizacije montaže turbinskega dela elektromotornih sesalnih enot.

### 3. PLANIRANJE AVTOMATIZIRANE MONTAŽE TURBINSKEGA DELA ELEKTROMOTORNIH SESALNIH ENOT /3/

#### 3.1. Specifikacija zahtev montažne linije

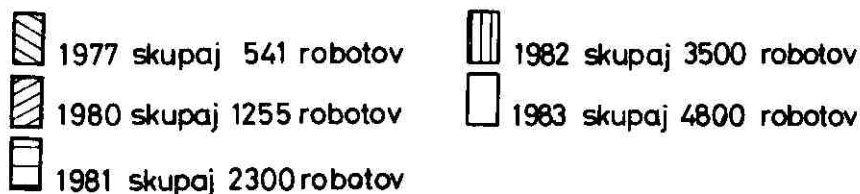
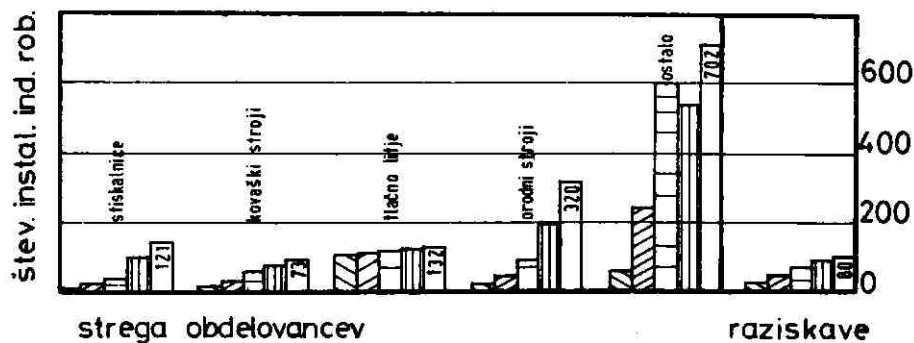
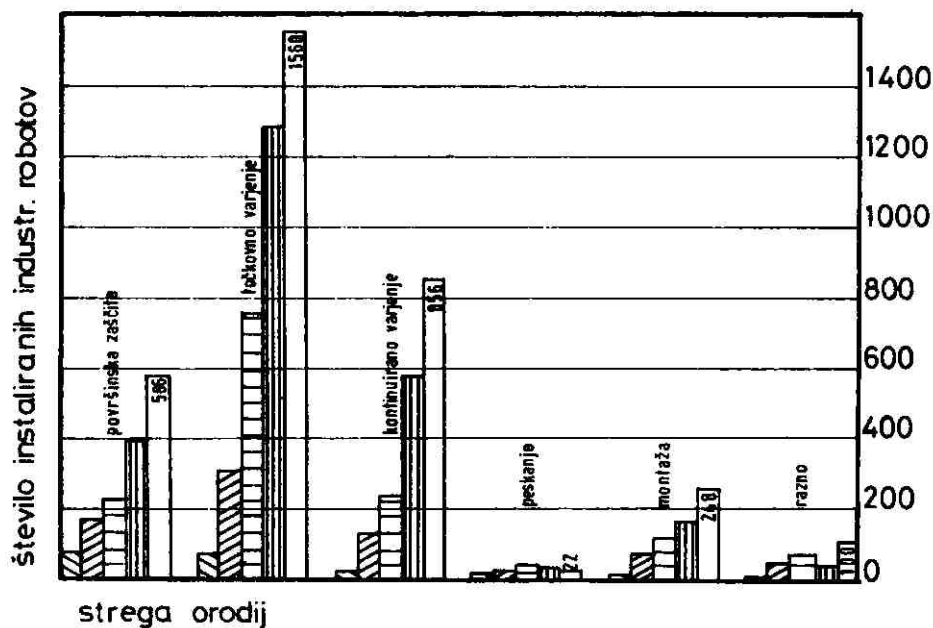
- zmogljivost 2000 enot na izmeno
  - možna proizvodnja dveh variant v razmerju 9 : 1
  - varianti se razlikujeta v podrobnostih, ki na to fazo montaže praktično nimajo nikakršnega vpliva
  - trenutno delata na liniji dve delavki, ki zmoreta montirati okrog 1200 enot na izmeno, dočim lahko predhodni del linije zagotovi okrog 2000 enot na izmeno.
- Tloris modularno grajene linije za montažo elektromotornih sesalnih enot je predstavljen na sliki 3.

#### 3.2. Analiza delovnih mest

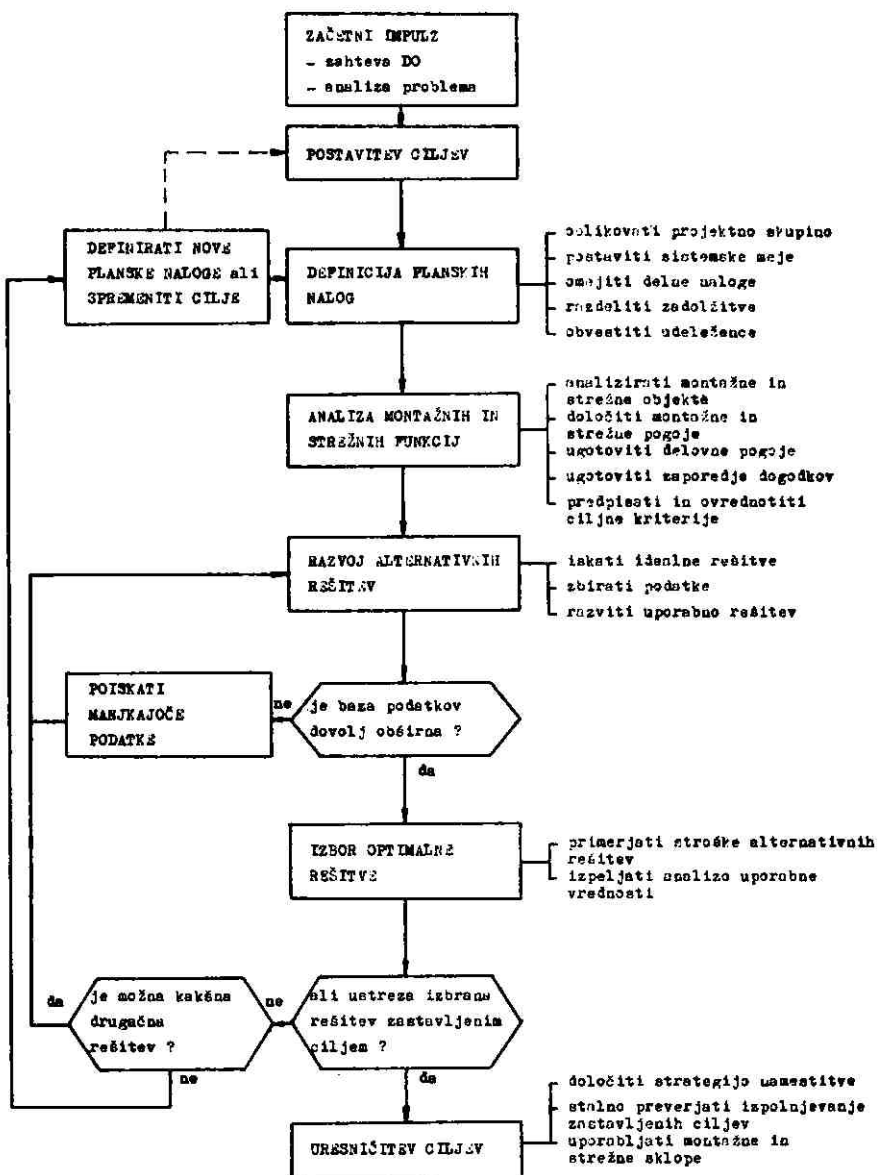
Za montažo turbinskega dela sesalnih enot potrebujemo naslednje sestavne dele:

- elektromotorni del sesalne enote
- kratko tulko
- široko podložko
- turbinsko kolo
- pokrov z vodilnim kolesom
- dolga tulko
- široko podložko
- turbinsko kolo
- široko podložko
- matico
- pokrov

Pri tem je razvidno, da turbinska kolesa, pokrovi z vodilnim kolesom in pokrovi niso primerni za avtomatizirano urejanje.



Slika 1: Pregled števila inštaliranih industrijskih robotov na posameznih področjih aplikacije v ZRN /2/



Slika 2: Metodični napotki za sistematično planiranje strege in montaže



Poleg tega je potrebno oba pokrova natisniti na elektromotorni del enote s stiskalnico, torej moramo poleg montažnih funkcij opravljati tudi strežne funkcije. Ostale montažne operacije pa so natikanje na gred elektromotornega dela enote, razen privijanja matice. Za grobo preverjanje gospodarnosti avtomatizirane montažne linije nam je služila tabela na sliki 4. Poleg tega smo še ocenili obremenjenost delavk za tekočim trakom, in ugotovili, da ni kritična. Potek montaže najlažje prikažemo s funkcijsko shemo (slika 5).

### 3.3. Koncept avtomatizirane montažne linije

Naš koncept je potrebno prilagoditi še obstoječi transportni liniji, ki služi za transport palet s vloženimi elektromotornimi deli sesalnih enot. Pri tem je bilo temeljno vprašanje, kako koncipirati montažni sistem, da bo izpolnjeval vse specificirane zahteve in da bo dovolj fleksibilen. Tako smo odločili o dveh možnostih in sicer:

- uporabi industrijskega robota
- uporabi fleksibilnih strežnih naprav grajenih na modularnem principu.

Pri tem smo upoštevali, da oba koncepta potrebuje praktično identično periferijo, razlika je torej samo v izvrševalcu določene montažne operacije. Tabela s primerjalno analizo obeh konceptov je prikazana na sliki 6. S te slike kaj hitro ugotovimo, da pravzaprav industrijski robot v našem primeru ni ustrezen, ker dejansko njegove prilagodljivosti sploh ne bi mogli izkoriščati, če bi hoteli loviti specificirani takt. Pri večjem številu instaliranih robotov pa je gospodarnost take uporabe praktično nemogoča. Tako nam ostane le da optimiramo rešitev s fleksibilnimi strežnimi napravami in sicer na naslednja načina:

- potrebno je združevati sorodne oblike montažnih elementov, če s tem ne rušimo zaporedja montaže in izpolnjujemo zahteve specificiranega takta,
- zaporedje gibov fleksibilnih strežnih naprav naj bo čim enostavnejše, torej čim krajše.

Razen montažne naprave potrebujemo še urejevalne in dodajalne naprave, ki montažne elemente ustrezno uredijo in pozicionirajo, da lahko strežna, oziroma montažna naprava sploh deluje. Tu smo se odločili za uporabo vibracijskih zalogovnikov pri manjših elementih kot so tulke, podložke in matice. Pri ostalih elementih pa uporaba vibracijskih zalogovnikov ne bi bila smotrna, zato smo se odločili za izvedbo z magazini. V tem primeru smo se odločili za kotalne kačaste magazine, ki so še najprimernejši zaradi samih oblikovnih posebnosti dotičnih montažnih elementov.

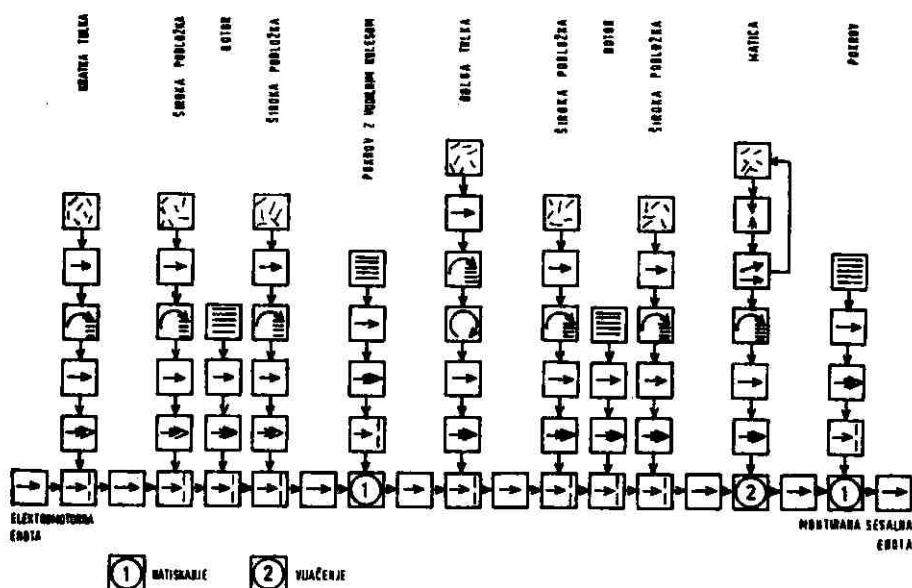
### 3.4. Konstrukcija prototipa avtomatiziranega montažnega mesta za montažo kratkih tulč

Za realizacijo zastavljenega koncepta potrebujemo 7 fleksibilnih strežnih naprav, ki so zaporedno vključene v montažo turbinskega dela sesalne enote. Na tem mestu je prostor za obravnavo celotnega sistema preveč omejen, zato se bomo bolj podrobno spoznali le s prvim avtomatiziranim mestom za montažo kratkih tulč. Na sliki 7 je prikazana simulacija montaže kratkih tulč v laboratorijskih razmerah.

| OCENITVENI KRITERIJI                             | MERILO       | ODGOVOR |
|--------------------------------------------------|--------------|---------|
| Število izmen dnevno                             | $\geq 2$     | da      |
| Število delavk na izmeno                         | $\geq 2$     | da      |
| Pogostost priprave na izm.                       | $\leq 1$     | da      |
| Število različnih oblik obdelovancev letno       | $\leq 20$    | da      |
| Preostalo trajanje celotnih proizvodnih sredstev | $\geq 3$ let | da      |
| Število pritrdilnih odgovorov                    |              | 5       |

Vrednotenje: Število pritrdilnih odgovorov  $\geq 3$  avtomatično smiselna  
 $> 1, < 3$  avtomatično vprašljiva  
 $\leq 1$  avtomatično nesmiselna

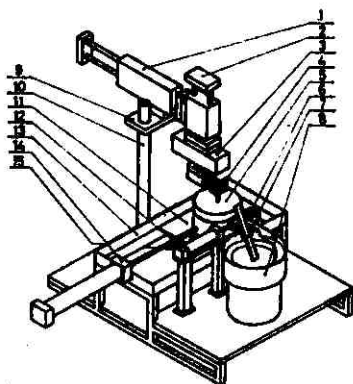
Slika 4: Groba ocenitev gospodarnosti namestitve PSN na delovno mesto /3/



Slika 5: Funkcijski diagram montažnega poteka

| MONTAŽNA LINIJA Z INDUSTRIJSKIM ROBOTOM                                             | MONTAŽNA LINIJA S FLEKSIBILNIMI STREŽNIMI NAPRAVAMI |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| - zelo velika prilagodljivost spremembam                                            | - velika prilagodljivost spremembam                 |
| - enostavno nastavljanje                                                            | - bolj zapleteno nastavljanje                       |
| - velika natančnost                                                                 | - zelo velika natančnost                            |
| - relativna počasnost                                                               | - relativna hitrost                                 |
| - potrebna je uporaba najmanj dveh vzporednih linijs ali dveh industrijskih robotov | - zadostuje ena sama pravilno koncipirana linija    |
| - manjša občutljivost na zastoje in okvare                                          | - večja občutljivost na zastoje in okvare           |
| - sorazmerno velika vlaganja                                                        | - sorazmerno majhna vlaganja                        |

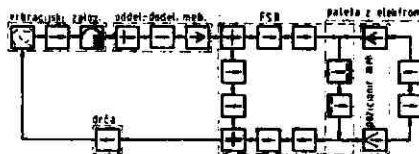
Slika 6: Primerjalna analiza dveh koncentrov avtomatizirane montažne linije /3/



- horizontalna translacijska enota
- vertikalna translacijska enota
- rotacijska enota
- premicalna enota
- vrtilna enota
- dodelovalni mehanizem
- prevodna drtica
- vibracijski zalogovnik
- pritiskni element
- stojalo
- oprejalna paleta
- cilindri dodelovalnega mehanizma
- transportni torzde s poslatvom
- poslatveni mehanizem

#### SIMULACIJA MONTAŽE KRAJNJA DISTANČNOSTA OBRABA NA OBRAB. ELEKTROMOTORJA

Iz vibracijskega zalogovnika prihajajo urejeni obrabci, ki jih oddeljevalno-dodeljevalni mehanizem transportira v točno delovno pozicijo. Tu ga prikaže PSM in ga odnese v delovno pozicijo, ki se nahaja točno nad smerjo nastavitve oči aktiviranja obrabca na grad elektromotorja. Transportni mehanizem potiska paleto s elektromotorjem v delovno pozicijo, kjer je ustreznoje pozicionirana le s poslatvenimi mehanizmi. Sedaj sledi nastanek giba, aktiviranje obrabca na grad elektromotorja. Če na obrabec nastopijo smerni, depozicionirano paleto s elektromotorjem in jo transportiramo v delovno lego. Istodobno PSM odloži obrabec na drto, na kateri se ta opreži v vibracijski zalogovnik, ter se premika v delovni položaj. Tako je zabeležen montažni elementov odložen.



Slika 7: Simulacija prve montažne operacije



Zahteve za ponovljivost fleksibilne strežne naprave bi bile sila ostre, tolerančno polje med gredjo elektromotorja in kratko tulko se nahaja v mejah od 0,01 mm do 0,044 mm pri ohlapnosti elektromotorne enote proti transportni paleti  $\pm 0,25$  mm. Ker pa imamo opravka s posnetimi robovi, je lahko dejanska ponovljivost fleksibilne strežne naprave (slika 8)  $P_{max} = \pm 0,825$  mm v dovolj velikih tolerancah, ki jih naprava zlahka doseže. Karakteristike posameznih modulov so prikazane tabelarično na sliki 9. Moduli so plod lastnega znanja in tehnologije. Tu jih preizkušamo v okviru te simulacije predvsem z vidika zanesljivosti in trajnosti, posredno pa tudi z vidika ponovljivosti.

#### 4. ZAKLJUČEK

V opisanem prispevku smo se lotili sistematične analize delovnega mesta, ki se je izkazalo primerno za uvedbo fleksibilnih strežnih naprav. Z uvedbo avtomatizirane montaže bi uskladili zmogljivost tega dela linije z zmogljivostjo predhodnih montažnih linij. Za nadzor in streglo tega dela linije bi zadostoval en delavec, torej bi sprostili delovno silo, ki pa bi jo bilo treba zaposliti na drugem delovnem mestu. Če si pogledamo stanje s številčne plati potem pridemo do naslednjih rezultatov:

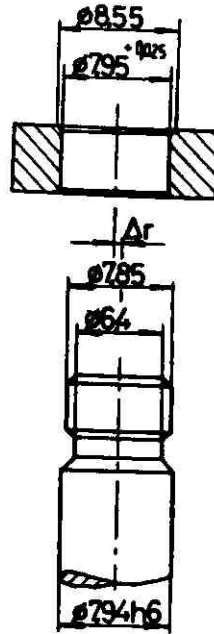
- porast produktivnosti od 1200 enot na izmeno do 2000 enot na izmeno
- faktor rasti produktivnosti znaša 1,67
- izkoriščene so zmogljivosti celotne montažne linije
- sprostitev enega delavca, ki ga je potrebno zaposliti drugod

V montažni sistem bo potrebno namestiti 7 fleksibilnih strežnih naprav z ustreznimi perifernimi napravami (kontrolnimi, urejevalnimi, dodeljevalnimi, krivilnimi in energetske naprave). Vse te naprave bodo izdelane doma na osnovi domačega raziskovalnega in razvojnega dela.

Z dosedanjimi izboljšavami izdelka ter izdelovalnega in montažnega postopka na elektromotorni sesalni enoti so le te postale konjunktorni izdelek tudi na tujih, predvsem zahodnih tržiščih. Zato je upravičeno, da montažo avtomatiziramo in na ta način dosežemo polno izkoriščenost celotne proizvodne linije.

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

- /1/ K.W.Witte: Flexible automatisierung in der Montage - Teil 1; Rationalisierungsreserven nutzen, VDI-Z 125, str. 363-367, Maj 1983
- /2/ K.Heinz, G.Tertilt: Montage und Handhabungstechnik; Fachgebiete in Jahresübersichten, VDI-Z 126, str. 151-157, Marec 1984
- /3/ V.Kosec: Študija avtomatizacije strege pri montaži elektromotornih sesalnih enot, Diplomska naloga visokošolskega študija št. 3212, Fakulteta za strojništvo, Lj. 1983



$$\Delta r_{\max} = \frac{855 - 64}{2} = 1,075 \text{ mm}$$

$$\Delta t = 0,25 \text{ mm}$$

$$\Delta p_{\max} = \Delta r_{\max} - \Delta t = 0,825 \text{ mm}$$

$\Delta r$  - izkrivnost osi obeh sestavljenih elementov

$\Delta t$  - tolerančni radij gredi

$\Delta p$  - ponovljivost stišne naprave

Slika 8: Razmere pri natikanju obročka na gred s posnetjem

|                        | KARAKTERISTIKA           | VELIKOST C                 | OPOMBA                    |
|------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|
| DOLGI TRANS.<br>MODUL  | Dolžina giba (mm)        | 150                        | nastavljiva               |
|                        | Največja hitrost (m/s)   | 1                          | neobremenjena enota       |
|                        | Končno dušenje           | pnevmatsko                 | nastavljivo v končni legi |
|                        | Energetski medij         | hidravlično stisnjeni zrak |                           |
|                        | Območje tlakov (bar)     | 3-10                       | optimalno 6               |
|                        | Delovna sila (N/bar)     | 70                         |                           |
| KRATKI TRANS.<br>MODUL | Dolžina giba (mm)        | 50                         | fino nastavljiva          |
|                        | Največja hitrost (m/s)   | 1                          | neobremenjena enota       |
|                        | Končno dušenje           | pnevmatsko                 | nastavljivo v končni legi |
|                        | Energetski medij         | stisnjeni zrak             |                           |
|                        | Območje tlakov (bar)     | 3-10                       | optimalno 6               |
|                        | Delovna sila (N/bar)     | 70                         |                           |
| ROTACIJSKI<br>MODUL    | Kot zavrtitve (°)        | 180                        | zvezno nastavljiv         |
|                        | Največja hitrost (rad/s) | 80                         | neobremenjena enota       |
|                        | Končno dušenje           | pnevmatsko                 | nastavljivo v vsaki legi  |
|                        | Energetski medij         | stisnjeni zrak             |                           |
|                        | Območje tlakov (bar)     | 3-10                       | optimalno 6               |
|                        | Delovni moment (Nm/bar)  | 0,95                       |                           |
| PRIJEMALNI<br>MODUL    | Zav čeljusti (mm)        | 40                         | v srednji legi            |
|                        | Kot odpiranja (°)        | ± 8                        |                           |
|                        | Način prijemanja         | obodno zunanje             | zamenljivi nastavek       |
|                        | Energetski medij         | stisnjeni zrak             |                           |
|                        | Območje tlakov (bar)     | 3-10                       | optimalno 6               |
|                        | Prijemna sila (N/bar)    | 3,5                        |                           |

Slika 9: Tabela karakteristik posameznih modulov uporabljenih fleksibilnih strežnih naprav

Vojko Kosec  
Zoran Seljak

RAZISKAVA UPORABNOSTI FLEKSIBILNIH STREŽNIH  
NAPRAV NA PRIMERU MONTAŽE TURBINSKEGA DELA  
ELEKTROMOTORNIH SESALNIH ENOT

R e z i m e

Montaža predstavlja danes enega izmed pomembnejših faktorjev, ki prispevajo svoj delež k stroškom neke produkcije. Problemi pri racionalizaciji montaže so kompleksnejše narave in zato je potrebno pri reševanju uporabiti ustrezno plansko sistematiko. Na podlagi take sistematike je bil analiziran in koncipiran montažni sistem za sestavljanje turbinskega dela elektromotorne sesalne enote. Pri koncipiranju tega sistema se je v danih okoliščinah še najbolj obnesel montažni sistem grajen na modularnih fleksibilnih strežnih napravah. Pred realizacijo želimo preveriti karakteristike fleksibilnih strežnih naprav in ostale periferije. Zato je bilo izdelano testirno montažno mesto za simulacijo prve montažne operacije, na katerem sedaj opravljamo testni program zanesljivosti, trajnosti, posredno pa tudi ponovljivosti.

RESEARCH OF USABILITY OF FLEXIBLE HANDLING  
DEVICES ON THE ASSEMBLY LINE FOR FAN PART  
OF ELECTROMOTOR VACUUM CLEANER UNITS

S u m m a r y

Today is assembly in majority of cases one of more significant expenses of the production process. Besides we have to handle with problems of such degree of complexity that we need a suitable planning methodology to solve our problems. In this article we have used such planning methodology to analyze and conceptualize the assembly line for fan part of electromotor vacuum cleaner units. For the conception of this system we have chosen the most optimal possibility, the flexible handling devices built on the modular principles. But before the realization of the assembly system, we have wished to prove some properties of flexible handling devices and peripheries. We have built a testing assembly device for a simulation of first assembly operation. Now we are testing this device from the view of reliability, durability, and indirectly of reiteration.

XVIII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE  
NIŠ 1984. GODINE

AVTOMATIZACIJA STREGE PRI  
ROTACIJSKEM KOVANJU

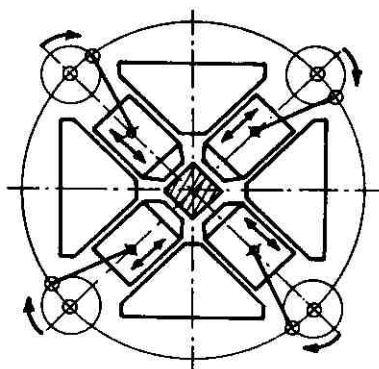
Dragica NOE, višji predavatelj  
Fakultete za strojništvo v Ljubljani  
Zoran SELJAK, profesor  
Fakultete za strojništvo v Ljubljani

1. Uvod

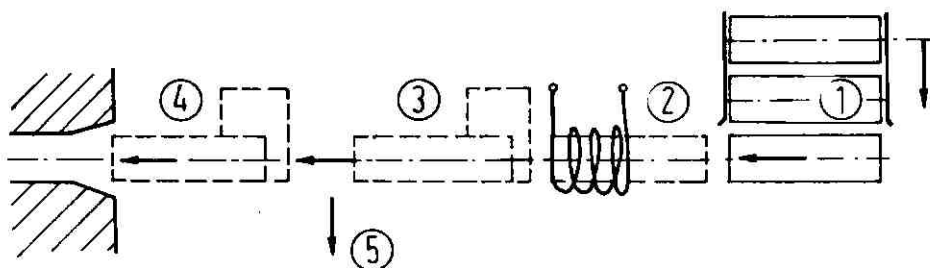
Avtomatizacija v masivnem preoblikovanju se bistveno počasneje uveljavlja kot avtomatizacija pri obdelavi z odrezavanjem. Vendar tudi na tem področju spremljamo določen napredek, predvsem pri avtomatizaciji posameznih podstrojev, manj pa celotnih sistemov /1/.

Težave pri avtomatizaciji strege pri preoblikovanju so pogojene z visokimi temperaturami odkovkov, ustvarjanjem okujine ter s spreminjanjem geometrijske oblike odkovkov med kovanjem. Strežne naprave morajo držati odkovek na željeni temperaturi, morajo biti zavarovane pred vplivi visokih temperatur in trdimi delci okujine ter se prilagajati spremembam oblike odkovkov med delovnim ciklom.

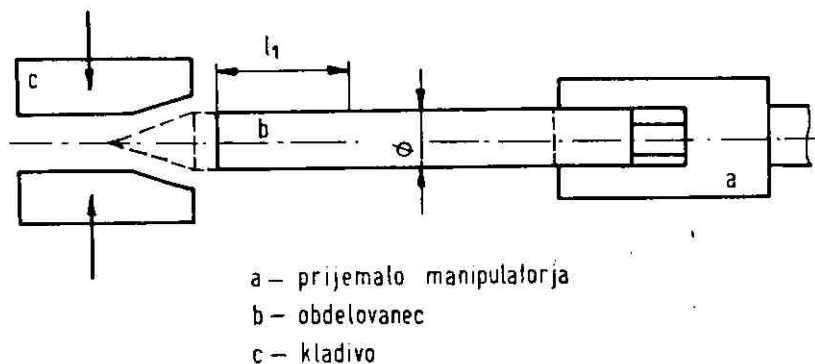
Tako je razumljivo, da se je avtomatizacija strege v masivnem preoblikovanju najprej začela uveljavljati pri paličastih oblikah odkovkov, ki so ogrevani samo enostransko. Pri odkovkih, kjer je del, predviden za prijemanje hladen, ni večjih težav za avtomatizacijo strege. Največ težav prav gotovo predstavlja avtomatizacija kovanja kosov, ne toliko pri dodajanju kot pri jemanju odkovka iz gravure. Odvzemanje mora biti zanesljivo. Z izjemo kladiv praktično vse stroje za masivno preoblikovanje lahko priredimo za avtomatizacijo strege ter jih vključimo v avtomatizira-



Slika 1. Kovaško oblikovalni stroj KO - železarna Ravne



Slika 2. Naloge strežne naprave  
 1 - urejeno hranjenje  
 2 - dodajanje v zanko grelca  
 3 - prijem  
 4 - držanje in dodajanje med kovanjem  
 5 - odstranitev odkovka



Slika 3. Pri koničenju se preoblikuje le del ( $l_1$ ) ogretega surovca

ne sisteme kovanja. V avtomatizacijo hidravličnih preš, horizontalnih protiudarnih kladiv in drugih preoblikovalnih enot so tako vključene strežne naprave, manipulatorji enostanih gibov z enostavnim programskim krmiljem, kakor tudi industrijski roboti s prostoprogramiranim procesorskim krmiljem /1/.

Prikazana rešitev avtomatizacije kovanja na kovaškem oblikovalnem stroju je primer uporabe modularno grajenih strežnih naprav pri masivnem preoblikovanju.

## 2. Zasnova celice za koničenje

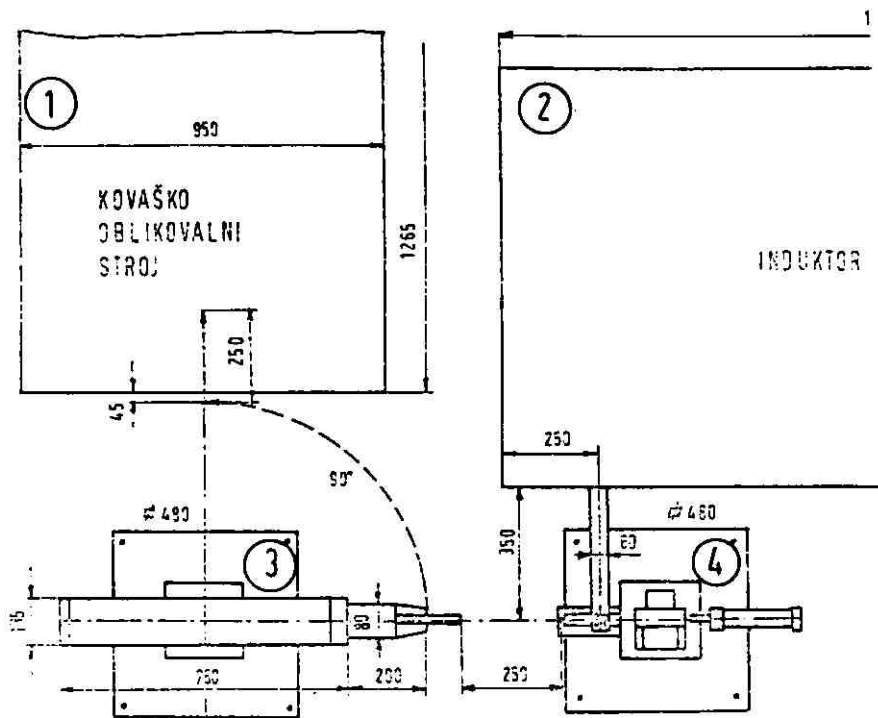
Avtomatizacija postopka koničenja na stroju za rotacijsko kovanje je narekovala oblikovanje celice, ki vključuje poleg stroja za kovanje še grelni induktor ter strežno napravo (sl. 4). Naloga strežne naprave je dodati paličaste surovce ( $\varnothing$  20 mm,  $l \approx 150$  mm) v zanko induktivnega grelca, jih ogrete prijeti ter podajati med kladiva stroja za kovaško oblikovanje. Po končanem preoblikovanju pa odkovek spustiti v zaboj (sl. 2). Izhodišče naloge ne definira izvedbe strežne naprave.

Raziskava primernosti posameznih znanih rešitev /1, 3/ strege kakor tudi lastne izkušnje na tem področju so nas vodile od zasnove preoblikovalne celice z dvema manipulatorjema do končne variante, ki vključuje strežno napravo - manipulator s tremi moduli ter napravo za urejanje in dodeljevanje. Teža odkovkov, kakor tudi sile pri kovanju so narekovale uporabo pnevmatičnih izvršnih komponent, razmestitev posameznih enot preoblikovalne celice za koničenje pa za značilnosti delovnih enot.

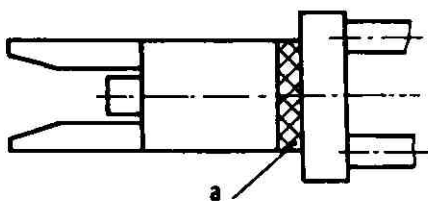
## 3. Značilnosti strežne naprave

Pri kovanju na kovaškem oblikovalnem stroju (sl. 1) je čas, potreben za prijem ogretega surovca, podajanje med kovanjem ter odlaganje odkovka del delovnega cikla. Pri koncipiranju avtomatizirane strege je potrebno upoštevati, da naj so ti časi čim krajši. To pa zahteva enostavne, kratke in hitre gibe manipulatorja. Vse ostale naloge strežnega sistema morajo potekati paralelno na modulu za urejanje. Strežni sistem sestavljata dva podsklopa: manipulator ter modul za urejanje in dodeljevanje. Njunjo vsklajeno delovanje je prikazano na poteku delovanja (sl. 6), ki ga krmili elektronski krmilnik.

Manipulator (sl. 4) je grajen na principu modularne gradnje, ki ob že v naprej pripravljenih moduli omogoča hitro in kvalitetno gradnjo strežnih sistemov. Razmestitev posameznih enot preoblikovalne celice je zahtevala izvedbo manipulatorja s tremi moduli. Pnevmatični linearni modul z hodom 250 mm, koristno silo na batnici 1500 N omogoča v hitrem hođu hitrosti do 1 m/s, ter v počasnem delu hoda nastavitve hitrosti od 0 do 25 mm/s. V ta namen ima prigrajeno hidravlično zavoro. Nastavitev hitrosti za del giba linearnega modula zahteva potek kovanja. Njegova zgradba, kakor tudi zgradba rotacijskega modula sta poznani /3/. Kot zasuk pri rotacijskem modulu, ki je izveden z dvojno ozobljeno batnico je od 0 do 90°. Posebna pozornost je posvečena dušenju ob koncu giba. Prijemalo je izvedeno kot enosmerni pnevmatični valj, prenos vpenjalne sile na čeljusti je preko vzvoda.



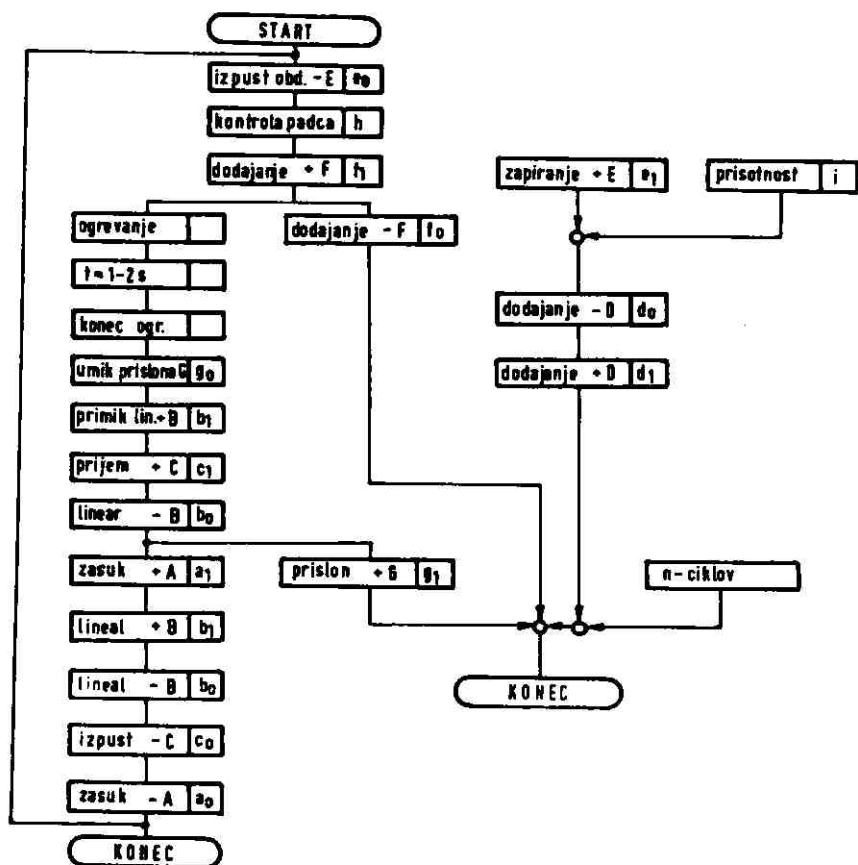
Slika 4. Zgradba celice za koničenje  
 1 - kovaški oblikovalni stroj  
 2 - induktivni grelnik  
 3 - manipulator  
 4 - urejevalni modul



a = blažifev sunk. obremenilev

Slika 5. Povezava prijemala z manipulatorjem





Slika 6. Potek delovanja strežne naprave

Posebna pozornost pri zasnovi strežnega sistema je veljala modulu za urejanje in dodeljevanje. Te strežne funkcije sicer opravljajo enote enostavnih gibov ter zgradbe, vendar so za brezhibno delovanje preoblikovalne celice enakega pomena kot manipulator. V času kovanja je potrebno iz šaržerja oddeliti surovec, ga podati v induktivno zanko kjer poteka ogrevanje. Pri nepravilno izbranih materialih vgrajenih v neposredni bližini zanke induktorja lahko pride do nekontroliranega ogrevanja strežne naprave.

Elektronski sekvenčni krmilnik razdeljen v vhodni in sekvenčni modul omogoča avtomatičen in polavtomatičen delovni cikel ter ročno aktiviranje posameznih izvršinskih enot. Osnova za izdelavo krmilnika je potek delovanja strežne naprave (sl. 6), ki se uspešno uporablja pri montaži in pri diagnosticiranju napak. Uporabljeno krmilje razvito v okviru raziskovalnih nalog uspešno povezuje strežno napravo z induktorjem ter kovaškim preoblikovalnim strojem.

#### 4. Sklep

Po uspešni predstavitvi preoblikovalne celice na BIAM-u (Želazarna Ravne) lahko ugotovimo naslednje:

- modularno grajene strežne naprave je mogoče uspešno uporabiti za strego pri nekaterih vrstah masivnega preoblikovanja (npr. rotacijsko kovanje, kovaško valjanje);
- pri manjših težah odkovkov je smiselna uporaba pnevmatičnih izvršinskih sestavin, predvsem zaradi primernih hitrosti gibanja posameznih modulov;
- za doseganje nastavljive hitrosti se dodajajo hidravlične zavore;
- za preoblikovalne celice namenjene za serijsko proizvodnjo je primerno zaradi cene krmiljenje s sekvenčnim krmiljem.

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

- /1/ Lange, K., Meyer, Nolkemper: Gesenkschmieden, Springer Verlag, Berlin 1977
- /2/ Pischel, H.: Werkstück - und Werkzeug-handhabung bei hydraulischen Pressen für das Massivumformen wt - Z. ind. Fertig. 69 (1979), S. 627 - 632
- /3/ Seljak, Z.: Fleksibilne strežne naprave v industrijski proizvodnji, Seminar 8, Avtomatizacija strege in montaže, Ravne 1982

DRAGICA NOE, ZORAN SELJAK

#### AVTOMATIZACIJA STREGE PRI ROTACIJSKEM KOVANJU

##### R e z i m e

V delu je prikazana preoblikovalna celica za koničenje, ki vključuje kovaški oblikovalni stroj, induktivni grelnik ter strežno napravo. Strežna naprava je grajena modularno, kar omogoča hitro in kvalitetno gradnjo. Prikazan primer je eden izmed mnogih, kjer lahko uspešno uporabimo modularno grajene manipulatorje.

#### AUTOMATION OF HANDLING ON A HIGH SPEED FORGING MACHINE

##### S u m m a r y

The paper reports on a high speed forging cell consisting of a high speed forging machine, inductive heater and a handling device. The handling device has a modular structure enabling a fast and high quality setting up. The present example is one of the numerous cases where manipulators with modular structure can be successfully used.

## PRIMENA PRINCIPA INTEGRACIJE IZRADE ELEMENATA I MONTAŽE ČELIJE MODULARNE TASTATURE

Milovanović Toplica, Dipl. Ing. EI - Niš, OOUR-SD, ruk. K.B. opreme i  
nove tehnologije

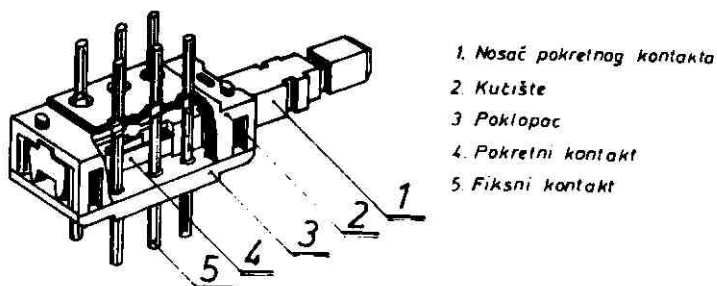
Mr. Stoiljković Dragoslav, Dipl. Ing. Direktor OOUR-SD, EI - NIŠ

### 1. UVOD

U savremenoj industrijskoj proizvodnji elektromehaničkih komponenata pojavljuje se veliki broj delova od žice i trake koji se koriste kao delovi za kontaktiranje. Izrada ovakvih delova na klasičnim mašinama i njihova montaža na traci je komplikovana, neekonomična i u uslovima savremene proizvodnje gubi smisao. Sve veća potreba za ovakvom vrstom delova nametnula je u poslednjoj deceniji nagli razvoj i izradu uređaja za izradu delova kontaktnog sistema i njihovu montažu u zahtevanu celinu.

Konstrukcijom i izradom ovih uređaja otvorene su nove tehnološko-ekonomske mogućnosti u izradi i montaži kontaktnih sistema.

Primena principa integracije izrade i montaže delova kontaktnog sistema prikazana je na čeliji modularne tastature



Sl.1. Čelija modularne tastature

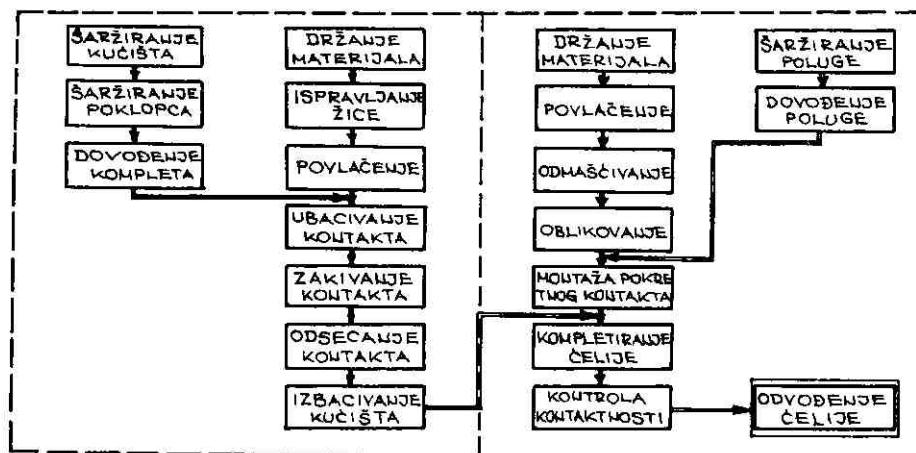
## 2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE I KONSTRUKTIVNO IZVODJENJE UREDJAJA ZA IZRADU I MONTAŽU KONTAKTNOG SISTEMA

Osnovna karakteristika ovih uredjaja je odvojenost procesa izrade fiksnih i pokretnih kontakta. Karakteristično za ove uredjaje je i to da se za pogon koriste pneumatske jedinice sa prekidnim kretanjem koje nam omogućavaju delovanje radne sile iz više pravaca. Korišćenjem pneumatskih ugradnih jedinica omogućeno je lako i brzo nameštanje i podešavanje delova alata, velika preglednost, pristupačnost i brza zamena ovih jedinica. Pri izradi kontaktnog sistema nema otpatka materijala, čime se konstrukcija pojednostavljuje i ostvaruje se velika ušteda u materijalu. Produktivnost ovakvih uredjaja je velika i ide do 200 sklopova u minuti.

Pored namene za velikoserijsku i masovnu proizvodnju ovi uredjaji su ekonomični za proizvodnju sklopova u malim serijama.

Uredjaji za izradu i montažu kontaktnih sistema sa pneumatskim pogonskim jedinicama u osnovi imaju sličnu funkcionalnu strukturu koja obuhvata sledeće f-je: dovodjenje materijala, ispravljanje, odmašćivanje, povlačenje, oblikovanje (savijanje, istiskivanje), ubacivanje kontaktne masti, montaža kontakta, kompletiranje sklopa, kontrola, izbacivanje.

Na osnovu konstruktivnih zahteva čelija na sl.1 i liste zahteva za njenu funkcionalnost napravljen je dinamički model uredjaja za njenu izradu. Funkcionalna struktura ovog modela prikazana je na sl. 2.



Sl.2. Funkcionalna struktura uredjaja za izradu i montažu kontaktnog sistema čelije modularne tastature.

Iz funkcionalne strukture sl.2 vidi se da se izrada i montaža odvija na dva uredjaja.

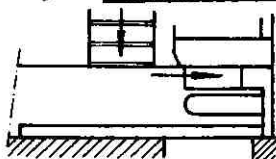
Na jednom uredjaju vrši se izrada fiksnih kontakta sl. 1 poz.5 i kompletiranje kućišta. Rad ovog uredjaja je automatski. Kontakti su od bakarno posrebrene žice prečnika 1mm. Kontaktna žica ovde ima dvostruku f-ju: u prvom redu ona služi kao kontakt a u drugom kao element za spajanje kućišta (sl.1 poz.2) i poklopca (sl.1 poz.3).

Na drugom uredjaju vrši se izrada pokretnog kontakta (sl.1 poz.4) od trake 2,5x0,11mm i kompletiranje čelije. Rad ovog uredjaja je automatski a kompletiranje čelije obavlja se ručno.

U narednom prikazu dat je opis kompletiranja čelije prema prikazanoj funkcionalnoj strukturi i to samo delova koji su specifični za uredjaje na kojima se izrađuje čelija modularne tastature.

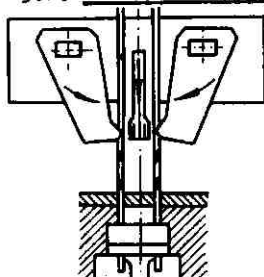
### 3. PRIKAZ PROCESA KOMPLETIRANJA KUĆIŠTA

#### 3.1. DOVODJENJE KUĆIŠTA I POKLOPCA



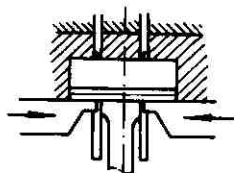
Kućište i poklopac se dovode iz jednog šaržera na mesto zakivanja. Dovodjenje kućišta i poklopca vrši se uz pomoć dodavača čiji je oblik prilagođen obliku dela. Dodavač je konstruisan tako da u procesu zakivanja (3.3) služi kao držač žice pri oblikovanju donje glave "zakovice".

#### 3.2. HVATANJE I POVLAČENJE ŽICE



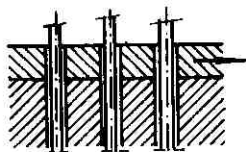
Hvatanje žice se vrši pomoću pokretnih (obrotnih) stezača između kojih je fiksni deo. Stezači ovde imaju dvostruku ulogu. U prvom redu, oni služe za držanje žice pri povlačenju i ubacivanju u kućište i poklopac ali se ujedno njima vrši deformacija žice i istiskivanje glave "zakovice", tj. formira se gornja glava za zakivanje kućišta i poklopca. Stezači drže žicu za sve vreme kompletiranja kućišta. Žica je otpuštena samo u trenutku novog koraka. Oba hvatača dobijaju pogon od jednog pneumatskog cilindra.

#### 3.3. ZAKIVANJE FIKSNIH KONTAKTA



Formiranje donje glave pri spajanju kućišta i poklopca izvodi se pomoću dva bočna klizača koja dobijaju pogon od jednog pneumatskog cilindra. Bočni klizači drže žicu posle zakivanja dok hvatač žice ne zauzme položaj za povlačenje žice za novi korak. Dodavač kućišta i poklopca (deo 3.1) ovde služi kao podmetač za formiranje donje glave pri spajanju kućišta i poklopca.

#### 3.4. ODSECANJE ŽICE



Imajući u vidu postavljen zahtev za istovremenim odsecanjem više žica na vrlo malom odstojanju kao i zahtev da se na odsečenim površinama ne smeju javiti pucne i neravnine ovo sečenje je rešeno primenom čistog smicanja tj. primenom sistema "otvor na otvor". Ovim načinom se vrši brzo i efikasno odsecanje svih žica istovremeno.

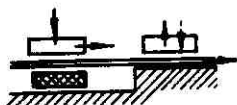
### 4. PRIKAZ PROCESA KOMPLETIRANJA ČELIJE

#### 4.1. DOVODJENJE POLUGE



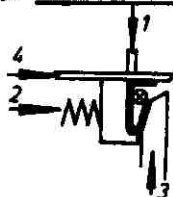
Princip dovodjenja poluge na mesto montaže pokretnog kontakta je isti kao i dovodjenje kućišta i poklopca (deo 3.1).

#### 4.2. POVLAČENJE TRAKE



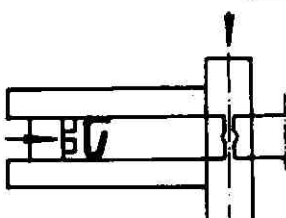
Materijal opružnog kontakta je traka 2,5x0,11 i njeno dovodjenje sa kotura na mesto formiranja kontakta predstavlja problem. Ovaj problem je rešen korišćenjem tri pneumatska cilindra, od kojih dva služe za naizmenično držanje trake a jedan za pomeranje trake.

#### 4.3. OBLIKOVANJE OPRUŽNOG KONTAKTA



Oblikovanje pokretnog kontakta se vrši oko trna koji odgovara obliku kontakta. Redosled delovanja oblikača obeležen je rednim brojevima. Pre odsecanja trake vrši se savijanje oblikačem 2 koji vrši savijanje pod dejstvom opruge, tako da u trenutku sečenja imamo čvrsto držanje trake između povlača i savijenog kontakta oko trna.

#### 4.4. MONTAŽA OPRUŽNOG KONTAKTA I KOMPLETIRANJE ČELIJE



Posle oblikovanja kontakta oko trna, kada se oblikači vrte u multi položaj, trn se uvlači u osnovnu ploču a kontakt ostaje na površini. Specijalno konstruisani umetak hvata kontakt i dovodi ga u polugu. Umetak drži kontakt do dolaska nove poluge, a u međuvremenu se vrši savijanje novog kontakta. Poluga klizi po kanalu na čijem kraju se dovodi kompletno kućište. Ubacivanje poluge u kućište vrši se ručno.

U ovom delu dat je prikaz kompletiranja čelije i kratak opis delova uređaja koji su karakteristični za ovu konstrukciju.

#### Literatura

1. Dr. Ing. G. Höhne: Methoden zur Lösung ausgewählter konstruktionsprobleme, XIX. Intern. Wiss. Koll. T.N. Ilmenau, 1974.
2. D. Stoiljković, dipl. ing. Primena savremenih automata za prosecanje i savijanje u velikoserijskoj izradi delova koji se savijaju, XI savetovanje za proizvodno mašinstvo, Ohrid 1977.
3. Katalogi i preporuke firme, Somel, Festo, Intermodern i drugih.
4. Zarić S. Automatizacija proizvodnje, Zavod za izdavanje udžbenika SR, Srbije, Beograd 1968.

Milovanović Toplica, Dipl. Ing. EI-NIŠ, OOUR-SD, Ruk. K.B. Opreme i nove tehnologije

Mr. Stoiljković Dragoslav, Dipl. Ing. EI-NIŠ, OOUR-SD - Direktor.

#### PRIMENA PRINCIPA INTEGRACIJE IZRADE ELEMENATA I MONTAŽE ČELIJE MODULARNE TASTATURE

#### Rezime

Konstruisani uređaji sa integralnu izradu i montažu čelije modularne tastature karakterišu se integracijom odvojenih jedinica za izradu fiksnih i pokretnih kontakata i jedinice za montažu. Na osnovu konkretno prikazanih uređaja može se zaključiti da se razvojem i izradom ovih uređaja, sa primenom elemenata male automatizacije, otvaraju nove mogućnosti za fleksibilnu automatizaciju montaže u oblasti montaže elektromehaničkih komponenta.

#### THE APPLICATION OF THE PRINCIPLE OF INTEGRATION OF MAKE AND ASSEMBLING INTO THE MODULAR KEYBOARD CELL

#### Summary

Constructed devices for integral make and assembling of the modular keyboard cell have a feature of integration of separate units for make of fixed and movable contacts and an assembling unit. On the base of concretely shown devices it may be concluded that through the development and make of these devices with the application of elements of small automatization some new possibilities for flexible automatization of assembling in the range of assembling of electro-mechanical components are opened.

## XVIII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE NIŠ 1984. GODINE

### IZVRŠNI ORGANI ( HVATAČI ) MANIPULATORA ZA MONTAŽNE PROCESE

SLOBODAN JOVANOVIĆ , asistent pripravnika  
Mašinskog fakulteta u Nišu

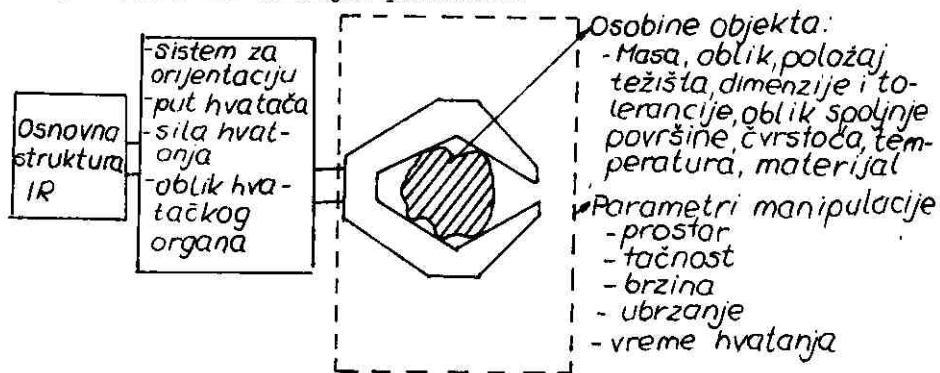
#### 1. UVOD

Buran razvoj industrijskih robota u poslednje vreme je nastao kao posledica želje za potpunom automatizacijom proizvodnog procesa. Ako se posmatra tok razvoja industrijskih robota, može se primetiti da su oni pre svega upotrebljeni za proste radove koji se ponavljaju relativno velikom učestanošću. Primena industrijskih robota kao manipulacionih organa je prvenstveno u mašinskoj obradi ( zapostavljanje i skidanje priprema na mašinu, izmenu alata, skidanje delova sa mašine i sl. ), zatim u procesima spajanja delova ( zavarivanje po putanjama, šavno ili tačkasto ) i u ostalim proizvodnim procesima ( lakiranje, bojenje i sl. ). Ovakve zadatke sa uspehom su rešavali postojeći industrijski roboti i automati. Međutim, potpuna automatizacija proizvodnog procesa zahteva od industrijskih robota da mogu uspešno izvršavati i montažne radove. Ovakav zadatak industrijski robot može da obavi tek u pojedinim jednostavnijim slučajevima, jer proces montaže zahteva kompleksna kretanja priprema ( objekta ). Sama putanja objekta manipulacije nije jedini uslov uspešne montaže, već industrijski robot treba opremiti senzorima i elementima za prepoznavanje oblika i položaja objekta. Sve ovo doprinosi da problem konstrukcije hvatača za montažne procese predstavlja složen zadatak. Pored samog industrijskog robota i hvatača kao njegovog sastavnog dela veliki napor se u ovoj oblasti čine i u konstrukciji proizvoda koji treba da se montiraju pomoću automata i industrijskih robota, jer to zahteva primenu prostijih oblika i korišćenje sile zemljine teže kao prirodnog pomagača u procesu montaže.



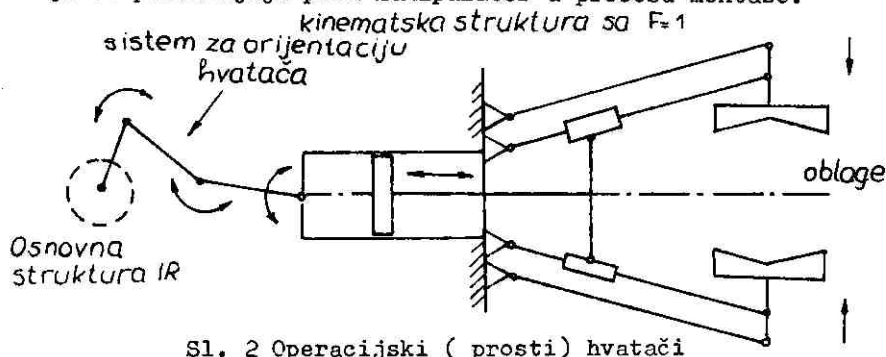
## 2. FUNKCIJA HVATAČA ZA MONTAŽNE PROCESE

Hvatač je jedini deo industrijskog robota koji dolazi u neposredan kontakt sa objektom. Pod hvatačem se smatra i deo strukture industrijskog robota koji omogućava orijentaciju predmeta u prostoru. Osnovni šematski prikaz hvatača dat je na slici 1. gde su prikazani svi uticajni parametri.



Sl. 1 Šematski prikaz hvatača

Osnovna struktura industrijskog robota definiše željeni oblik radnog prostora a sam hvatač ima daleko složeniji zadatak jer stupa u interaktivno dejstvo sa okolinom. Kako je već u uvodnom delu rečeno, dosadašnji hvatači su imali osnovni zadatak da sigurno prihvate objekat i da ga dovedu u definisan položaj bilo po nekoj putanji, bilo u neku tačku radnog prostora, a da pri tom ne dodje do ispadanja objekta, što se rešavalo takozvanim operacijskim ( prostim ) hvatačima. Prosti hvatači su prilagodjeni samo jednom neposrednom zadatku i samo ograničeno se mogu koristiti za neki drugi sličan zadatak. Hvatač se projektuje na licu mesta, to jest ne spada u standardnu opremu industrijskog robota, pa su razvijene mnoge metode za projektovanje takvih hvatača. U najvećem broju to su mehanizmi koji podsećaju na klešta i koji radi jednostavnosti imaju samo jedan stepen slobode kretanja, što ostvaruje rotacioni ili pravolinijski pogonski element ( sl. 2 ). Ovakvi hvatači ne odgovaraju zahtevima koji se postavljaju pred manipulator u procesu montaže.



Sl. 2 Operacijski ( prosti ) hvatači

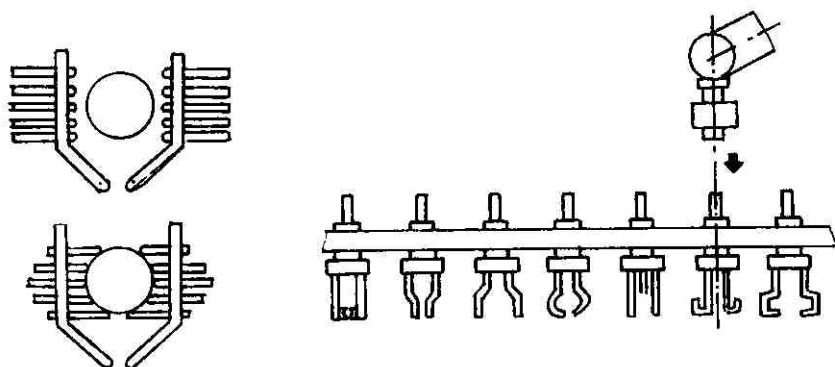
Zato je neophodno imati hvatače koji će biti fleksibilniji po svakom od uticajnih parametara prikazanih na sl. 1, a prvenstveno onih koje uslovljava objekat. Povećanje fleksibilnosti hvatačkog organa postiže se na sledeće načine:

- povećanjem adaptivnosti hvatača prema obliku objekta,
- opremanjem senzorima,
- preuzimanjem pojedinih kretanja preko perifernih organa.

Povećanje adaptivnosti hvatača prema obliku objekta predstavlja mogućnost prihvatanja objekata različitih oblika što se postiže na više načina:

- podesivošću obloga hvatača,
- podesivošću broja radnih tačaka hvatača,
- promenljivim oblogama hvatača,
- hvatačima sa više članaka ( " soft gripper " ),
- primenom više prostih hvatača.

Sva ova rešenja našla su primenu kod dosad korišćenih industrijskih robota za montažu, a na slici 3 prikazana su neka od njih.



Sl. 3 Povećanje adaptivnosti hvatača

U procesu montaže poseban uticaj imaju dosta promenljivi parametri okoline hvatača ( oblik objekta, položaj elementa koji se spajaju itd. ) pa je neophodno ovakve informacije imati u sistemu za upravljanje, a to su:

- obuhvatanje pozicije objekta,
- ispitivanje potpunosti dela koji se ugrađuje,
- ispitivanje naspramnog dela na koji se montira objekat,
- prepoznavanje poremećaja i korigovanje odstupanja oblika i položaja,
- prepoznavanje i klasifikacija objekata,
- obuhvatanje sila i momenata itd.

Dosadašnji senzori su razvijeni uglavnom za merenje sila i momenata na bazi mernih traka i induktivnom principu, a za prepoznavanje oblika koristi se CCD kamera vezana za hvatač ili periferni uređaj.

Pored senzora kod sistema za montažu značajan uticaj imaju periferni uređaji koji su dosad uvek bili posmatrani kao statični. Za dinamičko ponašanje robota za montažu veoma je značajno smanjenje mase vrha manipulatora ( gde pripada i hvatač ) što se može postići ukidanjem nekog od stepena slobode kretanja

i njegovim prebacivanjem na periferiju. Za tu svrhu može se koristiti upravljani X-Y sto, a zajednička koordinacija se obavlja pomoću jedinstvenog sistema upravljanja industrijskim robotom.

### 3. ZAKLJUČAK

Industrijski roboti za montažu predstavljaju dalji nastavak razvoja ovih atraktivnih uređaja. Pri tome značajno mesto zauzima realizacija fleksibilnog hvatača sposobnog za orimenu u složenim radnim uslovima. Dosadašnja istraživanja kod ovakvih hvatača idu u tri paralelna toka:

- upravljani ( aktivni ) hvatači za montažu kod kojih sistemi za prepoznavanje ( senzori ) preuzimaju vođenje hvatača definišući veličinu i pravac odstupanja između delova koji se spajaju,

- neupravljani ( pasivni ) hvatači kod kojih se izjednačavanje odstupanja obavlja neupravljivim silama i momentima koji dovode do postupnog spajanja,

- kombinovani hvatači sastavljeni od prethodna dva oblika.

Pored ovih pravaca nameće se još jedan koji na sadašnjem nivou tehnike nije moguće ili je neracionalno realizovati, a to su hvatači kod kojih se kontrolisano vrši kretanje objekata unutar hvatača čime bi se podražavala ljudska ruka.

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

- /1/ J. Volmer / Industrieroboter Entwicklung VEB Verlag 1983./
- /2/ E. Kallenbach/Praezisionsrobotertechnik TH Ilmenau 1981. /
- /3/ U. Rembold, C. Blume, R. Dillman i G. Moertel/, Technische Anforderungen an zukunftsige Montageroboter VDI-Z 123/1981/ str. 763 do 772./.
- /4/ M. Schweizer/ Taktile Sensoren zum automatischen Montieren TMM, 18/1, 1983, str. 85 do 90./.

Slobodan Jovanović, asistent - pripravnik  
Mašinski fakultet u Nišu

## IZVRŠNI ORGANI ( HVATAČI ) MANIPULATORA ZA MONTAŽNE PROCESE

### REZIME

Proces montaže, koji se želi automatizovati zahteva od manipulatora da izvodi veoma složene pokrete, što dovodi do teškoća u pogledu konstrukcije i upravljanja ovakvim manipulatorima, koje se manifestuju ili nemogućnošću nalaženja tehničkog rešenja za ovakve procese ili veoma visokom cenom takvog manipulatora. Dosadašnja istraživanja pokazuju da se sa velikom pažnjom treba orijentisati na periferne uređaje manipulatora i njegov izvršni organ ( hvatač ). U radu su prikazane koncepcije postojećih hvatača koji se primenjuju u procesima montaže i nove tendencije u razvoju ovih sistema.

## INDUSTRIEROBOTERGREIFER FUER MONTAGEVORGAEUGE

### ZUSAMMENFASSUNG

Der Montagevorgang, der zu automatisieren ist, stellt vor die Industrieroboter den Anspruch, sehr komplizierte Bewegungen auszufuehren, was hinsichtlich der Konstruktion und der Steuerung zu den Schwierigkeiten fñhrt, die in den Moeglichkeiten der technischen Loesung und in den hohen Preisen solcher Industrieroboter zutage treten. Die bisherigen Untersuchungen zeigen, dass man sich mit groesster Aufmerksamkeit auf Peripherieeinrichtungen der Industrieroboter und seinen Greifer orientieren soll. In der Arbeit werden die Konzeptionen der vorhandenen Greifer vorgestellt die in den Montageprocessen verwendet werden wie auch neue Tendenzen in der Entwicklung dieser Systems.