

UNIVERZITET U NIŠU – MAŠINSKI FAKULTET

# **ZBORNİK RADOVA**

## **IX SAVETOVANJA PROIZVODNOG MAŠINSTVA**

NIŠ, 30. i 31. maja 1974.

Niš, 1974. god.

**UNIVERZITET U NIŠU – MAŠINSKI FAKULTET**

Niš, 12 februara 56-a, tel. (018) 42-066

# **ZBORNİK RADOVA**

## **IX SAVETOVANJA PROIZVODNOG MAŠINSTVA**

**NIŠ, 30. i 31. maja 1974.**

**Niš, 1974. god.**

## INICIJATOR SAVETOVANJA:

Zajednica jugoslovenskih naučno-istraživačkih  
institucija proizvodnog mašinstva

## ORGANIZATOR I MESTO SAVETOVANJA:

Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu, 18000 Niš,  
ul. 12. februara broj 56-a, tel. (018) 42-066.

## ORGANIZACIONI ODBOR:

Prof. dr Predrag Popović, dipl.ing., - predsednik  
Vojislav Stoilković, dipl.ing., - sekretar  
Doc. dr Života Živković, dipl.ing.  
Doc. dr Zoran Boričić, dipl.ing.  
Doc. Milan Nedeljković, dipl.ing.  
Slavko Šmigić, dipl.ing.  
Doc. Božidar Mitić, dipl.ing.  
Doc. Aleksandar Pavlović, dipl.ing.  
Ljubomir Janković, dipl.ing.  
Asistent Dragan Domazet, dipl.ing.  
Asistent Velibor Marinković, dipl.ing.  
Asistent Ljubomir Bogdanov, dipl.ing.  
Asistent Radoslav Zlatanović, dipl.ing.  
Asistent Vladimir Ognjanović, dipl.ing.

---

Umnožio iz rukopisa: Biro za gradjevinarstvo, Sremska 6, Beograd

Prvo savetovanje proizvodnog mašinstva održano je u organizaciji Instituta za alatne mašine i alate i Mašinskog fakulteta u Beogradu. Od tada pa do danas održano je osam savetovanja, i to:

- u Beogradu Prvo savetovanje 1965. g.
- u Zagrebu Drugo savetovanje 1966. g.
- u Ljubljani Treće i Osmo savetovanje 1967. i 1973. g.
- u Sarajevu Četvrto savetovanje 1968. g.
- u Kragujevcu Peto savetovanje 1969. g.
- u Opatiji Šesto savetovanje 1970. g.
- u Novom Sadu Sedmo savetovanje 1971. g.

Na osnovi odluke Zajednice jugoslovenskih naučno-istraživačkih institucija proizvodnog mašinstva poverena je odgovorna i las-kava dužnost organizatora IX savetovanja Mašinskom fakultetu Univerziteta u Nišu.

Na ovom savetovanju biće tretirana sledeća područja:

1. Obrada materijala deformacijom
2. Automatizacija proizvodnje
3. Zaštita na alatnim mašinama

U odredjenom roku prispela su dvadesetdva referata i saopštenja i oni su prezentirani u ovom Zborniku.

U nadi da će i IX savetovanje kao i sva dosadašnja ispuniti cilj koji je postavila Zajednica jugoslovenskih naučno-istraživačkih institucija proizvodnog mašinstva, koristimo i ovaj način da se najlepše zahvalimo autorima radova na odazivanju na poziv da uzmu učešća u programu rada ovog tradicionalnog skupa.

ORGANIZACIONI ODBOR





OBRADA MATERIJALA DEFORMACIJOM

B. MUSAFIJA: Primjena ekstremalnih principa teorije plastičnosti u tehnologiji obrade deformacijom	OD. 1. 1
B. DEVEDŽIĆ: Problematika granične deformabilnosti složenih otpresaka od lima i njeni savremeni teorijsko-eksperimentalni aspekti	OD. 2. 1
A. MULC, F. KOVAČIČEK i R. ZGAGA: Usporedba oblikovljivosti deformacijom AlZnMg legura u isprešanom i toplinski obradjenom stanju	OD. 3. 1
A. MULC: Neki aspekti primjene fotoplastične analize u obradi deformacijom	OD. 4. 1
V. VUJOVIĆ: Hladno utiskivanje gravure u alate za oblikovanje	OD. 5. 1
V. STOILJKOVIĆ: Prikaz izrade elemenata od lima dubokim izvlačenjem pomoću nestišljivog fluida	OD. 6. 1
P. POPOVIĆ, V. STOILJKOVIĆ i LJ. BOGDANOV: Ispitivanje neravnomernosti deformacije pri sabijanju elemenata	OD. 7. 1
K. KUZMAN : Dimenzioniranje procesov kovaškega valjanja	OD. 8. 1

AUTOMATIZACIJA PROIZVODNJE

S. ZARIĆ: Sistemi upravljanja sa otvorenim kolom u automatizaciji proizvodnje	AP. 1. 1
S. ZARIĆ: Klipni razvodnik kao logički element	AP. 2. 1
B. KLADNIK: Pnevmatško programirana stručnica	AP. 3. 1
V. ZRNIĆ: Automatizacija rada uređaja za doziranje smeša sa posebnim zahtevima primenom kaskadne metode	AP. 4. 1

B. DŽIGURSKI: Izbor priručnih pneumatskih čekića	AP. 5. 1
D. NIKOLIĆ: Projekat pneumatičke instalacije za stegu	AP. 6. 1
V. TEODOROVIĆ: O izboru vrste pogonske energije za ručne alate na motorni pogon	AP. 7. 1
M. STOILJKOVIĆ: Programsko-redosledno upravljanje radnim ciklusom razvodnicima 3/2	AP. 8. 1
M. DUMANČIĆ, J. TURK: Pristup uvodjenju automatizacije kod montažnih radova	AP. 9. 1

### ZAŠTITA NA ALATNIM MAŠINAMA

M. DREZGIĆ: Stanje i problemi bezbednog i bezštetnog rada na mašinama alatkama	ZA. 1. 1
Š. KERKEZ: Neka razmatranja mogućnosti smanjenja povreda na radu u industrijskoj proizvodnji	ZA. 2. 1
V. TEODOROVIĆ: Zaštita od napona dodira pri upotrebi alata povišene frekvencije	ZA. 3. 1
F. JEROMEN: Varnostna krmilna verzija	ZA. 4. 1
D. VELIČKOVIĆ: Buka na mašinama za obradu rezanjem i mere za njeno odklanjanje	ZA. 5. 1

B. Musafia \*

PRIMJENA EKSTREMALNIH PRINCIPA TEORIJE PLASTIČNOSTI  
U TEHNOLOGIJI OBRADE DEFORMACIJOM \*\*

Uvod

U primjeni teorije plastičnosti, specijalno u onom dijelu koji se odnosi na analizu tehnoloških procesa obrade metala plastičnom deformacijom, istraživanja se vrše u dva osnovna pravca i to: u primjeni poznatih metoda na izučavanju tehnoloških procesa i kreaciji novih savremenijih tehnoloških prilaza problemima plastične obrade, te u iznalaženju novih proračunskih i eksperimentalnih metoda sa osnovnim ciljem povećanja tačnosti rješenja pojedinih procesa.

Cilj ovog referata je u tome da se pokuša u sažetom obliku prikazati metoda gornje procjene radnog pritiska, aktivne sile i deformacionog rada, koja posljednjih godina zbog svoje prikladnosti nalazi sve širu primjenu u tehnologiji plastične obrade.

Metoda gornje procjene bazirana je na primjeni ekstremalnih principa teorije plastičnosti.

U formulaciji ekstremalnih principa fundamentalne postavke su razradili: W. Prager [1], P.G. Hodge [2], R.Hill [3], A.A. Iljušin [4], D.C.Drucker [5] i L.M. Kačanov [6]. Inače, seriozni pristup ovom problemu pred citiranih autora predmet je razmatranja u nizu članaka i knjiga sa tematikom iz oblasti matematske teorije plastičnosti [7]-[11].

\* Dr Binko Musafia, dipl.ing., redovni profesor Mašinskog fakulteta u Sarajevu, ul. Omladinsko šetalište b.b.

\*\* Saopštenje iz Zavoda za alatne mašine, alat i mjernu tehniku, Mašinskog fakulteta u Sarajevu, ul. Omladinsko šetalište b.b.

Metoda gornje procjene predstavlja jednu od približnih energetske metoda primjenjene teorije plastičnosti [12].

### Osnovne energetske jednačine

Posmatra se tijelo (sl. 1a) sa zapreminom  $V$  ograničeno površinom

$$A = A_p + A_v.$$

Polje napona određeno komponentama tenzora napona  $\sigma_{ij}$  u unutrašnjosti tijela zadovoljava diferencijalne jednačine ravnoteže

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} = 0 \quad \text{unutar zapremine } V \quad (a)$$

Granični uslovi na dijelu površine  $A_p$  zadani su vektorom ukupnog napona  $\vec{p}_n$  sa komponentama  $p_{in}$  u pravcima koordinatnih osa  $x_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) po konturnim Cauchyjevim jednačinama

$$p_{in} = \sigma_{ij} a_j \quad \text{na površini } A_p \quad (b)$$

pri čemu su  $a_j$  kosinusi smjerova vektora vanjske normale  $\vec{n}$ .

Granični uslovi na dijelu površine  $A_v$  zadani su vektorom brzine  $\vec{v}_0$  sa komponentama  $v_{i0}$ , tako da je

$$v_i = v_{i0} \quad \text{na površini } A_v \quad (c)$$

Polju brzina pomjeranja odgovaraju komponente tenzora brzine deformacije

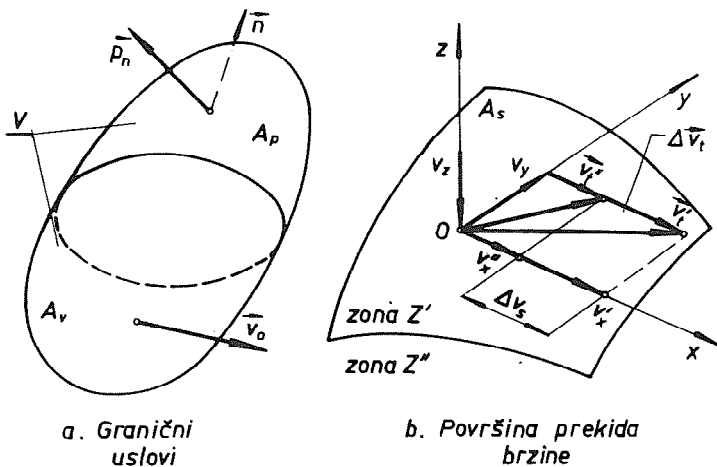
$$\xi_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (d)$$

Osnovna energetska jednačina bazirana na zakonu održanja energije, koja važi za svaku neprekidnu sredinu, u ovom slučaju glasi

$$\iint_A p_{in} v_i dA = \iiint_V \sigma_{ij} \xi_{ij} dV \quad (1)$$

Formalni dokaz identiteta lijeve (snaga vanjskih sila) i desne (snaga unutrašnjih sila) strane jednačine (1) slijedi iz obrasca Gaussa - Ostrogradskog za transformaciju površinskog u prostorni integral [13].

Proširujući koncept na svojstva kruto-plastične sredine inaugurisane reo-



Sl.1 UZ OSNOVNU ENERGETSKU  
JEDNAČINU

loškim modelom St. Venanta [14] u analizu se uključuje i problem diskontinuiteta brzine na površini prekida brzine  $A_s$ . Ova površina (sl. 1b) razdvaja dvije zone  $Z'$  i  $Z''$ , koje se uslovno mogu smatrati krutom i plastičnom.

Uslov kontinuiteta tijela u cjelini implicira nužnost da normalna komponenta brzine ostaje nepromjenjena sa obje strana površine prekida  $v_z = v'_z = v''_z$ , tako da je prekid brzine moguć samo za komponentu brzine koja leži u tangentnoj ravni površine prekida.

Matematsku interpretaciju problema prekida brzine dao je H. Ford [15] na osnovu Geiringerovih jednačina. Ako se površina prekida  $A_s$  posmatra kao granični slučaj tankog sloja debljine  $\Delta z$ , uzduž kojega dolazi do kontinuirane, ali veoma nagle promjene brzine, tada u limitnom procesu kada debljina  $\Delta z$  teži nuli, komponenta brzine  $v_x$  u lokalnom koordinatnom sis-

temu ima prekid konstantne vrijednosti

$$\Delta v_s = \Delta v_x = v_x' - v_x'' = \text{const} \quad (2)$$

Veoma prosto može se dokazati [16] da površina prekida brzine predstavlja površinu maksimalnog tangencijalnog napona ( $\tau = k_s$ ).

S obzirom na to da tijelo može imati  $s = 1, 2, \dots, n$  površina prekida, energetska jednačina (1) mora biti na desnoj strani dopunjena dodatnim članom koji predstavlja snagu disipacije na površinama prekida.

Uvažavajući i granični uslov (c) lijeva strana jednačine se može razdvojiti na dva dijela. Tako nastaje osnovna energetska jednačina kruto-plastičnog tijela

$$\iint_{A_p} p_{in} v_i dA + \iint_{A_v} p_{in} v_{io} dA = \iiint_V \tilde{\sigma}_{ij} \xi_{ij} dV + \sum_{s=1}^n \iint_{A_s} k_s |\Delta v_s| dA \quad (3)$$

Kod daljeg operisanja uvode se reducirani parametri

$$k_r = \frac{2}{\sqrt{3}} k = 1,155 k = 2 k_s, \quad k_s = \frac{k}{\sqrt{3}} = 0,577 k = \frac{k_r}{2} \quad (4)$$

gdje je  $k$  vrijednost specifičnog deformacionog otpora za zadane uslove stepena, brzine i temperature deformacije [17].

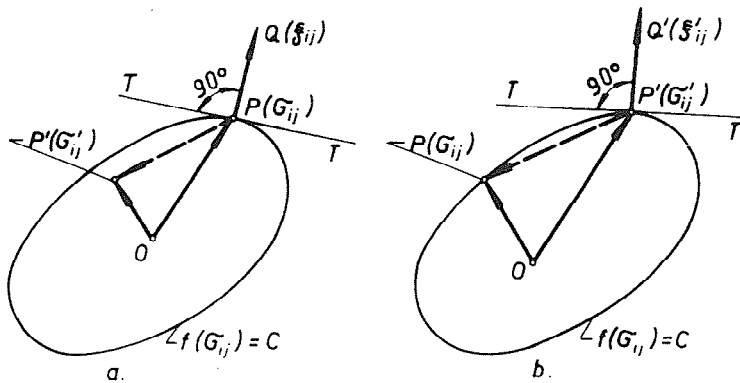
### Ekstremalni principi

Uporedo sa stvarnim stanjem: poljem napona  $\tilde{\sigma}_{ij}$ , poljem brzina deformacija  $\xi_{ij}$  i brzina pomjeranja  $v_i$  posmatra se i statički moguće naponsko stanje  $\tilde{\sigma}'_{ij}$  koje zadovoljava diferencijalne jednačine ravnoteže (a) i konturne uslove (b).

Naponi  $\tilde{\sigma}'_{ij}$  i brzine deformacija  $\xi_{ij}$  u devetdimenzionalnom prostoru mogu biti predočeni kao vektori.

Uslovu plastičnog tečenja  $f(\tilde{\sigma}'_{ij}) = C$  u ovom prostoru odgovara hiperpovršina tečenja. Iz postulata Druckera [5], po kome stvarna brzina disipacije mehaničke energije ima veću vrijednost od bilo koje brzine disipacije ener-

gije koja odgovara naponskom stanju nižem od granice plastičnog tečenja



Sl. 2 UZ POSTAVKU EKSTREMALNIH  
PRINCIPA

za istu brzinu deformacije, slijedi da površina tečenja mora biti konveksna (sl. 2a).

Vektor  $\overline{PQ}$  (za odgovarajuće polje brzina deformacije  $\xi_{ij}$ ) normalan je na površinu tečenja. Stvarno naponsko stanje  $G_{ij}$  predstavljeno je vektorom  $\overline{OP}$ , dok vektor  $\overline{OP'}$  statički mogućeg naponskog stanja  $G'_{ij}$  uopšteno posmatrano leži unutar površine tečenja. Vektor razlike  $\overline{PP'} = \overline{OP'} - \overline{OP}$  zbog uslova konveksnosti površine tečenja zaklapa sa vektorom  $\overline{PQ}$  tupi ugao, što znači da skalarni proizvod ova dva vektora mora biti negativan

$$\overline{PP'} \cdot \overline{PQ} = (\overline{OP'} - \overline{OP}) \cdot \overline{PQ} \leq 0, \quad (\sigma'_{ij} - \sigma_{ij}) \xi_{ij} \leq 0 \quad (e)$$

Iz energetske jednačine (3) i nejednačine (e) dolazi se do matematske formulacije prvog ekstremalnog principa u obliku

$$\iint_{A_v} p_{in} v_{io} dA \geq \iint_{A_v} p'_{in} v_{io} dA \quad (5)$$

Prvi ekstremalni princip ili statička teorema definiše maksimalna svojstva stvarnog naponskog stanja: "Snaga stvarnih površinskih sila na zadanim br-



zinama veća je od snage površinskih sila koje odgovaraju drugom statički mogućem polju napona".

Po drugom konceptu uporedo sa stvarnim stanjem uvodi se kinematski moguće polje brzina  $v'_i$  koje zadovoljava uslove nestišljivosti i granične uslove (c) na površini  $A_v$ . Brzinama pomjeranja  $v'_i$  po jednačinama (d) odgovaraju brzine deformacija  $\xi'_{ij}$ . Poznavajući komponente  $\xi'_{ij}$  po Prandtl - Reussovoj teoriji plastičnog tečenja [18], [19] moguće je odrediti polje napona  $\sigma'_{ij}$  koje općenito posmatrano ne zadovoljava diferencijalne jednačine ravnoteže. Nadalje se dopušta mogućnost prekida kinematski mogućeg polja brzina  $v'_i$  na površinama prekida  $A'_s$ .

Analognom geometrijskom interpretacijom (sl. 2b) može se ustanoviti da vektor  $\overline{OP}$  predstavlja stvarno naponsko stanje  $\sigma_{ij}$ , a vektor  $\overline{OP}'$  naponsko stanje  $\sigma'_{ij}$ , koje po asociranom zakonu plastičnog tečenja odgovara kinematski mogućem polju brzina deformacija  $\xi'_{ij}$ , pa uslov konveksnosti površine tečenja implicira nejednačinu

$$\overline{P'P} \cdot \overline{P'Q} = (\overline{OP} - \overline{OP}') \cdot \overline{P'Q} \leq 0, \quad (\sigma_{ij} - \sigma'_{ij}) \xi'_{ij} \leq 0 \quad (f)$$

Energetska jednačina (3) sa nejednačinom (f) omogućava definiciju kinematske teoreme koja interpretirana matematski glasi

$$\iint_{A_v} p_{in} v_{io} dA \leq \iiint_V \sigma'_{ij} \xi'_{ij} dV - \iint_{A_p} p_{in} v'_i dA + \sum_{s=1}^n \iint_{A'_s} k_s |\Delta v'_s| dA \quad (6)$$

Drugi ekstremalni princip ili kinematska teorema definiše minimalna svojstva stvarnog polja brzina: "Snaga površinskih sila za stvarno polje brzina manja je od snage površinskih sila za kinematski moguće polje brzina".

Postavka metode gornje procjene

Najočigledniji način korištenja ekstremalnih principa kod postavke metode gornje procjene i u njoj primjeni dao je W. Johnson [20], [21]. Ovu metodu kod rješavanja odredjenih procesa koristili su L.A. Šofman [22] i A. D. Tomljenov [23]. Inače parcijalna rješenja primjene ekstremalnih pri-

ncipa u tehnologiji obrade deformacijom obradjena su u literaturi [24]-[28]. Pri tome posebno treba istaći originalne postavke H. Hudoa [29] i S. Kobayashija [30].

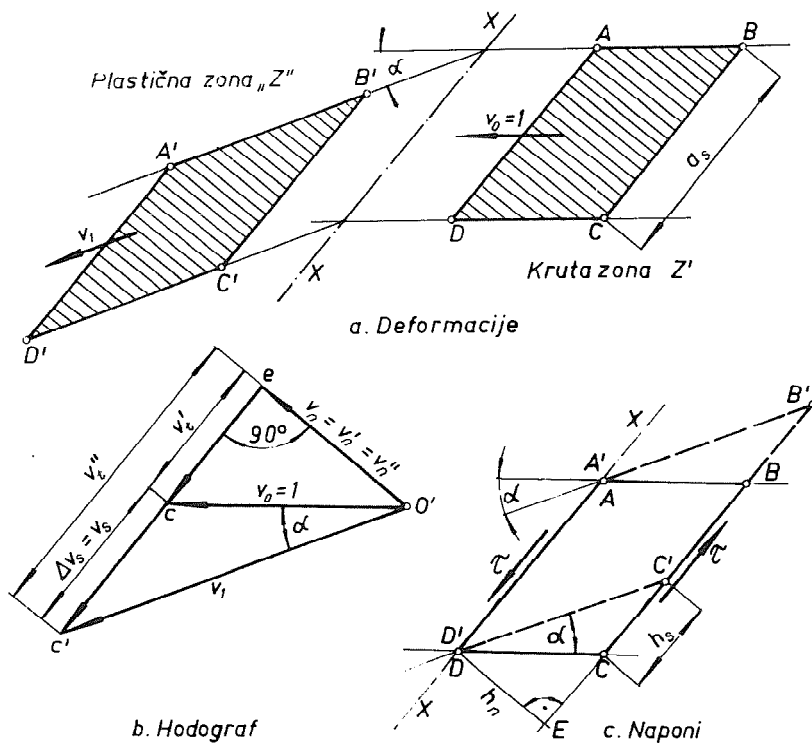
Iz nejednačine (6) može se konstatovati da je pritisak baziran na kinematski mogućem stanju veći od stvarnog radnog pritiska tehnološkog procesa obrade deformacijom. Iz ekstrema optimalne varijante kinematskog polja može se odrediti minimalna vrijednost radnog pritiska koja je najbliža stvarnom pritisku odgovarajućeg procesa.

Kinematski moguće polje, za razliku od statički mogućeg polja linija klizanja, sastoji se iz trouglastih elemenata - "Johnsonovi blokovi". Predpostavlja se da je unutar svakog bloka polje brzina jednorodno, tako da se blok pomjera kao kruto tijelo (koje se ne deformiše), iz čega slijedi da je prvi integral na desnoj strani nejednačine (6) jednak nuli. Na graničnim linijama blokova dolazi do prekida tangencijalne komponente brzine.

S obzirom na to da dio konture  $A_p$  ostaje nepromjenjen i drugi integral na desnoj strani nejednačine (6) općenito se može izjednačiti sa nulom, tako da se polazna nejednačina metode gornje procjene redukuje na veoma prosti oblik

$$\iint_{A_v} p_{in} v_{io} dA \leq \sum_{s=1}^n \iint_{A'_s} k_s |\Delta v'_s| dA \quad (7)$$

Johnsonova geometrijska interpretacija brzine disipacije unutrašnje energije pri prolazu kroz ravan prekida brzine X-X (sl. 3a) omogućava neposrednu aplikaciju nejednačine (7). Paralelopiped sa stranicom jedinične dužine pomjera se kao kruti blok sa brzinom jednakom brzini kretanja radnog organa mašine (brzina deformisanja) koja se može uzeti sa jediničnom vrijednošću  $v_o = 1$ , čime se hodografu brzina (sl. 3b) daje odgovarajuća razmjera. Pri prolazu kroz ravan prekida paralelogram ABCD se deformiše u novi oblik A' B' C' D' koji se kreće u novom pravcu (određenim uglom smicanja  $\alpha$ ) sa novom brzinom  $v_1$ . Po uslovu kontinuiteta normalna komponenta brzine ostaje nepromjenjena  $v_n = v'_n = v''_n$ , dok tangencijalna komponenta ima prekid  $v_s = |\Delta v'_s| = v''_t - v'_t$ .



SI. 3 DEFORMACIJE, HODOGRAF I NAPONI ZA ŠEMU  
KRUTO-PLASTIČNOG BLOKA [20]

Izvod rada smicajnih napona (sl. 3c) utrošenog na deformaciju bloka  $W = \tau (\overline{AB}) \overline{CC'} = \tau a_s h_s$  po vremenu, predstavlja brzinu disipacije unutrašnje energije na pravolinijskom dijelu linije prekida brzine X-X

$$D = \frac{dW}{dt} = \int \tau v_s da_s = \tau_s v_s a_s \quad (8)$$

pri čemu je  $a_s$  dužina linije prekida brzine, a  $v_s$  konstantna vrijednost prekida brzine.

Radni pritisak procesa na površini  $A_0$  (projekcija površine radnog komada normalno na pravac kretanja alata - pravac brzine  $v_0$ ) na osnovu nejednačine (7) i jednačine (8) određuje se po metodi gornje procjene nejednačinom

OD.1.8

$$\rho v_0 A_0 \leq \sum_{s=1}^n \tau_s v_s A_s \quad (9)$$

Smicajni naponi u nejednačini (9) imaju vrijednost:

$$\begin{aligned} \tau_s &= k_s \text{ na površinama prekida brzine } A_s \quad (s = 1, 2 \dots n) \\ \tau_s &= \tau_k \text{ na kontaktnim površinama radnog komada i alata} \\ \tau_s &= 0 \text{ na slobodnim površinama radnog komada} \end{aligned}$$

Primjena

### Utiskivanje tiskača u polubeskonačnu plastičnu sredinu

Tiskač se smatra kao apsolutno tvrdo tijelo (elastične deformacije alata se isključuju iz razmatranja) i utiskuje se sa jediničnom brzinom  $v_0 = 1$  u plastičnu sredinu koja se rasprostire neograničeno sa njegove lijeve i desne strane (sl. 4a).

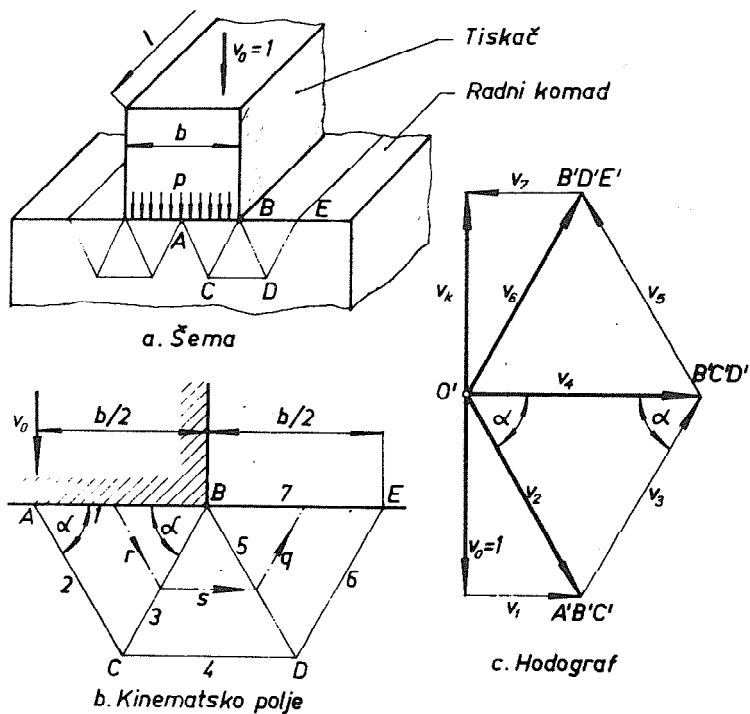
Klasična primjena ovog problema predstavlja ispitivanje tvrdoće, ali analiza je važna i kod procesa slobodnog ubadanja i za istraživanje prve faze procesa kovanja i presovanja u ukovnjima. Kinematsko polje u fizičkoj ravni (sl. 4b) sastoji se iz trouglastih blokova ABC, BCD i BDE koji po usvojenoj kinematici kretanja  $r - s - q$  kližu uzduž linija  $\overline{AC}$ ,  $\overline{CD}$  i  $\overline{DE}$  sa odgovarajućim brzinama  $v_2$ ,  $v_4$  i  $v_6$  prema hodografu po sl. 4c. Linijama prekida  $\overline{BC}$  i  $\overline{BD}$  odgovaraju brzine  $v_3$  i  $v_5$ . Iz uslovne jednačine vektora protoka brzine kroz granice plastične oblasti  $v_0 b - v_k 2\overline{BE} = 0$ , budući da je  $b = 2\overline{BE}$ , slijedi da izlazna brzina mora biti jednaka ulaznoj  $v_k = v_0$ .

Pretvarajući polaznu nejednačinu (9) u jednačinu, za ovaj proces se može postaviti da je

$$\rho v_0 \frac{b}{2} l = l \sum_{s=1}^7 \tau_s v_s a_s \quad (g)$$

pri čemu tangencijalni naponi imaju vrijednost

$$\tau_1 = \tau_k = \mu k_r = 2\mu k_s, \quad \tau_{2-6} = k_s, \quad \tau_7 = 0 \quad (h)$$



Sl. 4 PROCES UTISKIVANJA

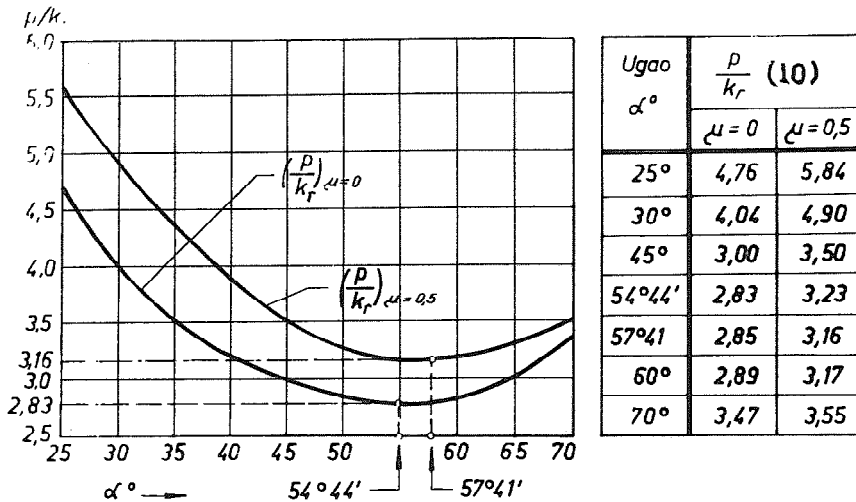
pa zamjenom (g) u (h) nastaje

$$p v_0 \frac{b}{2} = 2 \mu k_s v_0 \operatorname{ctg} \alpha \frac{b}{2} + k_s \sum_{s=2}^6 v_s a_s \quad (i)$$

Koristeći geometrijske odnose po sl. 4 nakon preuredjenja jednačine (i) dobiva se radni pritisak procesa utiskivanja

$$p = k_r \left[ \frac{1}{\sin \alpha \cos \alpha} + (1 + \mu) \operatorname{ctg} \alpha \right] \quad (10)$$

Osnovni parametar kinematskog polja je ugao  $\alpha$  koji je proizvoljno odabran. Najniža vrijednost funkcije  $p = p(\alpha)$  po obrascu (10) iz uslova ekstrema  $\frac{\partial p(\alpha)}{\partial \alpha} = 0$  omogućava definiciju optimalnog ugla kinematskog polja u funkciji koeficijenta kontaktnog trenja



SI. 5 ZAVISNOST RADNOG PRITISKA OD UGLA KINEMATSKOG POLJA I KONTAKTNOG TRENJA

$$\alpha_0 = \arctg \sqrt{2 + \mu} \quad (11)$$

Iz tabelarnog i grafičkog prikaza funkcije  $p/k_r = f(\alpha)$  uočava se da trenje utiče ne samo na veličinu radnog pritiska, nego i na položaj minimuma (sl. 5). Za idealne kontaktne uslove ( $\mu=0$ ,  $\tau_k=0$ ) položaj minimuma radnog pritiska određen je uglom  $\alpha_0 = 54^\circ 44'$ , a apsolutna vrijednost minimuma iznosi  $p = 2,83 k_r$ , dok za najnepovoljnije kontaktne uslove, pri maksimalnom trenju ( $\mu=0,5$ ,  $\tau_k=k_s$ ), ove veličine imaju vrijednost  $\alpha_0 = 57^\circ 41'$  i  $p = 3,16 k_r$ .

Neprekidno polje linija klizanja pri utiskivanju bez trenja po rješenju L. Prandtlja [9] i kinematski bolje usaglašeno polje po rješenju R. Hilla [3] daju identičnu vrijednost radnog pritiska

$$p = 2 k_s \left(1 + \frac{\pi}{2}\right) = 2,57 k_r \quad (12)$$

Odstupanje rezultata gornje procjene u ovom slučaju iznosi

$$\Delta = \frac{2,83 - 2,57}{2,57} \cdot 100 = 10\%$$

## Presovanje metodom istosmjernog istiskivanja

Kinematski moguće polje procesa presovanja metodom istosmjernog istiskivanja u konusnom kalupu je prikazano na sl. 6a, a hodograf na sl. 6b. Osnovni parametri procesa su: stepen redukcije  $K$ , polovina centralnog ugla radne zone kalupa  $\alpha$  i ugao kinematskog polja  $\theta$ .

Ako se površina gredice označi sa  $A_0 = b_0 l = 2B_0 l$ , a površina poprečnog presjeka otpreska sa  $A_1 = b_1 l = 2B_1 l$ , tada je stepen redukcije

$$K = \frac{A_0}{A_1} = \frac{b_0}{b_1} = \frac{B_0}{B_1} = \frac{\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta}{\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg} \theta} = \frac{X}{Y} \quad (13)$$

Dužina  $l$  ostaje konstantna, što znači da se proces realizuje u uslovima ravninskog deformacionog stanja.

Ulazna (početna) brzina određena je kao brzina translacije pritiskivača prese (malja kovačkog čekića) i uzima se sa jediničnom vrijednošću ( $v_0 = 1$ ). Iz uslova nestišljivosti  $v_0 2B_0 - v_k 2B_1 = 0$  dobiva se izlazna brzina, koja se po smjeru poklapa sa ulaznom brzinom

$$v_k = k v_0 = \frac{B_0}{B_1} v_0 \quad (14)$$

Radi lakšeg operisanja uvedeni su koeficijenti procesa

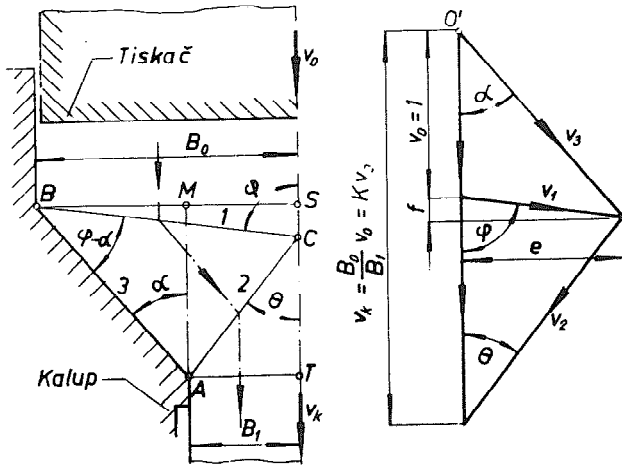
$$X = \frac{1}{\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg} \theta} = KY, \quad Y = \frac{1}{\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta} \quad (15)$$

Iz obrasca (13) može se zaključiti da pomoćni ugao kinematskog polja nije parametar jer se može izraziti u funkciji parametara procesa

$$\varphi = \operatorname{arc} \operatorname{ctg} \left[ \left(1 - \frac{1}{K}\right) \operatorname{ctg} \alpha - \frac{1}{K} \operatorname{ctg} \theta \right] \quad (16)$$

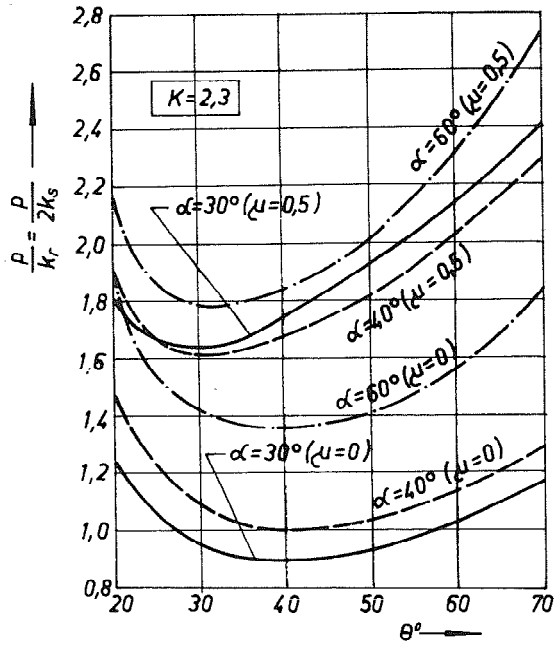
Pretvarajući polaznu nejednačinu (9) u jednačinu procesa istosmjernog istiskivanja

$$\rho v_0 B_0 = k_s (\overline{BC} v_1 + \overline{AC} v_2 + 2 \mu \overline{AB} v_3)$$



a. Kinematsko polje

b. Hodograf



c. Zavisnost radnog pritiska od parametara procesa

SI. 6 PRESOVANJE ISTOSMJERNIM ISTISKIVANJEM U KONUSNOM KALUPU



može se odrediti radni pritisak u uslovima presovanja sa trenjem

$$\frac{p}{k_s} = X \left( \frac{1}{\sin^2 \varphi} + \frac{2\mu}{\sin^2 \alpha} \right) + Y \left( \frac{1}{\sin^2 \theta} - \frac{2\mu}{\sin^2 \alpha} \right) \quad (17)$$

Za idealne kontaktne uslove ( $\mu=0$ ) obrazac (17) se svodi na poznati obrazac W. Johnsona [20], [30]

$$\frac{p}{k_s} = \frac{1}{\sin^2 \varphi (\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg} \varphi)} + \frac{1}{\sin^2 \theta (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta)} \quad (18)$$

Proračunske vrijednosti radnog pritiska za određeni stepen redukcije  $K=2,3$  i za tri vrijednosti centralnog ugla kalupa  $\alpha = 30^\circ, 40^\circ$  i  $60^\circ$  u funkciji od ugla kinematskog polja  $\theta$  (sl. 6a), pokazuju da najniže vrijednosti pritiska kod presovanja u idealnim kontaktnim uslovima ( $\mu=0, \tau_k=0$ ) leže u području  $\theta \approx 40^\circ$ , dok kod presovanja pri najnepovoljnijim kontaktnim uslovima ( $\mu=0,5, \tau_k=k_s$ ) minimumi radnih pritisaka leže u intervalu  $\theta = 30^\circ \div 35^\circ$ .

Kod procesa presovanja u ravnom kalupu ( $\alpha = 90^\circ, \varphi = 180^\circ - \beta, \operatorname{tg} \beta = K \operatorname{tg} \theta$ ) iz varijante kinematskog polja prikazanog na sl. 7a i hodografa po sl. 7b analogno prethodnom primjeru može se odrediti radni pritisak

$$\frac{p}{k_s} = (1 + K) \frac{1 + K \operatorname{tg}^2 \theta}{K \operatorname{tg} \theta} \quad (19)$$

Iz uslova ekstrema funkcije  $\frac{\partial p(\theta)}{\partial \theta} = 0$  dobiva se vrijednost optimalnog ugla kinematskog polja

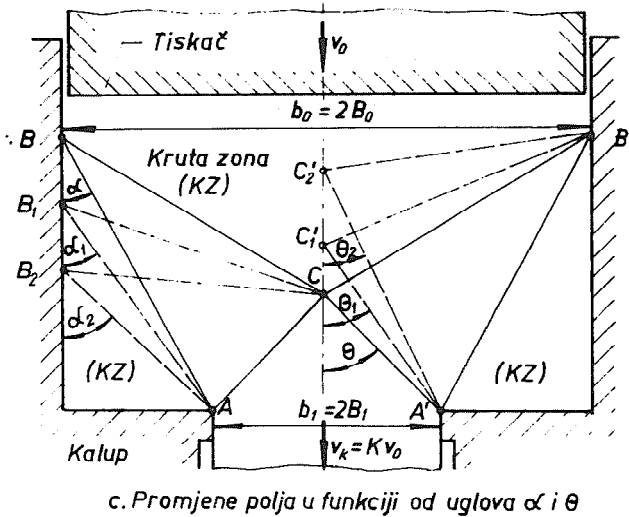
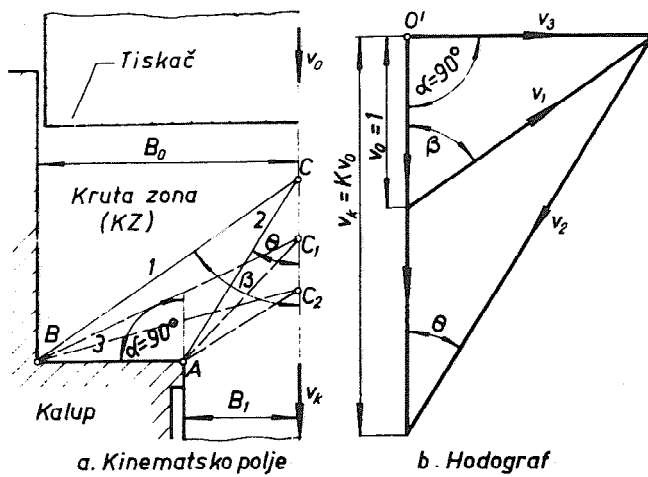
$$\theta_0 = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{1}{\sqrt{K}} \quad (20)$$

Minimalni radni pritisak za  $\theta = \theta_0$  iznosi

$$\frac{p}{k_r} = \frac{p}{2k_s} = \frac{1 + K}{\sqrt{K}} \quad (21)$$

Za stacionarnu fazu procesa koji se realizuje u glatkom kalupu ( $\mu=0$ ) pri stepenima redukcije  $K \geq 2$ , L.A. Šofman [22] je grafičkom i numeričkom analizom ovog procesa po metodi linija klizanja došao do aproksimativnog obrasca za proračun radnog pritiska

$$\frac{p}{k_r} = 0,6 + 2,75K \quad (22)$$



SI. 7 PRESOVANJE ISTOSMJERNIM ISTISKIVANJEM U RAVNOM KALUPU

Odstupanja vrijednosti radnog pritiska određenog po metodi gornje (21) od adekvatne vrijednosti po metodi donje procjene (22) mogu se uočiti u niže danoj tabeli.

Stepen redukcije	K = 4	K = 2
$\theta_0$ (20)	26°34'	12°36'
p/kr (21)	2,500	4,690
p/kr (22)	2,256	4,157
$\Delta\%$	10,8	12,8

Iz druge varijante kinematski mogućeg polja kod presovanja u ravnom kalupu (sl. 7c) vidi se da je iznalaženje minimalne vrijednosti radnog pritiska vezano uz varijaciju uglova  $\alpha$  i  $\theta$  pod uslovom ekstrema funkcije

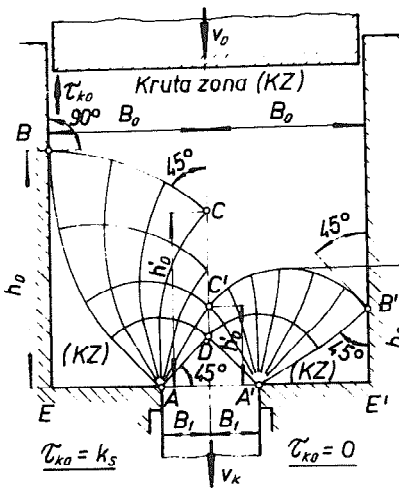
$$\frac{p}{k_s} = X \left( \frac{1}{\sin^2 \varphi} + \frac{1}{\sin^2 \alpha} \right) + Y \left( \frac{1}{\sin^2 \theta} - \frac{1}{\sin^2 \alpha} \right) \quad (23)$$

Povećanje tačnosti rješenja može se postići simulacijom prekidnog kinematskog polja po prethodno istraženom polju linija klizanja. Za istraživanje ovog procesa koristi se R. Hillovo [3] dvostruko centrirano lepezasto polje linija klizanja, koje je detaljnije grafički i numerički analizirao L. A. Šofman [22].

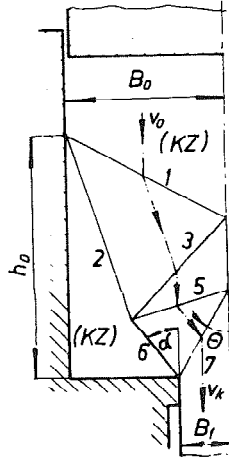
Polje linija klizanja za stepen redukcije  $K > 2$  i za gladak kontejner ( $\tau_{k0} = 0$ ) prikazano je na desnom dijelu sl. 8A (pri čemu granične linije klizanja sjeku površinu kontejnera pod uglovima  $\pm 45^\circ$ ), dok je za hrapav kontejner ( $\tau_{k0} = k_s$ ) ovo polje prikazano na lijevom dijelu sl. 8A (granične linije jedne familije linija klizanja sjeku kontejner pod uglom od  $90^\circ$ , dok ga granične linije druge familije tangiraju).

Problem se riješava analizom prekidnog polja koje se sastoji iz tri trouglasta bloka (sl. 8B) i ustvari simulira neprekidno polje linija klizanja i hodografa (sl. 8C) koji se sastoji iz  $s = 7$  brzina.

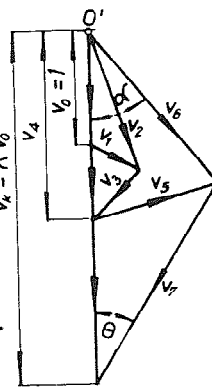
Na sl. 8a je prikazana druga varijanta polja linija klizanja za stepen redukcije  $K > 4$  pri različitim graničnim uslovima (površina kontejnera hrapava  $\tau_{k0} = k_s$ , a površina radnog dijela kalupa potpuno glatka, bez kontaktnog trenja  $\tau_k = 0$ ). Kinematsko polje (sl. 8b) koncipirano je po uzoru na sta-



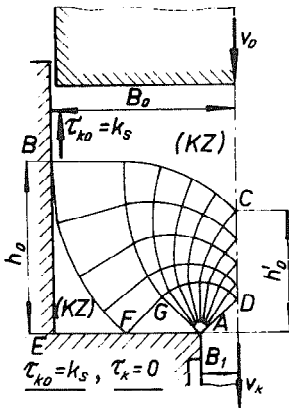
A. Polje linija klizanja za  $K > 2$



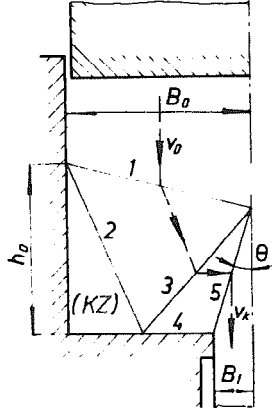
B. Prekidno polje



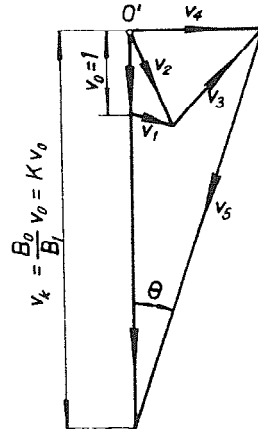
C. Hodograf



a. Statičko polje za  $K > 4$



b. Kinematsko polje



c. Hodograf

### SI. 8 VARIJACIJE STATIČKIH I KINEMATSKIH POLJA

#### PROCESA ISTOSMJERNOG ISTISKIVANJA

tičko polje i analogno tome konstruisan je hodograf (sl. 8c) sa  $s = 5$ .

Metodologija proračuna bazira na iznalaženju minimalne vrijednosti funkcije radnog pritiska

$$\rho = \frac{k_s}{v_0 B_0} \sum_{s=1}^n a_s v_s \quad (24)$$

tako da se dužine  $a_s$  očitavaju iz kinematskog polja, a njima odgovarajuće brzine  $v_s$  iz hodografa. Izmjenom nezavisnih parametara dobiva se najbolja varijanta. Za optimalnu varijantu treba postaviti analitičke medjuzavisnosti i stvoriti odgovarajući algoritam. Primjenom računara mogu odrediti ekstremne vrijednosti radnog pritiska veoma bliske stvarnim vrijednostima.

#### Duboko izvlačenje sa redukcijom debljine zida

U zoni deformacije (sl. 9a) vrši se redukcija debljine zida od vrijednosti  $s_1$  na  $s_2$ , pa se relativni pokazatelji preoblikovanja izražavaju bilo odnosom  $m_s$  ili stepenom deformacije po debljini zida  $\epsilon_s$

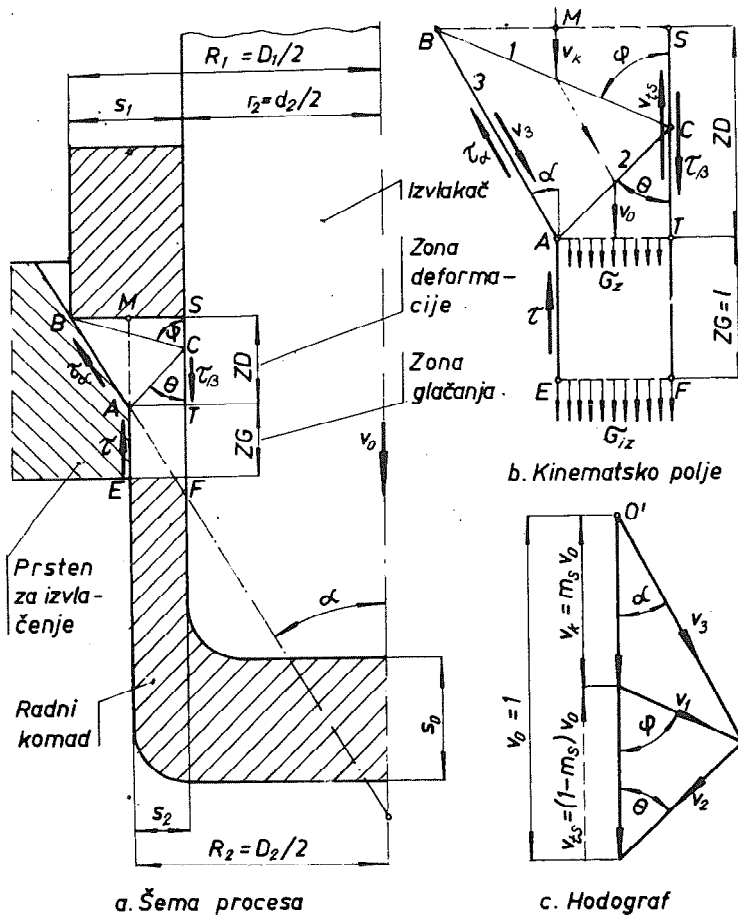
$$\left. \begin{aligned} m_s &= \frac{s_2}{s_1} = \frac{\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg} \varphi}{\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta} = \frac{Y}{X} \\ \epsilon_s &= 1 - m_s = \frac{s_1 - s_2}{s_1} = 1 - \frac{Y}{X} \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

pri čemu su koeficijenti procesa X i Y određeni po obrascu (15). U realnom procesu dolazi do relativno male redukcije vanjskog prečnika (od vrijednosti  $D_1$  na  $D_2$ ), ali je promjena srednjeg prečnika zanemarljivo mala  $d_{s1} = D_1 - s_1 \approx d_{s2} = D_2 - s_2 \approx \text{const}$ , što potvrđuje pretpostavku ravninskog deformacionog stanja. Posljedica radialne i cirkularne deformacije je povećanje visine radnog komada (od vrijednosti  $\Delta h_1$  na  $\Delta h_2$ ).

Uzimajući brzinu kretanja izvlakača  $v_0$  za jediničnu vrijednost, iz uslova kontinuiteta moguće je odrediti brzinu kretanja materijala  $v_k$  iznad granične linije BC i relativnu brzinu tečenja materijala uz izvlakač  $v_{ts}$  u zoni deformacije

$$\left. \begin{aligned} v_0 &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta h_2}{\Delta t} \quad (\text{uslovno} = 1) \\ v_k &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta h_1}{\Delta t} = m_s v_0 = (1 - \epsilon_s) v_0 \\ v_{ts} &= v_0 - v_k = (1 - m_s) v_0 = \epsilon_s v_0 \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

Iz kinematski mogućeg polja (sl. 9b) i hodografa (sl. 9c) može se zaključiti da su nezavisni parametri procesa: odnos redukcije debljine zida  $m_s$



a. Šema procesa  
 b. Kinematsko polje  
 c. Hodograf

SI. 9 DUBOKO IZVLAČENJE SA REDUKCIJOM DEBLJINE ZIDA

(ili stepen deformacije  $\varepsilon_s$ ), polovina centralnog ugla izvlačenja  $\alpha$  i ugao kinematskog polja  $\theta$ . Pomoćni ugao kinematskog polja  $\varphi$  može se na osnovu (25) izraziti kao funkcija

$$\varphi = \text{arc ctg} [(1 - m_s) \text{ctg} \alpha - m_s \text{ctg} \theta] \quad (27)$$

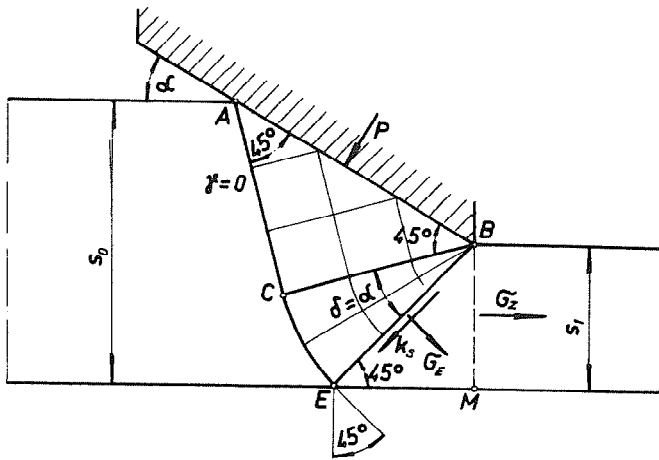
Naponi trenja  $\tau_\alpha$  i  $\tau_\beta$  između kontaktnih površina alata i radnog komada u

zoni deformacije su suprotnog smjera. U izlaznom presjeku ove zone djeluje normalni napon  $\bar{\sigma}_z$ . U zoni kalibriranja dodatni napon kontaktnog trenja  $\tau$  uslovljava povećanje napona izvlačenja do vrijednosti  $\bar{\sigma}_{iz}$  u izlaznom presjeku zone kalibriranja.

Pretvarajući polaznu nejednačinu (9) u jednačinu procesa dubokog izvlačenja

$$\bar{\sigma}_{iz} v_0 s_2 = k_s (\bar{BC} v_1 + \bar{AC} v_2 + 2\mu \bar{AB} v_3 - 2\mu \bar{TS} v_{ts} + 2\mu \bar{FT} v_0)$$

$$\bar{BC} = \frac{s_1}{\sin \varphi}, \quad \bar{AC} = \frac{s_2}{\sin \theta}, \quad \bar{AB} = \frac{s_1 - s_2}{\sin \alpha}, \quad \bar{TS} = (s_1 - s_2) \operatorname{ctg} \alpha, \quad \bar{FT} = l$$



SI. 10 POLJE LINIJA KLIZANJA KOD GRANIČNOG ODNOSA REDUKCIJE

nakon preuredjenja dobiva se napon izvlačenja u izlaznom presjeku zone glatčanja

$$\frac{\bar{\sigma}_{iz}}{k_r} = \frac{\bar{\sigma}_{iz}}{2k_s} = \frac{X}{2} \left( \frac{1}{\sin^2 \varphi} + \frac{m_s}{\sin^2 \theta} \right) + \mu \left[ X \frac{1 - m_s}{\sin^2 \alpha} - \frac{(1 - m_s)^2}{m_s} \operatorname{ctg} \alpha + \frac{l}{s} \right] \quad (28)$$

Za idealne kontaktne uslove ( $\mu=0$ ) i prsten za izvlačenje bez zone glačanja obrazac (28) se znatno pojednostavljuje

$$\frac{\bar{\sigma}_z}{k_r} = \frac{\bar{\sigma}_z}{2k_s} = \frac{X}{2} \left( \frac{1}{\sin^2 \varphi} + \frac{m_s}{\sin^2 \theta} \right) \quad (29)$$

Granični odnos redukcije debljine zida u idealnim kontaktnim uslovima po polju linija klizanja prikazanom na sl. 10, i napon izvlačenja u izlaznom presjeku zone deformacije za određeni ugao izvlačenja (na pr. za  $\alpha = 30^\circ$ ) iznose [24]

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_s &= \frac{2 \sin \alpha}{1+2 \sin \alpha} = \frac{2 \sin 30^\circ}{1+2 \sin 30^\circ} = 0,5, \quad m_s = 1 - \varepsilon_s = 0,5 \\ \bar{\sigma}_z &= 2k_s (1 + \alpha) \varepsilon_s = 2k_s \left( 1 + \frac{\pi 30}{180} \right) \cdot 0,5 = 0,762 k_s \end{aligned} \right\} \quad (j)$$

Za iste vrijednosti ugla izvlačenja i stepena deformacije sprovodi se tabelarni proračun napona po metodi gornje procjene

Red. br.	$\theta^\circ$	$\varphi^\circ(27)$	X(15)	$\frac{\bar{\sigma}_z}{k_r}$ (29)
1	25 <sup>o</sup>	101 <sup>o</sup> 49'	0,515	0,992
2	30 <sup>o</sup>	90 <sup>o</sup> 00'	0,578	0,867
3	35 <sup>o</sup>	81 <sup>o</sup> 21'	0,683	0,798
4	40 <sup>o</sup>	75 <sup>o</sup> 03'	0,686	0,783
5	45 <sup>o</sup>	69 <sup>o</sup> 54'	0,730	0,776
6	50 <sup>o</sup>	65 <sup>o</sup> 57'	0,780	0,800
7	55 <sup>o</sup>	62 <sup>o</sup> 45'	0,820	0,823

Iz tabele se uočava da se za optimalni ugao kinematskog polja  $\theta_0 = 45^\circ$  dobiva najniža vrijednost napona  $\bar{\sigma}_z = 0,776 k_r$  mjerodavna za uporedjenje sa vrijednošću (j).

Procentualno odstupanje

$$\Delta = \frac{0,776 - 0,762}{0,762} \cdot 100 = 1,8\%$$



Rezultati eksperimentalnih istraživanja [31] sprovedenih u kontaktnim uslovima bliskim idealnim (radne površine prstena za izvlačenje i izvlačača polirane, čelični probni uzorci fosfatirani, proces realizovan sa intenzivnim podmazivanjem) pokazuju dobru usaglašenost probnih sa proračunskim vrijednostima.

### Z a k l j u č a k

Glavna prednost metode gornje procjene zasnovane na primjeni ekstremalnih principa teorije plastičnosti leži u njenoj jednostavnosti. Kod prostih tehnoloških procesa radni pritisci dobivaju se kao jednostavne eksplicitne funkcije parametara procesa.

Kod relativno složenih tehnoloških procesa radi se po sistemu eliminacije. Nekoliko odabranih kinematskih polja obradjuju se isključivo grafički, pa se eliminišu ona koja daju velika odstupanja. Optimalno polje se zatim valorizira analitički. Varijacijom ovog polja u funkciji od parametara procesa dobiva se najmanja vrijednost pritiska, koja je najbliža stvarnom radnom pritisku. Proračun se može znatno ubrzati primjenom računara, jer se algoritmi dobivaju u vrlo prostoj formi neposredno iz ove analize.

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

1. Prager W. Probleme der Plastizitätstheorie. Birkhauser Verlag. Basel und Stuttgart, 1955.
2. Hodge P.G. Plastic Analysis of Structures. Mc Graw Hill Book Company. New York, 1964.
3. Hill R. The Mathematical Theory of Plasticity. Oxford University Press. London, 1971.
4. Iljušin A.A. Plastičnost. Čast pervaja. Ogiz. Moskva - Lenjingrad, 1948.

5. Drucker D.C. Introduction to Mechanics of Deformable Solids. Mc Graw Hill Book Company. New York, 1967.
6. Kačanov L.M. Osnovi teoriji plastičnosti. Nauka. Moskva, 1969.
7. Ivlev D.D., Bikovcev G.I. Teorija upročnjajušćegosja plastičeskogo tela. Nauka. Moskva, 1971.
8. Olszak W., Mroz Z., Parzina P. Recent Trends in the Development of the Theory of Plasticity. Pergamon Press. Oxford, 1963.
9. Prager W., Hodge P.G. Theorie ideal plastischer Körper. Springer Verlag. Wien, 1954.
10. Malinin N.N. Prikladnaja teorija plastičnosti. Mašinstroenije. Moskva, 1968.
11. Knets I.V. Osnovnije sovremenije napravljienija v matematičeskoj teoriji plastičnosti. Zinatne. Riga, 1971.
12. Musafia B. Savremena teoretska i eksperimentalna dostignuća u području aplicirane teorije plastičnosti. Zbornik radova IV Savjetovanja proizvodnog mašinstva u Sarajevu, 1968.
13. Calcote R. Introduction to Continuum Mechanics. D. Van Nostrand Company. London, 1968.
14. Reiner M. Rheologie. Carl Hanser Verlag. München, 1968.
15. Ford H. Advanced Mechanics of Materials. Longmans. London, 1963.
16. Tarnovskij V.I. O vičisleniji veličini sil sreza dejstvujuščih na razrivah skorostej tečenija v srede Mizesa. Metallurgija. Moskva, 1965.
17. Musafia B. Analitički metod odredjivanja specifičnog deformacionog otpora kao funkcije deformacije. Zbornik saopćenja II Savjetovanja o proizvodnom strojarstvu. Zagreb, 1966.
18. Mendelson A. Plasticity. The Macmillan Company. New York, 1968.

19. Lippmann H., Mahrenholtz O. Plastomechanik der Umformung metallischer Werkstoffe. Springer Verlag. Berlin, 1967.
20. Johnson W., Mellor P.B. Plasticity for Mechanical Engineers. D. Van Nostrand Company. New York, 1962.
21. Johnson W., Sowerby R., Haddow J.B. Plane - Strain Slip-Line Fields. Edward Arnold Publishers. London, 1970.
22. Šofman L.A. Teorija i rasčeti processov holodnoj štamповki. Mašinstroenije. Moskva, 1964.
23. Tomljenov A.D. Teorija plastičeskogo deformirovanija metallov. Metallurgija. Moskva, 1972.
24. Rowe G.W. Introduction to the Principles of Metalworking. Edward Arnold Publishers. London, 1968.
25. Čudakov P.D. Fizičeskij i energetičeskij smisl ekstremalnih principov v teoriji plastičnosti i vozmožnost ih ispoljzovanija. Mašgiz. Moskva, 1963.
26. Aljušin J.A., Elenev S.A. Primenenije energetičeskogo metoda dlja rasčeta processov plastičeskogo formoizmenenija metallov. Nauka. Moskva, 1965.
27. Musafia B. Ekstremalni principi i radni naponi procesa. Zbornik radova Katedre za proizvodnu tehniku i Zavoda za alatne mašine Mašinskog fakulteta u Sarajevu br. 1/1972.
28. Brovman M.J. Primenenije teoriji plastičnosti v prokatke. Metallurgija. Moskva, 1965.
29. Johnson W., Kudo H. The Mechanics of Metal Extrusion. Manchester University Press, 1961.
30. Thomsen E.G., Yang C.T., Kobayashi S. Mechanics of Plastic Deformation in Metal Processing. The Macmillan Company. New York, 1965.

31. Musafia B. Dva metoda pristupa kod istraživanja maksimalno mogućeg preoblikovanja. Zbornik radova Katedre za proizvodnu tehniku i Zavoda za alatne mašine Mašinskog fakulteta u Sarajevu br. 1/1970.

#### Zusammenfassung

B. Musafia

#### DIE EXTREMALPRINZIPEN DER PLASTIZITÄTSTHEORIE BEI DER FORMGEBUNG IM BILDSAMEN ZUSTANDE

Das kinematische Extremalprinzip der zeitgemassen Bildsamkeitstheorie basiert auf minimaler Eigenschaft des wirklichen Geschwindigkeitsfeldes.

Unter Anwendungsbedingungen auf technologische Prozesse bedeutet dieses Prinzip, dass der wirkliche Arbeitsdruck immer niedriger ist als derselbe, der auf Grund von kinematisch-möglichem Geschwindigkeitsfeld erhalten ist.

Durch das System der graphischen Elimination wird das günstigste kinematisch-mögliche Geschwindigkeitsfeld gewählt, welches dann der analytischer Analyse unterworfen wird. Für dieses Feld wird (minimaler) Extremwert des Arbeitsdruckes in der Funktion von einem Parameter gesucht (z. B. Winkel des kinematischen Feldes). Durch Variation übriger Parameter (z.B. des Verformungsgrades, des Auszieh winkels usw.) werden die günstigsten funktionalen Abhängigkeiten der Arbeitsspannung von den Prozessparameter gewonnen.

Der Vorteil der beschriebenen Methode liegt darin, dass man auch die komplexen technologischen Prozesse, mit einer Genauigkeit die Bedingungen der technischen Praxis erfüllt, durch einen relativ-einfachen mathematischen Apparat analysieren kann.



## IX. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, Niš, 1974.

B. Devedžić \*)

### PROBLEMATIKA GRANIČNE DEFORMABILNOSTI SLOŽENIH OTPRESAKA OD LIMA I NJENI SAVREMENI TEORIJSKO-EKSPERIMENTALNI ASPEKTI \*\*)

#### 1. Uvod

Ključni problem pri industrijskom serijskom oblikovanju lima dubokim izvlačenjem i drugim vidovima obrade deformacijom jeste ostvarenje uslova da se ono obavi uspešno (što, pre svega, znači bez pojave razaranja materijala na kritičnim mestima, mada se u širem smislu može govoriti i o drugim defektima), uz istovremeno zadovoljenje osnovnih zahteva ekonomičnosti i uopšte racionalnosti proizvodnje. Nesumnjivo je da mogućnost uspešnog rešavanja ovog problema zavisi u najvećoj meri od sposobnosti materijala da se deformiše u dovoljnom iznosu na odgovarajući način tj. od njegove deformabilnosti. Međutim, poznato je da maksimalni (granični) iznos ove deformabilnosti nije funkcija samo svojstava materijala, već na njega takođe bitno utiče naponsko-deformaciono stanje na kritičnom mestu dela koji se oblikuje. Sa druge strane, ovo stanje je uslovljeno nizom činilaca kao što su: uslovi trenja (obim i način podmazivanja, vrsta maziva, stanje kontaktnih površina i sl.), geometrijske karakteristike alata, brzina deformisanja, veličina i raspored sile na držaču lima, veličina i oblik dela (kao i razvijene ploče), debljina lima i njena ujednačenost, itd. Ovo istovremeno znači da na mogućnost uspešne industrijske obrade lima (obradivost - u širem smislu) znatno utiču specifični i često veoma kolebljivi proizvodni uslovi, tako da se pojam obradivosti materijala i njeni kvantitativni pokazatelji moraju obazrivo tumačiti, respektujući neizbežnu uslovnost ma kakve donešene ocene.

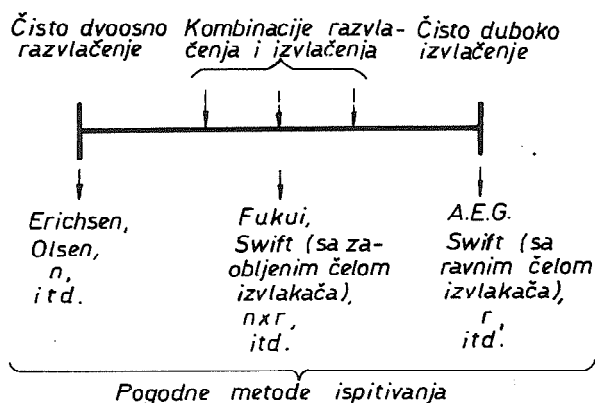
U praktičnoj primeni su brojne metode, odnosno postupci, laboratorijskih ispitivanja tehnoloških kvaliteta limova. Tu spadaju, kako različite simulativne metode (tehno-

\*) Dr Branišlav Devedžić, dipl.ing., vanr.prof. Mašinskog fakulteta u Kragujevcu.

\*\*) Referat iz Kabineta, odnosno Laboratorije, za obradu metala deformacijom i mašinske materijale Mašinskog fakulteta u Kragujevcu.

loška ispitivanja), tako i one koje su zasnovane na ispitivanju fundamentalnih mehaničkih ili drugih (hemijskih, metalografskih, ...) karakteristika materijala [1]. Međutim, uprkos činjenici da su ova ispitivanja danas još uvek u najširoj industrijskoj primeni, treba skrenuti pažnju na niz njihovih nedostataka, odnosno ograničeni značaj.

Ukoliko je reč o simulativnim metodama, mora se imati u vidu da su one, strogo posmatrano, samo u izvesnoj meri simulativne. Naime, stvarni deformacioni procesi i odnosi se pri obradi i ispitivanju međusobno primetno razlikuju u najvećem broju slučajeva. Pre svega, pri ispitivanju se vrši, skoro uvek, simetrično deformisanje standardnog opitnog tela, što je pri industrijskoj obradi relativno retko. Štaviše, kada ovo i ne bi bio problem (kao što je slučaj pri izradi osno-simetričnih i drugih geometrijski pravilnih delova), postojale bi, na primer, razlike u pogledu međusobnog udela elementarnih vidova oblikovanja: razvlačenjem (dvoosnim), čistim dubokim izvlačenjem, savijanjem i dr. Oni u opštem slučaju (kod delova različitih oblika) mogu da budu međusobno tako kombinovani da čine beskonačan spektar kombinacija (sl. 1), što nije moguće ostvariti u laboratorijskim uslovima, bez obzira na relativnu



Sl. 1. Šema mogućih kombinacija elementarnih vidova oblikovanja kod kompleksnih delova od lima, sa naznakom nekih poznatijih postupaka ispitivanja koji najpribližnije odgovaraju pojedinim slučajevima

brojnost i raznolikost pojedinih metoda ispitivanja (broj varijanti koje one omogućavaju ipak je neznan u odnosu na slučajeve koji se mogu pojaviti u praksi).

Osim toga, postojeći dimenzijski i geometrijski odnosi normalno ne obezbeđuju ekvivalentno modeliranje industrijskog deformisanja u laboratorijskim uslovima u okviru pomenutih tehnoloških opita. Ovo nije sasvim moguće čak ni kada su radni predmeti i opitno telo međusobno geometrijski slični, s obzirom da je debljina lima u oba slučaja ista i da se stoga njen odnos prema ostalim geometrijskim parametrima (poluprečnici zaobljenja i dr.) takodje menja. Ovim uzrocima nedovoljne simulativnosti treba dodati i ostale, kao što su razlike u: podmazivanju, brzinama, i dr.

Prema tome, rezultati dobijeni ovim ispitivanjima mogu biti samo grubi indikatori stvarne obradivosti materijala u proizvodnim uslovima. Ovo je, nesumnjivo, izraženo u još većoj meri pri korišćenju pokazatelja koji se dobijaju standardnim laboratorijskim ispitivanjem mehaničkih svojstava materijala. Iskustvena ograničenja koja se u tom pogledu propisuju (standardima ili drugim propisima) za: granicu razvlačenja (tečenja), zateznu čvrstoću, izduženje i sl., mogu sa još manje pouzdanosti nego tehnološki pokazatelji (Erichsen i dr.) ukazati na objektivne mogućnosti materijala pri njegovoj obradi. Pa ipak, ove se karakteristike u industriji već decenijama obavezno koriste, s obzirom da su one opšte poznate, jednostavne za iznalaženje i da se bez njih, zapravo, i ne može doneti opštiji zaključak o materijalu (i to ne samo u tehnološkom smislu). Otuda se one i svrstavaju u fundamentalne karakteristike. To istovremeno znači da se pri njihovom korišćenju prvenstveno postavlja problem pouzdanijeg utvrđivanja graničnih iznosa u pojedinim slučajevima.

## 2. Savremena stanovišta i mogućnosti

### 2.1. Kratak osvrt na neke složenije oblike tehnoloških pokazatelja i korelacione odnose

Svojevremeno je još prof. H. W. Swift pisao: "... opšte je poznato da su oblici otpresaka <sup>\*)</sup> i uslovi njihovog oblikovanja tako varijabilni da je nemoguće da ma koja prosta kombinacija svojstava materijala bude uzeta kao zadovoljavajući pokazatelj obradivosti za sve slučajeve. Pod tim okolnostima nije ni moguće da jedan jedinstveni postupak ispitivanja meritorno i generalno zastupi čitavu oblast obrade lima deformacijom".

<sup>\*)</sup> U daljem će se pod otprescima pretežno podrazumevati delovi od lima koji su složenog i geometrijski nepravilnog oblika, kao i nešto većih dimenzija.



U novije vreme bilo je dosta pokušaja da se između većeg broja mehaničkih i tehnoloških karakteristika ustanove one koje su u najvećoj korelaciji sa proizvodnim rezultatima. Pri tome se najčešće koristi koeficijent korelacije kao pokazatelj ovih odnosa. Ipak, ocena tehnoloških svojstava materijala na osnovu samo jedne karakteristike, čak i onda kada ona pokazuje veći koeficijent korelacije nego ostale, ne može se prihvatiti kao dovoljan (o čemu, uostalom, govori i prednji citat). Zbog toga je bilo različitih pokušaja da se pogodnom kombinacijom većeg broja ovih karakteristika dođe do pouzdanijeg pokazatelja proizvodnih performansi. Na primer, predlagan je, pored ostalih, i pokazatelj u obliku

$$P = \frac{\bar{\sigma}_m}{\bar{\sigma}_{vmin}} \bar{\sigma} \cdot r$$

gde su:  $\bar{\sigma}_m$  - zatezna čvrstoća;  $\bar{\sigma}_{vmin}$  napon koji odgovara minimalnoj plastičnoj deformaciji na otpresku u kritičnom trenutku oblikovanja (ako je ta deformacija jednaka nuli, onda će ovaj napon biti jednak granici razvlačenja);  $\bar{\sigma}$  - najveće ravnomerno izduženje;  $r$  - koeficijent normalne anizotropije materijala.

Međutim, ovakav oblik pokazatelja polazi od pretpostavke da će na obradivost podjednak uticaj imati promene na kog člana izraza. To očigledno uslovljava i dalje samo grubu aproksimaciju stvarnih odnosa. Kao potvrda ovoga mogu poslužiti koeficijenti korelacije između procenta neispravnih karoserijskih otpresaka i odnosa  $\bar{\sigma}_{Q2} / \bar{\sigma}_m$ , odnosno koeficijenta normalne anizotropije  $r$ , koje je autor dobio u okviru jednog istraživanja. U prvom slučaju koeficijent korelacije je bio + 0,797, a u drugom - 0,478, što nedvosmisleno govori o većem uticaju prve karakteristike na industrijsku obradivost u datim uslovima. Pa ipak, korišćenje ovakvih pokazatelja ima znatne prednosti u odnosu na klasične (prema kojima svaka karakteristika posebno treba da pruži podatak o obradivosti, nezavisno od ostalih).

Slični zaključci se mogu izvesti i za druge vidove složenih pokazatelja (na primer,  $P = n \cdot r$ , gde je  $n$  - eksponent deformacionog ojačanja materijala).

Da bi se ovaj nedostatak izbegao, autor je svojevremeno predložio model kompleksnog laboratorijskog pokazatelja proizvodnih performansi lima [1], formiranog na osnovu teorije višestruke korelacije, koji omogućuje da se ponašanje lima u proizvodnji predvidi sa najvećom mogućom verovatnoćom (svakako većom nego što je to moguće korišćenjem klasičnih pokazatelja).

Treba, međutim, reći da sve metode koje se zasnivaju na statističkim analizama i pokazateljima imaju zajednički nedostatak u tome što zahtevaju relativno dugo vreme praćenja, registrovanja i obrade podataka. Istina, dobijeni rezultati onda imaju širi značaj i ne moraju stalno biti ponovo iznalaženi (već samo povremeno eventualno kontrolisani i korigovani), ali u početnom periodu proizvodnje (dok se potrebnim proizvodnim podacima još ne raspolože) ove metode nisu primenjive.

## 2.2. Novije mogućnosti analize naponsko-deformacionih stanja u otprescima korišćenjem grafometrijske metode

Nedavno je u jednom poznatom časopisu [8] izražena, pored ostalog, sledeća konstatacija: "Obrada lima deformacijom se nalazi u stanju prelaska od iskustvene veštine u nauku. Kao posledica toga, pouzdani broječani i grafički pokazatelji sve više zamenjuju paušalne ocene i nagadjanja". Nesumnjivo je da ona verno održava današnju situaciju na ovom području.

U slučajevima složenih i geometrijski nepravilnih otpresaka (koji su i najčešći i na koje se troše daleko najveće količine lima) ne postoji generalna metodologija koja bi čisto analitičkim postupkom mogla da pruži opštu sliku naponsko-deformacionih stanja, niti da omogući izračunavanje potrebne deformacione sile i rada. U sadašnjim industrijskim okolnostima, međutim, problem se može suziti, jer problem iznalaženja optimalne sile obično i nije izražen u naročito velikoj meri, s obzirom da jedna presa najčešće pokriva šire područje različitih delova i oblika, uključujući i neophodnu rezervu<sup>\*)</sup>. Stoga se kao ograničavajući faktor pri obradi lima normalno može smatrati njegova granična (maksimalna) deformabilnost.

Zbog mnoštva napred navedenih varijabli koje na deformabilnost direktno ili indirektno utiču, nameće se samo po sebi pitanje: koju, ili koje, od njih prvenstveno izmeniti da bi se najefikasnije popravila deformabilnost. Da bi se na njega odgovorilo, neophodno je izvršiti detaljnu i svestranu analizu odnosa, kao i definisati metodologiju koja će omogućiti da se izrazi, kako priroda, tako i stepen uticaja svakog od relevantnih parametara.

<sup>\*)</sup> Ovaj stav treba, svakako, primiti uslovno, jer problematika iznalaženja sile potrebne za oblikovanje, već po svojoj prirodi, ne može biti nevažna. Međutim, sa stanovišta današnjih mogućnosti, potreba i objektivnih industrijskih okolnosti, ona ipak nije primarna (što ne znači da jednog dana to neće biti).

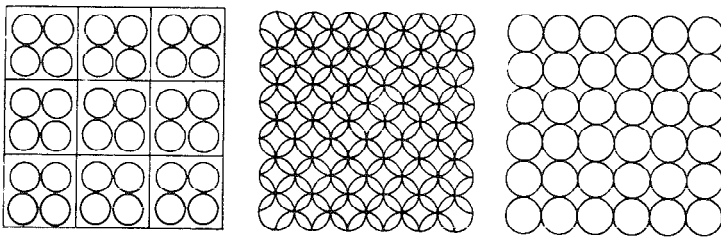
Najopštije rasudjivanje dovodi do zaključka da se pri tome kao polazište mogu formulisati sledeća dva osnovna problema:

a) u kojoj su meri stvarne maksimalne deformacije na kritičnom mestu otpreska i u kritičnom trenutku oblikovanja bliske graničnim vrednostima posle kojih nastupa razaranje materijala;

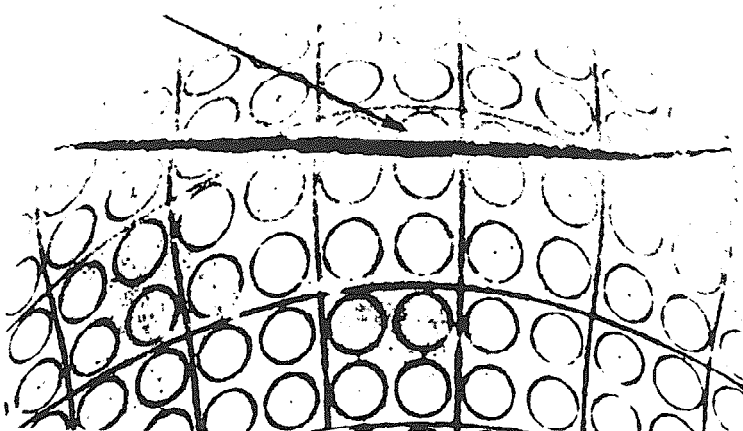
b) kako se vrši plastično tečenje materijala po otpresku - podrazumevajući položaje i pravce zona najintenzivnijeg deformisanja, kao i distribuciju deformacija po otpresku (a naročito u kritičnoj zoni i njenoj okolini).

Rešenje prvog problema treba da omogući uvid u stepen kritičnosti otpreska, s obzirom na mogućnost da se eventualno pri normalnim poremećajima proizvodnih uslova prekorači granica deformabilnosti i materijal razori, a drugog da stvori pouzdan putokaz za eventualnu smišljenu korekciju alata, sile držanja, podmazivanja i dr., radi ostvarenja povoljnijeg rasporeda deformacija, tj. izbegavanja njihove opasne koncentracije na pojedinim mestima.

Teškoće u vezi sa definisanjem naponsko-deformacionog stanja na različitim mestima složenih i geometrijski nepravilnih otpresaka rešene su dobrim delom primenom eksperimentalnog grafometrijskog postupka. On se zasniva na prethodnom nanošenju na lim tankih linija u obliku tzv. merne mreže (najčešće primenom elektrohemijskog postupka nanošenja) i određivanju stepena deformacije njenih elemenata posle oblikovanja. Obično je najpogodnije da se ova mreža sastoji iz malih krugova (sl. 2), koji posle deformisanja prelaze u elipse (sl. 3). Posebna pogodnost ovakvog oblika je u tome što duža i kraća osa elipse padaju u pravce glavnih deformacija, tako da se u razmatranje mogu uključiti samo linijske deformacije, a ne i ugaone (što bi bio slučaj, na primer, kada bi mreža bila kvadratna).



Sl. 2. Različiti oblici merne mreže koja se nanosi na lim



Sl. 3. Izgled merne mreže u okolini mesta razaranja jednog otpreska (krugovi deformisani u elipse)

Sa stanovišta granične deformabilnosti lima, odnosno opasnosti od njegovog razaranja, od posebnog je značaja da se na ovaj način ispita kritična zona otpreska, tj. ona u kojoj se razaranje materijala najpre može očekivati. Ova zona je, najčešće iskustveno već poznata, a ako to nije slučaj, ona se može posebno ustanoviti takodje pomoću merne mreže - njenim nanošenjem na veću površinu i vizuelnom ocenom položaja i pravaca najvećih deformacija. Treba primetiti da se u najvećem broju slučajeva razaranja događa u onim delovima otpreska gde su svi glavni naponi pozitivni (zatežujući).

Ako su najveći i najmanji prečnik (osa) elipse  $d_1$  i  $d_2$ , a početni prečnik kruga - elementa merne mreže  $d_0$ , biće logaritamske deformacije na tim mestima:

$$\mathcal{E}_1 = \ln \frac{d_1}{d_0} \quad ; \quad \mathcal{E}_2 = \ln \frac{d_2}{d_0}$$

Napomena: ponekad se umesto logaritamskih deformacija koriste relativne tehničke deformacije

$$\mathcal{D}_1 = \frac{d_1 - d_0}{d_0} 100\% \quad ; \quad \mathcal{D}_2 = \frac{d_2 - d_0}{d_0} 100\%$$

što, međutim, ne treba uvek smatrati pogodnim.

U najvećem broju slučajeva može se naponsko stanje u kritičnim zonama smatrati ravanskim, tako da se u razmatranje mogu uključiti samo glavni normalni naponi  $\bar{\sigma}_1$  i  $\bar{\sigma}_2$  ( $\bar{\sigma}_1 \geq \bar{\sigma}_2$ ), dok je treći - u pravcu debljine lima jednak nuli  $\bar{\sigma}_3 = 0$ , ili  $\bar{\sigma}_3 \approx 0$ ).

Ukoliko se učini i pretpostavka da je naprezanje u posmatranoj zoni prosto (proporcionalno)\*), onda se mogu uspostaviti dalje navedeni odnosi.

Poznato je da se u teoriji plastičnog tečenja koristi hipoteza o sličnosti i koaksijalnosti devijatora napona ( $D_\sigma$ ) i devijatora deformacije ( $D_\epsilon$ ):

$$D_\epsilon = \frac{\psi}{2G} D_\sigma$$

gde su:  $\psi$  i  $G$  odgovarajući koeficijenti proporcionalnosti.

Napomena: u opštem slučaju, ovde bi trebalo uvrstiti devijator priraštaja plastičnih deformacija  $D_{d\epsilon^p}$  umesto  $D_\epsilon$ , ali s obzirom na učinjene pretpostavke, može se koristiti i prednji odnos.

U razvijenom stanju bilo bi:

$$\epsilon_x - \bar{\epsilon} = \frac{\psi}{2G} (\bar{\sigma}_x - \bar{\sigma})$$

$$\epsilon_y - \bar{\epsilon} = \frac{\psi}{2G} (\bar{\sigma}_y - \bar{\sigma})$$

$$\epsilon_z - \bar{\epsilon} = \frac{\psi}{2G} (\bar{\sigma}_z - \bar{\sigma})$$

---

\*) Pod prostim, ili proporcionalnim, naprezanjem podrazumeva se slučaj kada se za čitavo vreme procesa deformisanja spoljne sile, koje deluju na posmatrani element, menjaju proporcionalno jednom opštem parametru. Osim toga, pri ovakvom naprezanju poklapaju se u toku procesa glavne ose napona i deformacija, a njihovi pravci se ne menjaju. Takođe se ne menja ni odnos glavnih napona  $m = \bar{\sigma}_2 / \bar{\sigma}_1$ . U slučaju odstupanja od ovih pretpostavki (uslova), može se čitav proces podeliti u više faza, u okviru kojih se naprezanje može približno smatrati proporcionalnim.

$$\gamma_{xy} = -\frac{\psi}{G} \tau_{xy}$$

$$\gamma_{yz} = -\frac{\psi}{G} \tau_{yz}$$

$$\gamma_{zx} = -\frac{\psi}{G} \tau_{zx}$$

gde su:  $\bar{\epsilon}$  i  $\bar{\sigma}$  - srednja deformacija, odn. napon,  $\tau$  - smičući napon, a indeksi x, y, i z se odnose na ose pravouglog koordinatnog sistema.

Ako se ove jednačine napišu za glavne ose (1, 2, 3) biće (pri  $\tau = 0$ ):

$$\frac{\epsilon_1}{\sigma_1'} = \frac{\epsilon_2}{\sigma_2'} = \frac{\epsilon_3}{\sigma_3'} = \frac{\psi}{2G} = \frac{3}{2} \frac{\epsilon_i}{\sigma_i}$$

jer se može pokazati da je veza između uopštenih napona ( $\bar{\sigma}_i$ ) i uopštenih deformacija ( $\epsilon_i$ ) data preko tzv. modula plastičnosti ( $E'$ ) u obliku

$$\bar{\sigma}_i = E' \epsilon_i = 3 \frac{G}{\psi} \epsilon_i$$

U gornjem izrazu  $\sigma_1', \sigma_2', \sigma_3'$  su komponente devijatora napona ( $\bar{\sigma}_i = \sigma_i - \bar{\sigma}$ , itd.).

Pogodno je uvesti i oznaku koja na posmatranom mestu karakteriše naponsko stanje:

$$m = \frac{\bar{\sigma}_2}{\bar{\sigma}_1} \quad (\text{što znači da je } 0 \leq m \leq 1).$$

Zbog  $\bar{\sigma}_3 = 0$  biće

$$\epsilon_2 = \frac{\bar{\sigma}_2'}{\sigma_1'} \epsilon_1 = \frac{2m-1}{2-m} \epsilon_1 \quad \text{odnosno}$$

$$m = \frac{2\epsilon_2 + \epsilon_1}{2\epsilon_1 + \epsilon_2}$$

što znači da se pokazatelj naponskog stanja može odrediti eksperimentalno na taj način što će se merenjem duže i kraće ose nastale elipse ustanoviti glavne deformacije u ravni lima  $\epsilon_1$  i  $\epsilon_2$ .

Ako se u izraz za uopštenu deformaciju  $\epsilon_i$  (koja se još naziva i: ekvivalentna, efektivna, uporedna, intenzitet deformacije) uvede zamena za  $\epsilon_3$  na osnovu uslova o nepromenljivosti zapremine ( $\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0$ ) dobija se

$$\varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_1 \varepsilon_2 + \varepsilon_2^2} = \frac{2 \sqrt{1-m+m^2}}{2-m} \varepsilon_1$$

a za uopšteni napon se sličnom zamenom dobija:

$$\sigma_i = \sqrt{1-m+m^2} \sigma_1$$

Iz prednjeg proizilaze sledeći izrazi za pojedine glavne deformacije:

$$\varepsilon_1 = \frac{2-m}{2\sqrt{1-m+m^2}} \varepsilon_i = \psi_1(m) \varepsilon_i$$

$$\varepsilon_2 = \frac{2m-1}{2\sqrt{1-m+m^2}} \varepsilon_i = \psi_2(m) \varepsilon_i$$

$$-\varepsilon_3 = \frac{m+1}{2\sqrt{1-m+m^2}} \varepsilon_i = \psi_3(m) \varepsilon_i$$

Tomlenov je pokazao [2] da je iznos kritične (maksimalne moguće) ravnomerne uopštene deformacije

$$\varepsilon_{ik} = \frac{2\sqrt{1-m+m^2}}{2-m} n$$

gde je  $n$  - eksponent hladnog deformacionog ojačanja (u jednačini  $\sigma_i = C\varepsilon_i^n$ ).

Kada se ovaj izraz uvede u prednje tri jednačine za glavne deformacije dobijaju se njihovi kritični iznosi ( $\varepsilon_k$ ):

$$\varepsilon_{1k} = n$$

$$\varepsilon_{2k} = \frac{2m-1}{2-m} n$$

$$-\varepsilon_{3k} = \frac{m+1}{2-m} n$$

što znači da kritične veličine glavnih deformacija  $\varepsilon_{2k}$  i  $\varepsilon_{3k}$  zavise od naponskog stanja, tj. odnosa  $m$ .

Navedeni odnosi važe za posmatrani element lima koji se nalazi na dovoljnom rastojanju od ivice matrice. Ako to nije slučaj, onda se uslovi deformisanja elemenata

bitno menjaју, jer lim tada postepeno izlazi ispod držača lima i prelazi preko ivice matrice. Pri tome se može smatrati da se širina posmatranog elementa ne menja (što se nije moglo smatrati u prvom slučaju). Na analogan način dobija se da je tada:

$$\varepsilon_{IK} = \frac{2\sqrt{1-m+m^2}}{m+1} n$$

$$\varepsilon_{IK} = \frac{2-m}{m+1} n$$

$$\varepsilon_{2K} = \frac{2m-1}{m+1} n$$

$$-\varepsilon_{3K} = n$$

Da li će u nekom određenom slučaju biti merodavne ove jednačine ili prethodne zavisi od toga gde se nalazi kritična zona dela. Naime, kritičan trenutak procesa nastupa ako je ispunjen ma koji od navedenih uslova.

Da bi se dobio podatak o obradivosti materijala namenjenog izradi jednog određenog otpreska, odnosno da bi se kvantitativno izrazilo u kojoj meri je stvarna deformacija na posmatranom mestu bliska kritičnoj (graničnoj), često se koristi tzv. koeficijent iskorišćenja plastičnosti. Njime se, zapravo, na jednostavan način vrši upoređenje stvarne i kritične uopštene deformacije:

$$\eta = \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{IK}} \leq 1$$

Ako je vrednost ovog koeficijenta bliska jedinici, onda je opasnost od razaranja materijala veća nego ako je ta vrednost znatno ispod jedinice. Moguće je poći i obrnutim putem, tj. zadati unapred iznos koeficijenta  $\eta$  (na primer,  $\eta \leq 0,9$ ) i zatim odrediti svojstva koja mora imati materijal da bi se ovaj zadati uslov ispunio. Naime, biće

$$\varepsilon_{IK} = \frac{\varepsilon_i}{\eta}$$

a kako je

$$n = \frac{2-m}{2\sqrt{1-m+m^2}} \varepsilon_{IK}$$

dobija se



$$n = \frac{2 - m}{2\sqrt{1 - m + m^2}} \frac{\epsilon_i}{\eta} = \frac{\epsilon_1}{\eta}$$

Sa druge strane, najveća ravnomerna deformacija pri jednoosnom zatezanju biće

$$\epsilon_K = \ln(1 + \delta_K) = n$$

$$\delta_K = \exp n - 1$$

gde je

$$\delta_K = \frac{l_K - l_0}{l_0}$$

( $l_0$  - početna merna dužina epruvete, a  $l_K$  - merna dužina u momentu početka lokalizovanja deformacije).

Dalje, odnos između kritičnih vrednosti stvarnog ( $\bar{\sigma}_K$ ) i nominalnog ( $\bar{\sigma}_m$ ) zatežućeg napona (ovaj zadnji je zapravo zatezna čvrstoća) je:

$$\bar{\sigma}_m = \frac{\bar{\sigma}_K}{1 + \delta_K} = \frac{\bar{\sigma}_K}{\exp n} = \frac{\bar{\sigma}_K}{e^n} \quad (e - \text{osnova prirodnog logaritma} \approx 2,72).$$

Pri ovome je u pitanju jednoosno naponsko stanje pa je  $\bar{\sigma}_K = \bar{\sigma}_{1K}$ , što znači da se odnos između uopštenog napona i uopštene deformacije može primeniti na ovaj slučaj u obliku:  $\bar{\sigma}_1 = C \epsilon_1^n$  a u kritičnom trenutku

$$\bar{\sigma}_K = C \epsilon_K^n$$

Zato zatezna čvrstoća materijala mora zadovoljiti odnos:

$$\bar{\sigma}_m = C \frac{\epsilon_K^n}{e^n} = C \frac{n^n}{e^n} = C \left(\frac{n}{e}\right)^n$$

Konstanta C se određuje eksperimentalno iz:

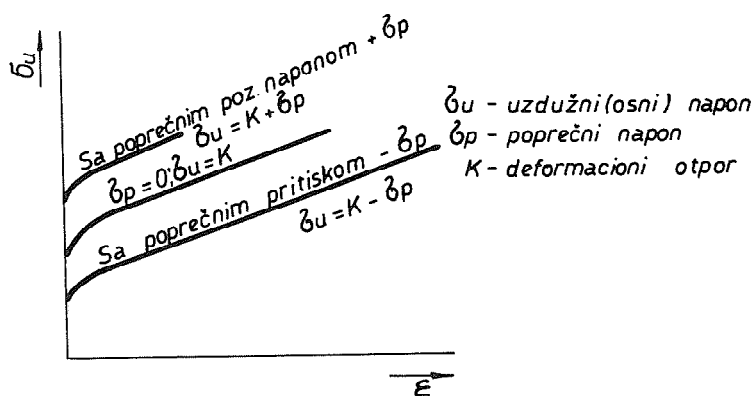
$$C = \frac{\bar{\sigma}_K}{\epsilon_K^n}$$

Prema tome, materijal treba da zadovolji ove uslove (za  $\bar{\sigma}_m$  i  $\delta_K$ ) da bi uz pretpostavljeni koeficijent iskorišćenja plastičnosti mogao da se obradjuje.

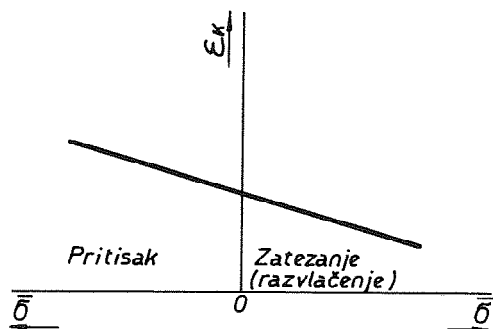
### 2.2.1. Osvrt na neke opšte kriterijume granične deformabilnosti materijala

Iz izloženog se već može zaključiti da je problem jednoznačnog definisanja kriterijuma za graničnu deformabilnost u opštem slučaju jako složen. Iz toga, takodje, postaje jasnije zašto se praktični pokazatelji plastičnosti metala, dobijeni običnim ispitivanjem zatezanjem, ne mogu bezrezervno koristiti za različite slučajeve, a naročito ne za one kod kojih naponsko stanje bitno odstupa od jednoosnog. Treba napomenuti da su ovi problemi još uvek predmet svestranih teorijskih i eksperimentalnih razmatranja, a dobijeni rezultati, odnosno pokazatelji, često imaju različite oblike i namene. Nastojanja da se u tom smislu daju sasvim generalna rešenja nisu do sada u potpunosti uspjela. Ipak, neke opšte postavke, rezultati i preporuke zaslužuju punu pažnju.

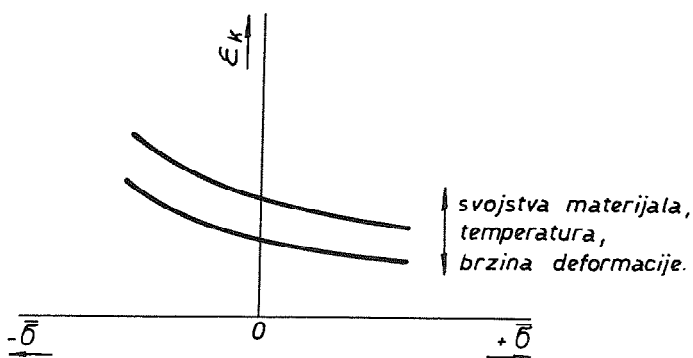
Opštu sliku uticaja šeme naponskog stanja na graničnu deformabilnost dao je svojevremeno još Siebel [4] izražavajući uticaj poprečnog napona na veličinu potrebnog uzdužnog napona i veličinu deformacije koja se može ostvariti do razaranja materijala (sl. 4). Na osnovu ovih rezultata Siebel je zaključio da bi kao izvestan pokazatelj granične deformabilnosti mogao poslužiti srednji normalni napon (sl. 5), a Fröbin [5] je ovo još proširio time što je u razmatranje uključio i uticaj svojstava materijala, temperature i brzine deformacije (sl. 6).



Sl. 4. Uticaj poprečnog naprezanja na deformabilnost materijala



Sl. 5. Šema zavisnosti granične (maksimalne moguće) deformacije od srednjeg normalnog napona



Sl. 6. Šema zavisnosti granične deformabilnosti od srednjeg normalnog napona i drugih uticajnih činilaca

Neki autori (Smirnov, Stenger, ...) su, analizirajući ovaj problem, predložili uvođenje tzv. "faktora krutosti" šeme naponsko - deformacionog stanja (odnosno "faktora mekoće" ove šeme - što je jedno drugom ekvivalentno u obrnutom odnosu). Naime, ukoliko je ovaj "faktor krutosti" veći, može se smatrati da će do razaranja materijala doći pre nego kada je njegova vrednost manja (pri čemu se, naravno, podrazumeva isti materijal).

"Koefficient krutosti" n.d. šeme je predložen u vidu [ 3 ] :

$$k = \frac{\bar{\sigma}_o}{\bar{\tau}_o} = \frac{\bar{\sigma}}{\bar{\tau}}$$

gde su  $\bar{\sigma}_o$  i  $\bar{\tau}_o$  oktaedarski normalni i tangencijalni naponi, tj.

$$\bar{\sigma}_o = \frac{\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2 + \bar{\sigma}_3}{3}; \quad \bar{\tau}_o = \frac{\sqrt{2}}{3} \bar{\sigma}_i$$

Da bi se izraz za  $k$  uprostito time što će se izbeći brojačni koeficijent  $\frac{\sqrt{2}}{2}$  obično se koristi ovaj pokazatelj u nešto izmenjenom vidu:

$$P = \sqrt{2}k = \frac{\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2 + \bar{\sigma}_3}{\bar{\sigma}_i}$$

Na sličan način se definiše i tzv. relativni srednji napon [ 5 ]:

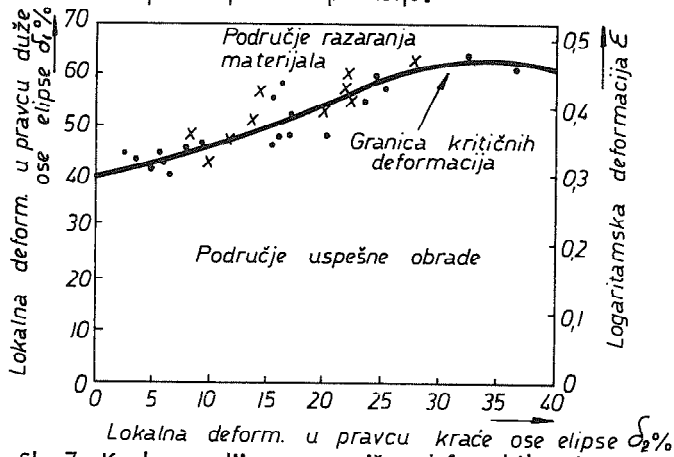
$$\frac{\bar{\sigma}}{\bar{\sigma}_i} = \frac{\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2 + \bar{\sigma}_3}{3\bar{\sigma}_i}$$

Ovi izrazi pokazuju da će, ukoliko u naponskoj šemi više preovladavaju naponi pritiska, njihovi brojitelji biti manji u algebarskom smislu (ili čak i negativni), pa će i vrednost za  $P$ , odn.  $\bar{\sigma}_m/\bar{\sigma}_i$  biti manja. To istovremeno znači da će se moći ostvariti veći stepeni deformacije pre razaranja. Radi ilustracije, navodi se da će, na primer, pri jednoosnom zatezanju biti  $P = 1$ , a pri dvoosnom  $P = 2$ . Međutim, pokazaće se u daljem da se ove opšte zakonitosti i zaključci ne mogu bezrezervno preneti na sve slučajeve deformisanja, a pogotovo ne na slučajeve oblikovanja lima. Naime, novija teorijska i eksperimentalna proučavanja [ 9, 10 ] su pokazala da oni važe samo kada se kao ograničenje deformisanju uzme tzv. spontano razaranje (lom), tj. razaranje koje nastupa odmah po pojavi nestabilnosti deformacije. Ali kod dvoosnog naponskog stanja, sa oba zatežuća napona, razaranju prethodi i tzv. difuzna (plastična) nestabilnost (koja se kod otpresaka može dopustiti bez štetnih posledica). Ona, zavisno od naponske šeme, može dovesti do primetnog povećanja deformacije koja se može ostvariti do razaranja. Stoga gornji kriterijumi, koji ovu okolnost ne uzimaju u obzir, u ovim slučajevima ne mogu važiti (prema njima bi proizašlo da bi se lim pri jednoosnom zatezanju mogao deformisati do većih iznosa nego pri dvoosnom zatezanju, jer je srednji normalni napon u prvom slučaju manji, ali to nikako ne odgovara stvarnom ponašanju materijala - koje je upravo obrnuto).

### 2.2.2. Keeler-ov dijagram granične deformabilnosti otpresaka

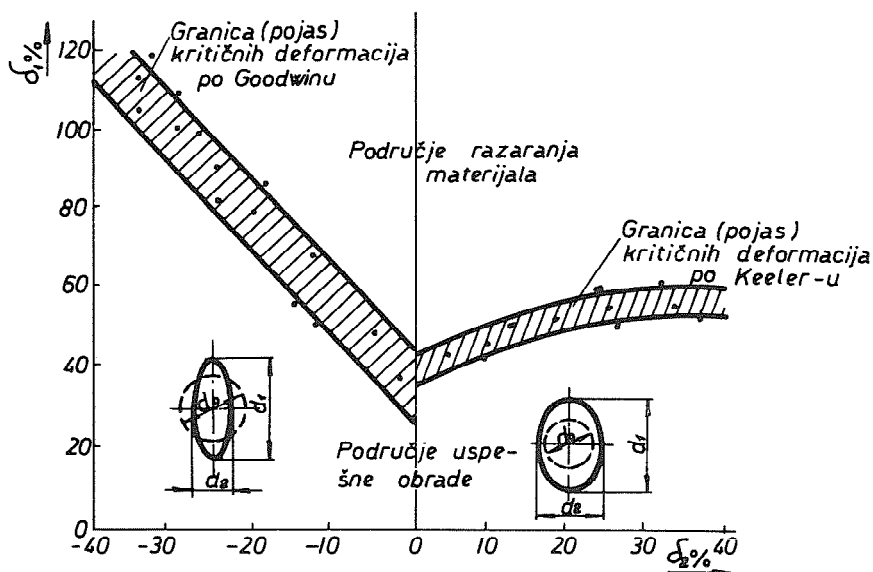
Iz izloženog proizilazi da se sa uvođenjem u naponski sistem napona  $\bar{\sigma}_2$  i njegovim relativnim povećanjem u odnosu na  $\bar{\sigma}_1$  (što znači i povećanjem deformacije  $\mathcal{E}_2$  u odnosu na  $\mathcal{E}_1$ ) povećava stabilnost procesa, a time i granična deformabilnost.

Znatno širi i jasniji uvid u problem granične deformabilnosti lima ostvario je Stuart P. Keeler [6] 1965. godine formirajući empirijski dijagram (sl. 7), koji je kasnije dobio i svoju teorijsku interpretaciju.



Sl. 7. Keeler-ov dijagram granične deformabilnosti

Na ovom dijagramu su na ordinati nanešene maksimalne deformacije (mada su u prvobitnoj verziji one bile izražene kao procentualne, ipak je bolje koristiti njihove logaritamske oblike), koje se pojavljuju na kritičnom mestu dela ( $\mathcal{E}_{1K}$ ), a na apscisu odgovarajuće deformacije u poprečnom pravcu ( $\mathcal{E}_2$ ), tj. normalne na prethodne. Vrednosti za obe ove deformacije dobijaju se eksperimentalno - merenjem duže i kraće ose elipse merne mreže, koja je prethodno bila nanešena na površinu lima. Kasnije je Gorton Goodwin proširio ovaj dijagram i na negativnu oblast (gde su poprečne deformacije  $\mathcal{E}_2$  negativne, tj. dolazi do sužavanja elipse u odnosu na prvobitni prečnik kruga merne mreže (sl. 8)). Medjutim, ovi odnosi za koje je karakteristična pojava negativnih napona  $\bar{\sigma}_2$  ovde su od manjeg interesa, s obzirom da razaranja materijala na tim mestima i ne treba očekivati kod uobičajenih otpresaka.



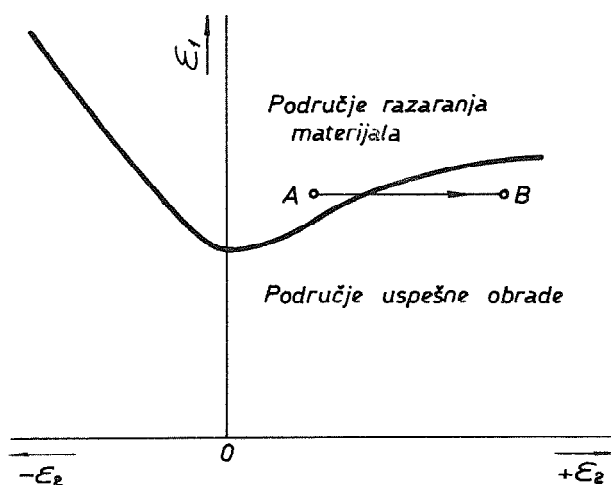
Sl.8. Keeler-Goodwin-ov dijagram granične deformabilnosti

Aproksimirajući raspored eksperimentalno dobijenih tačaka na dijagramu linijom ili pojasom dobija se granica deformabilnosti materijala. Naime, tačke dobijene ispitivanjem nekog otpreska, koje bi pripadale oblasti iznad ove linije odgovarale bi slučajevima pri kojima dolazi do razaranja materijala, a tačke ispod nje bi odgovarale delovima koji se mogu uspešno obradivati. Jasno je da su i udaljenja ovih tačaka od granične linije posebno značajna. Naime, veća udaljenja (naniže) ukazuju na postojanje znatnije sigurnosti (rezerve plastičnosti), dok relativno mala udaljenja podrazumevaju postojanje većeg rizika da se usled praktično mogućih i uobičajenih poremećaja u toku oblikovanja lako prekorači kritična granica. Svakako da se i prevelika rezerva u ovom smislu ne može smatrati poželjnom, jer bi ona bila neekonomična (materijal nepotrebno visokog kvaliteta).

Značajno je napomenuti da Keeler-ov dijagram obično obuhvata veći broj sličnih materijala (na primer, razne vrste čelika, pa i drugih materijala) i da je zato disperzija tačaka na sl. 7. povećana. Stoga je pouzdanije da se umesto granične linije u njemu prikaže granični pojas (sl. 8).

Analizirajući Keeler- Goodwin-ov dijagram lako je uočiti da se njegov oblik u negativnoj oblasti sasvim poklapa sa napred izloženim načelnim zaključcima o uticaju naponsko-deformacione šeme na graničnu plastičnost. Međutim, u pozitivnoj oblasti dolazi praktično do porasta granične plastičnosti sa porastom deformacije  $\mathcal{E}_2$ , mada bi prema pomenutim kriterijumima ona trebalo da opadne, ili bar da se zadrži na istom nivou ( $\mathcal{E}_{PK} = n$ ). Uzroci ovakvih odnosa su napred već ukratko navedeni (porast stabilnosti deformacije sa porastom odnosa  $m = \bar{\sigma}_2 / \bar{\sigma}_1$ , odnosno pojava difuzne nestabilnosti, koja odlaže pojavu veće koncentracije deformacija oko mesta prekida materijala).

Pri ovome je interesantno primetiti da zbog uspona granične krive ne mora do razaranja doći uvek na mestu najveće deformacije  $\mathcal{E}_1$ , jer ako je ona kombinovana sa relativno velikom deformacijom  $\mathcal{E}_2$ , onda ne mora obavezno izazvati razaranje, već se to može dogoditi pri nekoj manjoj deformaciji  $\mathcal{E}_1$  kojoj odgovara i manja deformacija  $\mathcal{E}_2$ . Ovo se jasno može zaključiti i sa sl. 9. na kojoj je šematski

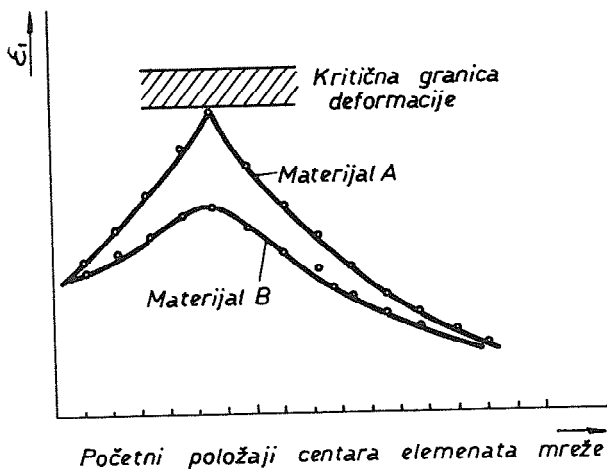


Sl. 9. Šematski prikaz mogućnosti da se pomeranjem položaja tačke u dijagramu (na primer, odgovarajućim podešavanjem držanja lima) predje iz kritične oblasti u područje uspešne obrade

pokazano kako se u nekim slučajevima može, korišćenjem Keeler-ovog dijagrama, izbeći razaranje materijala na taj način što će se podešavanjem uslova držanja lima na obodu povećati poprečna deformacija  $\mathcal{E}_2$ . Naime, ako deformacija  $\mathcal{E}_1$  na kritičnom mestu odgovara tački A, onda će očigledno doći do razaranja mate-

rijala. Ali ako se pomenutim podešavanjem ona pomeri u položaj B, maksimalna deformacija  $\mathcal{E}_l$  će se naći ispod kritične granice i otpresak će biti uspešno oblikovan.

Dalja analiza i proučavanje ove problematike pokazali su da nije samo iznos maksimalne deformacije  $\mathcal{E}_l$  na kritičnom mestu od presudnog značaja za ponašanje materijala u toku obrade u industrijskim uslovima, već takodje i distribucija deformacija u široj okolini ovog mesta. Načelno posmatrano, ukoliko je njihov raspored ravnomerniji, utoliko se situacija može smatrati povoljnijom i obratno. Jako koncentrisanje deformacija oko kritičnog mesta praktično će pre dovesti do prekoračenja kritične granice i razaranja materijala pri uobičajenim poremećajima i kolebanjima proizvodnih uslova. Da bi se dobila slika rasporeda deformacija potrebno je da se izvrši merenje deformisanih elemenata mreže u okolini kritičnog mesta i da se odgovarajući podaci unesu u prikladan dijagram. Šematski prikaz ovakvih rasporeda dat je na sl. 10.

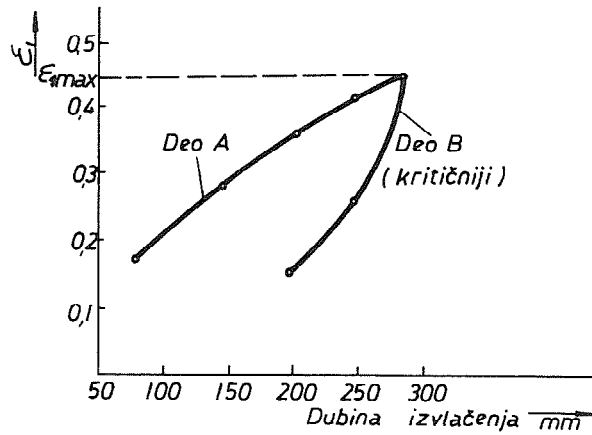


Sl. 10. Dijagram distribucije deformacija u kritičnoj zoni

U vezi sa ovim je i problem razvoja ("istorije") deformacije na kritičnom mestu. Naime, i pri istim iznosima maksimalnih deformacija  $\mathcal{E}_l$ , normalno je da u različitim slučajevima gradijent njihove promene (porast) u periodu deformisanja bude različit (sl. 11). Pri tome se za kritičniji može smatrati onaj deo kod kojeg je ova promena intenzivnija (i u tom slučaju bi pomenuti poremećaji u toku obrade lak-

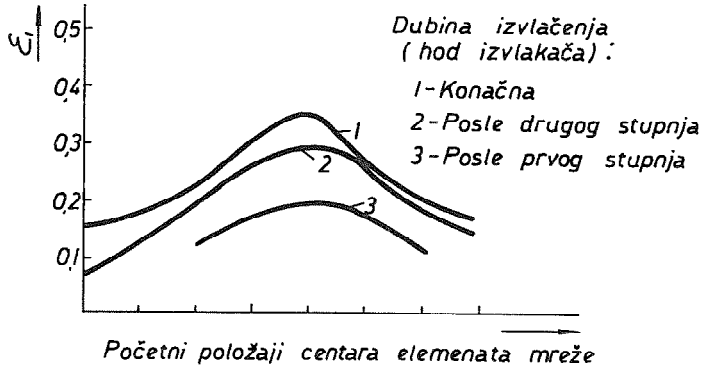


še mogli da dovedu do prekoračenja kritične granice). Inače, ovi dijagrami se dobijaju na taj način što se izvlačenje otpreska vrši samo do pojedinih dubina (stupnjeva)



Sl. 11. Dijagram intenziteta promena maksimalnih deformacija za dva različita slučaja (pri istim krajnjim iznosima ovih deformacija)

i posle svakog stupnja mere nastale deformacije. Spajanjem tako dobijenih tačaka u dijagramu nastaju prikazane krive. Promena maksimalnih deformacija sa porastom dubine izvlačenja, kao i promena rasporeda deformacija pri tome prikazana je na sl. 12.



Sl. 12. Promena veličine i rasporeda deformacija u kritičnoj zoni u zavisnosti od dubine izvlačenja

Ne analizirajući ovde detaljno problem ravnomernog rasporeda deformacija u kritičnoj zoni (odnosno njihove koncentracije), ukazaće se samo na izuzetan značaj koji u tom smislu imaju svojstva hladnog deformacionog ojačanja (očvršćavanja) materijala. Naime, ukoliko je materijal sposobniji za ojačanje (veći eksponent ojačanja  $n$ ), utoliko će (pod istim ostalim uslovima) biti postignut ravnomerniji raspored deformacija. Pri ovome treba znati da će, na primer, pri izvlačenju jednog odredjenog dela, u slučaju većeg ojačanja, tj. manje koncentrisanosti deformacija, najveća glavna deformacija  $\epsilon_1$  imati manji iznos nego kada je to ojačanje manje. Drugim rečima, kada je raspored deformacija ravnomerniji moguće je ostvariti veće dubine izvlačenja – maksimalna moguća dubina izvlačenja srazmerna je površini ispod krive distribucije (sl. 10).

Koristeći dijagrame granične deformabilnosti može se, dakle, za pojedine delove (otpreske) analizom rasporeda i veličine deformacija u kritičnoj zoni ustanoviti, pa i kvantitativno izraziti na pogodan način, stepen kritičnosti (s obzirom na udaljenje od granične linije). To otvara mogućnost za sistematizovanu specifikaciju, kako otpresaka, tako i materijala. U kritičnim slučajevima to dalje otvara mogućnost pristupanja smišljenom rešavanju, odnosno ublažavanju, ovog problema (na primer, promenom veličine poluprečnika zaobljenja ivica alata, poboljšanim podmazivanjem, promenom načina držanja lima na obodu radi ostvarenja povoljnijeg odnosa  $\epsilon_2/\epsilon_1$ , itd.). To istovremeno znači da se u mnogim kritičnim slučajevima može izbeći zamena materijala kvalitetnijim time što će se ostvarenjem pogodnije naponsko – deformacione šeme i pogodnijeg rasporeda deformacija istovremeno smanjiti i njihovi ekstremni iznosi.

U ovom smislu se grafometrijska metoda pokazala kao veoma pogodna pri početnom podešavanju alata, jer se efekti svih modifikacija i korekture mogu kvantificirati i proveravati neposredno. To takodje važi i za praćenje stepena pohabanosti alata, uticaja kvaliteta maziva i dr.

Najzad, treba napomenuti da se u okviru razvoja, usavršavanja i proučavanja raznovrsnih mogućnosti ove metode poslednjih godina naročita pažnja poklanja usavršavanju tehnike nanošenja mreže, merenju deformacija, kriterijumu na osnovu kojeg se one registruju, iznalaženju najpogodnijeg oblika i krupnoće mreže u pojedinim slučajevima, itd. Treba primetiti da merna mreža sa relativno krupnim elementima (na primer, krugovima sa prečnikom većim od 5 mm) ne dozvoljava da se dodje do tačnih podataka o stvarnom rasporedu i veličini deformacija u najužim zonama kritičnog regiona (izmerena deformacija duž ose elipse ipak predstavlja samo osrednjavanje na toj dužini).

Sa druge strane, ni suviše mali elementi (na primer  $d_0 < 2$  mm) najčešće nisu najpogodniji, jer dovode u pitanje tačnost merenja. Stoga u svakom posebnom slučaju treba kritički odrediti odgovarajući optimum (najčešće se koriste mreže sa prečnicima krugova  $d_0 = 2,5 - 5$  mm).

#### Literatura

1. B. Devedžić: "Obradivost materijala dubokim izvlačenjem" - Mašinski fakltet u Kragujevcu, 1972.
2. A. Tomlenov: "Mehanika procesov obrabotki metalov davleniem", Moskva, 1963.
3. Zbornik radova: "Inženernie metodi rasčeta tehnologičeskih procesov obrabotki metalov davleniem" - Moskva, 1964.
4. E. Siebel: "Tiefziehen" - München, 1955.
5. H. Jahnke, R. Retzke, W. Weber: "Umformen und Schneiden" - VEB Tech. Berlin, 1972.
6. S. Keeler: "Determination of Forming Limits in Automotive stampings" - Sheet Met. Ind., IX/65.
7. S. Keeler: "Circular Grid System - A Valuable Aid for Evaluating Sheet - metal Formability" - Sheet Met. Ind., IX/68.
8. S. Keeler: "Understanding Sheet Metal Formability" - Part 2, Sheet Met. Ind., VI/71.
9. R. Pearce: "A Users' Guide to Forming Limit Diagrams" - Sheet Met. Ind., XII/71.
10. W. Ziegler: "Grenzen der Umformbarkeit bei der Blechverarbeitung" - Blech, 6/72.
11. V. Gajduk: "Sposob ocenki šampuemosti pri vitjažke detalej složnoj formi iz lista", Kuzn. šamp. proizvod., 7/73.
12. L. Rubenkova, A. Vozlinskij, I. Drjašin: "O naprijaženo - deformirovanom sostojanii pri vitjažke detalej složnoj formi", Kuzn. šamp. proizvod., 3/67.

PROBLEMATIK DER UMFORMBARKEIT BEI DER VERARBEITUNG VON  
KOMPLIZIERTEN BLECHTEILEN UND IHRE NEUZEITIGE THEORETISCH-  
EXPERIMENTELLE ASPEKTE

Bei der industriellen Gestaltung von Blech durch Ziehen oder andere Verformungsverfahren liegt das Grundproblem darin, sie erfolgreich durchführen zu können (das bedeutet, vor allem, – ohne Erscheinung von Werkstoffzerreissen an den kritischen Stellen) unter Bedienung, dass man elementare ökonomische Forderungen berücksichtigt. Insbesondere sind dabei die Fälle der Bearbeitung von komplizierten und geometrisch unregelmässigen Blechteilen problematisch.

In der Arbeit wird auf die Nachteile der klassischen Verfahren bei der Prüfung von Umformbarkeitsgrenzen des Blechs hingewiesen, und es werden einige modernere Möglichkeiten angeführt. In diesem Sinne werden zunächst besprochen: korrelative Kenngrösse, sowie die auf der Fliessgesetztheorie gegründeten Kenngrössen. Ausserdem werden bekannte theoretische Verhältnisse betrachtet, die Grenzen der Werkstoffumformbarkeit illustrieren, und daraus stellt man fest, dass in Fällen von Blechverarbeitung praktisch zu den Abweichungen von diesen Verhältnissen kommt, worüber eine kurze Erklärung angeführt ist.

Der letzte Abschnitt der Arbeit bezieht sich auf die Vorstellung, Analyse und Besprechung der weiteren Möglichkeiten, die Keeler-s Diagramm bei der Prüfung von Grenzumformbarkeit des Blechs darbietet. Dabei wird hingewiesen, dass neben den Beträgen der maximalen Formänderungen an den kritischen Stellen von Blechteilen, ebenfalls die Formänderungsverteilung in diesen Zonen eine grosse Bedeutung hat.

Sonst kann die Methodologie der Analyse des Formänderungs – Spannungs – Zustands und anderer Verhältnisse, die auf diesen graphometrischen Prinzip begründet sind, auch bei der Prüfung der Qualität von Ziehschmiermittel, des Werkzeuganpassungseffekts Werkzeugverschleisses, u. a. günstig verwendet werden.



## IX. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NIŠ, 1974.

A. MULC, F. KOVAČIČEK i R. ZGAGA<sup>x</sup>

USPOREDBA OBLIKOVLJIVOSTI DEFORMACIJOM ALZnMg LEGURA U ISPREŠANOM I TOPLINSKI OBRADENOM STANJU <sup>xx</sup>

### Uvod

U ovom referatu iznesen je dio rezultata pokusa i razmatranja provedenih u nastojanju da se grupa ALZnMg legura s povišenim sadržajem cinka i magnezija istraži i u pogledu oblikovljivosti deformacijom i to u isprešanom i toplinski obrađenom stanju. Predhodno su provedeni isti pokusi /1/<sup>xxx</sup> za isprešano stanje tih legura. Pokusom na vlak, savijanje i tlačenje, ustanovljeno je da je grupa od deset istraživanih legura loše oblikovljivosti, naročito pri primarnom vlačnom opterećenju. Tlačnim opterećenjem dostižu se znatno veće deformacije bez pojave pukotine i loma. Uočen je i znatan utjecaj brzine deformacije. Najvažniji aspekti oblikovljivosti pregledno izneseni u /2/, opširnije su razrađivani u /2 do 7/, a u /8 do 11/ navedeni su neki rezultati istraživanja domaćih autora u relevantnom području.

Usporedbom rezultata pokusa na vlak i pokusa tlačenja za isprešano stanje s rezultatima za isprešano i toplinski obrađeno stanje došlo se do spoznaje da se toplinskom obradom istraživanih legura oblikovljivost ne poboljšava.

---

x Dr Andrija Mulc i mr Franjo Kovačićek su asistenti, a dr Ranko Zgaga je izvanredni profesor Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

xx Saopćenje iz Matice za tehnološko oblikovanje i Matice za Materijale FSB.

xxx Oznake u / / odnose se na redni broj iz popisa literature.

## Popis oznaka

A ... S	= oznaka legure
$Ar = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100$	= kontrakcija poprečnog presjeka vlačne epruvete
$F_0$	= površina poprečnog presjeka vlačne epruvete prije istezanja
$F_1$	= površina poprečnog presjeka suženog dijela vlačne epruvete u času loma
$h_0$	= početna visina epruvete oblika valjka
$h_1$	= visina epruvete oblika valjka nakon tlačenja
$l_0$	= početna mjerna duljina vlačne epruvete
$l_1$	= duljina mjernog dijela vlačne epruvete nakon pokusa
$\delta_5$	= istezljivost
$\epsilon_{\delta} = \frac{l_1 - l_0}{l_0}$	= deformacija mjernog dijela vlačne epruvete u smjeru duljine
$\epsilon_k = \frac{100}{100 - Ar} - 1$	= deformacija istegnute epruvete u smjeru duljine na mjestu najmanjeg poprečnog presjeka
$\epsilon_b = \frac{h_0 - h_1}{h_0}$	= deformacija visine pri pokusu tlačenja na batu
$\sigma_m$	= vlačna čvrstoća

## O pokusnom materijalu i o toplinskoj obradi

Pokusima je obuhvaćeno deset legura kemijskog sastava prema tablici 1. Sve legure bile su iprešane u okrugle šipke promjera 20 mm. Nakon isprešavanja šipke su samo ravnane. Toplinska obrada legura sastojala se od zagrijavanja uzoraka na 460°C i gašenja u vodi. Zagrijavanje je provođeno u jamskoj peći grijanoj cirkulacijom toplog zraka. Na temperaturi 460°C uzorci su grijani jedan sat. Neposredno nakon gašenja uzorci su

TABLICA 1

## Kemijski sastav legura

Oznaka legure	%						
	Zn	Mg	Cu	Mn	Si	Fe	Ag
A	7,77	3,31	trag	0,15	0,08	0,22	-
B	7,56	3,20	0,10	0,13	0,09	0,24	-
C	7,28	2,90	1,13	0,21	0,09	0,22	0,61
E	7,88	3,05	-	0,19	0,08	0,21	0,66
F	7,92	2,67	0,90	0,28	0,10	0,21	-
K	7,84	3,15	0,50	0,35	0,10	0,19	0,58
L	7,91	2,93	1,26	0,17	0,10	0,13	-
M	7,68	3,22	1,21	0,35	0,09	0,20	-
O	7,98	2,90	1,30	0,34	0,09	0,20	0,52
S	7,63	3,13	1,89	-	0,10	0,19	-

umjetno dozrijevani na temperaturi  $150 \pm 2^\circ\text{C}$  u trajanju četiri sata u sušioni uz cirkulaciju zraka.

Opis pokusa

- a) Pokus na vlak. Standardna okrugla epruveta promjera 10 mm i mjerne duljine 50 mm istezana je brzinom od 10 mm/min. Deformacija u smjeru duljine epruvete u času loma  $\epsilon_\sigma$  i deformacija u smjeru duljine na mjestu najveće kontrakcije poprečnog presjeka  $\epsilon_k$ , računane su po izrazima navedenim u popisu oznaka. Od svake legure istezane su po dvije epruvete a srednje vrijednosti rezultata ispitivanja unesene su u tablice 2 i 3.
- b) Pokus tlačenja. Epruvete oblika valjka promjera i visine 20 mm poslužile su za tlačni pokus na preši i na gravitacionom batu. Preša je bila hidraulička s brzinom klipa od



TABLICA 2

Pregled osnovnih mehaničkih svojstava legura

Oznaka legure	Isprešano stanje			Isprešano i toplinski okrašeno stanje		
	$\sigma_m$ kp/mm <sup>2</sup>	$\sigma_5$ %	$A_r$ %	$\sigma_m$ kp/mm <sup>2</sup>	$\sigma_5$ %	$A_r$ %
A	41,5	11,0	15,3	63,5	3,5	16,5
B	42,6	10,9	14,4	69,9	5,1	12,0
C	40,2	11,6	12,4	66,2	6,1	17,4
E	40,2	10,4	14,4	65,5	5,6	15,7
F	39,2	12,9	12,5	69,5	4,5	12,0
K	39,3	9,3	13,5	62,3	8,2	17,4
L	43,0	10,0	11,6	67,7	3,5	17,1
M	42,0	11,2	11,6	72,2	8,1	15,0
O	38,9	9,2	13,5	65,5	6,2	14,3
S	42,7	10,7	11,6	58,1	11,0	13,5

1 mm/sek, a epruvete su tlačene sve dotle dok na blago bačvastom plaštu valjka nije primijećena pukotina. Na gravitacionom batu granična deformacija je određivana promjenom visine ispuštanja malja. Malj je u času sraza imao brzinu od 2,6 do 4,2 m/sek.

Pokusi na preši bili su otežani s time što je pojavu prve primjetljive pukotine slijedilo drobljenje epruvete brzinom većom od brzine rasterećenja, kojim se drobljenje želilo spriječiti. Iz tog razloga u tablicu 3 uneseni su samo rezultati pokusa na batu.

TABLICA 3

Usporedni prikaz deformacija izračunanih  
na osnovi pokusa na vlak i pokusa tlače-  
nja na batu

Oznaka legure	Isprešano stanje			Isprešano i toplinski obrađeno stanje		
	$\epsilon_{\sigma}$	$\epsilon_k$	$\epsilon_b$	$\epsilon_{\sigma}$	$\epsilon_k$	$\epsilon_b$
A	0,11	0,18	0,421	0,035	0,20	0,14
B	0,109	0,17	0,348	0,051	0,135	0,147
C	0,116	0,14	0,552	0,061	0,21	0,10
E	0,104	0,17	0,257	0,056	0,19	0,15
F	0,129	0,14	0,424	0,045	0,135	0,15
K	0,093	0,15	0,345	0,082	0,210	0,205
L	0,100	0,13	0,284	0,035	0,205	0,183
M	0,112	0,13	0,385	0,081	0,175	0,225
O	0,092	0,15	0,314	0,062	0,165	0,255
S	0,107	0,12	0,383	0,110	0,250	0,25

#### Kriterij granične deformacije

Najveća deformacija u pokusima tlačenja određena je pojavom prve pukotine. Prvom pukotinom smatra se pukotina u makroskopskom smislu, tj. takva čija se pojava mogla uočiti prostim okom bez posebnih pomagala. Pokus na vlak završavao je uvijek lomom epruvete.

## Analiza rezultata

Usporedba osnovnih mehaničkih svojstava legura u isprešanom stanju sa svojstvima u isprešanom i toplinski obrađenom stanju pokazuje da se je toplinskom obradom postigla veća čvrstoća legura i znatno smanjena istežljivost.

Ako se oblikovljivost procjenjuje samo na osnovi kontrakcije poprečnog presjeka vlačne epruvete Ar, na osnovi rezultata iz tablice 2 slijedio bi zaključak da se toplinskom obradom oblikovljivost povećava.

Pouzdanija je međutim procjena oblikovljivosti na osnovi više pokusa praćenih paralelno, jer omogućuje da se uoči djelovanje većeg broja utjecajnih parametara. U vezi s tim značajni su podaci iz tablice 3. Iz nje je vidljivo da toplinska obrada nije rezultirala porastom deformacije i pri pokusu tlačenja  $\epsilon_b$ . Čak je nastupilo znatno smanjenje  $\epsilon_b$  u odnosu prema ekstrudiranom stanju legura. Ovo se ne bi moglo pripisati djelovanju brzine deformacije pri tlačenju, jer je zapaženo da se pri tlačenju na preši epruvete zdrobe pri deformacijama bliskim gra-ničnim deformacijama kod sabijanja na batu.

U pogledu porasta kontrakcije poprečnog presjeka vlačne epruvete uzrokovanog toplinskom obradom prisutan je slijedeći utisak: toplinska obrada omogućuje nešto veće lokalne deformacije pri vanjskom opterećenju koje to omogućuje.

## Zaključak

Na osnovi iznesenih rezultata pokusa i analize tih rezultata može se zaključiti slijedeće: primijenjenom toplinskom obradom se loša oblikovljivost istraživanih legura ne poboljšava. Ovo se očituje u smanjenoj istežljivosti i smanjenoj mogućnosti deformiranja pri primarnom tlačnom opterećenju.

## Literatura

- 1 A. Mulc, F. Kovačiček i R. Zgaga, O nekim istraživanjima AlZnMg legura s povećanim sadržajem cinka i magnezija, predano za Zbornik referata II Jugoslavenskog savjetovanja o aluminiju, Radenci, travnja 1974.
- 2 S. Kalpakcioglu, Some Aspects of Formability of Metals, International Research in Production Engineering, 1963, ASME Publication No. M-2450, p. 417 - 423.
- 3 G. A. Smirnov - Aljajev, V. P. Čikidovski, Eksperimentaljne issledovanija v obrabotke metallov davleniem, Mašinstroenie, Lenjingrad 1972, s. 142 - 184.
- 4 P. W. Bridgman, Studies in Large Plastic Flow and Fracture, Mc Graw-Hill Book Company, Inc., New York, N.Y. 1952.
- 5 Akademija nauk SSSR, Naprjažennoe sostojanie i plastičnost pri deformirovanii metallov, Izdateljstvo Nauka, Moskva 1966.
- 6 J. Datsko and C. T. Yang, Correlation of Bendability of Materials with their Tensile Properties, Trans. ASME, Series B, Vol. 82, November 1960, p. 309 - 314.
- 7 I. F. Tyrrell, Formability of Various Alloys for High Temperature Service, Trans. ASM, Vol. 42, 1950, p. 405 - 438.
- 8 B. Devedžić, Formiranje korelacionog pokazatelja industrijske obradivosti materijala deformacijom, Zbornik saopćenja VI Savjetovanja o proizvodnom strojarstvu, Opatija 1970, str. 67 - 79.
- 9 B. Stocca, Vzroci slabe plastičnosti jekel tipa 18/8, Železarski zbornik, št. 1, 1972, str. 35 - 46.
- 10 F. Vizjak, Vpliv alfa faze na plastičnost Cr-Ni avstenitnih jekel, Železarski zbornik, št. 4, 1972, str. 195 - 214.
- 11 K. Kuzman i A. Razinger, Ocena sposobnosti domačih jekel masivno oblikovanje v hladnem, Železarski zbornik, št. 4, 1973, str. 189 - 197.

A. Mulc, F. Kovačiček and R. Zgaga

COMPARISON OF FORMABILITY OF EXTRUDED AND HEAT TREATED AlZnMg ALLOYS

The heat treatment procedure was applied to the group of ten aluminum alloys with increased content of zinc and magnesium. As a result the strength and the tensile reduction in area, at room temperature, was improved in comparison to the extruded state of alloys. The tensile and compression deformation ability was decreased.

The applied procedure did not improve formability of investigated alloys.

## IX. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, Niš, 1974.

A. MULC<sup>x</sup>

NEKI ASPEKTI PRIMJENE FOTOPLASTIČNE ANALIZE U OBRADI  
DEFORMACIJOM<sup>xx</sup>

### Uvod

Metodom fotoplastičnosti proučavaju se naprezanja i deformacije na modelu podvrgnutom plastičnoj deformaciji koristeći pri tom optička svojstva dvoloma materijala modela. To je razmjerno nova grana eksperimentalne mehanike. Prva kvantitativna razmatranja potječu tek prije od oko dvadeset godina. Razvijaju se na optičkim osnovama fotoelasticimetrije za koju se prvim znanstvenim radom smatra rad Sir Davida Brewstera iz 1816. godine.

Metoda se zasniva na tome da polarizirano monokromatsko svjetlo prolazi kroz model koji, kad je opterećen ili deformiran, uzrokuje dvolom. Vektor svjetla rastavlja se u dvije komponente nakon čega svaka od njih putuje kroz model različitom brzinom. Ovo omogućuje da se na tzv. analizatoru stvore interferentni efekti u obliku svjetlih i tamnih linija i područja.

Najjednostavniji instrument za to je polariskop s ravninski polariziranim svjetlom. On se sastoji od izvora svjetla, polarizatora, modela i analizatora. Takav instrument prikazan je na slici 1. Amplituda vektora svjetla  $A_1$ , pod pretpostavkom valne prirode svjetla, opisuje se jednadžbom:

$$A_1 = k \cdot \sin \omega t \quad \dots (1)$$

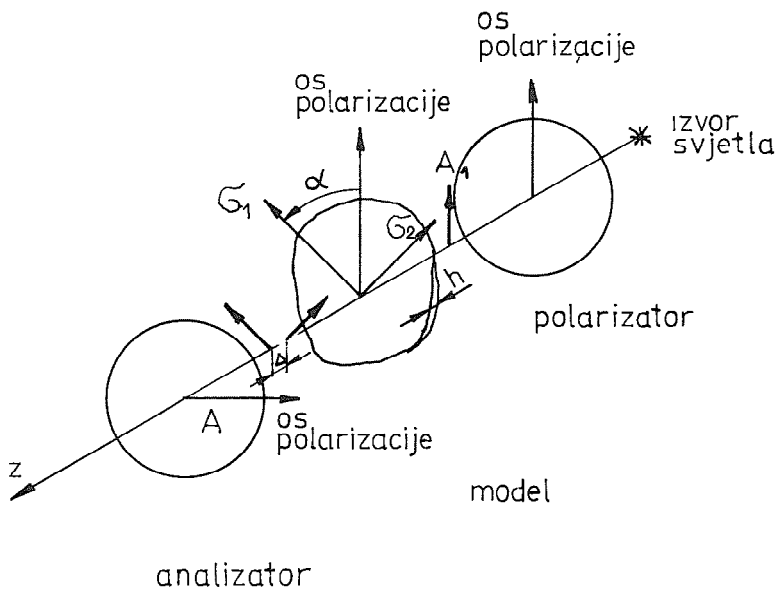
Intenzitet svjetla  $I$ , onako kako ga prima ljudsko oko, razmjeran je kvadratu vektora svjetla na izlazu iz analizatora, a može se opisati jednadžbom:

---

x Dr Andrija Mulc, dipl.ing., asistent Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

xx Saopćenje iz Matice za tehnološko oblikovanje FSB-a.

$$I = \underbrace{K \cdot \sin^2 2\alpha}_{\text{II}} \cdot \underbrace{\sin^2 \frac{\Delta}{2}}_{\text{III}} \cdot \underbrace{\cos^2 \omega t}_{\text{I}} \quad \dots (2)$$



Slika 1 Shema polariskopa s ravninski polariziranim svjetlom.

U gornjoj jednažbi sadržana su tri načina da se dobije intenzitet svjetla jednak nuli, što odgovara tamnom polju ili tamnoj liniji na analizatoru. Prvi način je onaj koji opisuje član I. Radi visoke kružne frekvencije svjetla  $\omega$  (reda  $10^{15}$  rad/sek) svjetlo gasne tako često da se za ljudsko oko, a i za optičke instrumente koji snimaju vrlo kratkotrajne događaje, ne proizvode vidljivi efekti zatamnjenja. Član II je izraz za izokline. To su tamne linije koje daju orijentaciju, tj. pravce glavnih naprezanja odnosno deformacija. Član III je izraz za izokrome, tj. tamne linije koje ovise o veličini naprezanja odnosno deformacije. U polariskopu s ravninski polariziranim svjetlom izokromama su superponirane izokline. U tzv. polariskopu s kružno polariziranim svjetlom izokrome se mogu promatrati odvojeno od

OD.4.2

izoklina.

Svojstva modelnih materijala vrlo su značajna za razvoj fotoplastične metode. Neki modelni materijali prvenstveno primjenjivani u fotoelasticiometriji podnose naprezanja i veća od onih na granici elastičnosti. Rani radovi u tom prelaznom području, kakav je npr. Friedov s celulooidom /1/ \*, predstavljaju uvod u fotoplastičnost. Kasnije su u fotoplastičnim istraživanjima primjenjivani i drugi optički aktivni modelni materijali kao npr. srebrni klorid, želatine, najlon i poliesterske smole.

1962. godine Ito /2/ je objavio rezultate svojih istraživanja na polikarbonatu, naglasivši njegovu pogodnost i za fotoplastičnu analizu. Polikarbonat podnosi kod sobne temperature velike plastične deformacije a ostaje proziran i za vrijeme loma. Njegova velika optička aktivnost u polariziranom svjetlu, sposobnost očvršćenja i svojstvo zamrzavanja optičkih efekata omogućuje prostornu analizu i analizu ostatnih plastičnih deformacija. Ovo je posebno značajno za primjenu fotoplastičnih modelnih istraživanja u obradi deformacijom. Brill /3/ je za polikarbonat postavio optički zakon deformacije za ravninski problem i za opterećeno stanje modela. Patil /4/, Broutman i Kalpakjian /5/ i Chawla /6/ bavili su se mehaničkim ponašanjem polikarbonata pri sobnoj i pri povišenoj temperaturi. Osnovicu za prostornu analizu ostatnih deformacija predstavlja optički zakon deformacije postavljen u /7/. Formuliran je u obliku:

$$\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = f_{\varepsilon}^p \left( \frac{N}{h} \right) \quad \dots (3)$$

$\varepsilon_1$  i  $\varepsilon_2$  su glavne deformacije,  $f_{\varepsilon}^p$  = fotoplastična konstanta deformacije (za valnu duljinu svjetla od  $\lambda = 5893 \text{ \AA}$  ona iznosi  $13,37 \times 10^{-3} \text{ mm}$ /interferentnoj liniji),  $N$  = red izokrome, a  $h$  = debljina modela odnosno pločice izrezane iz modela. On

---

\* Oznake u // zagradama odnose se na redni broj iz popisa literature.



omogućuje kvantitativno određivanje glavnih deformacija uzduž glavnih pravaca deformacije u prostorno deformiranom i rasterećenom modelu. Separacija glavnih deformacija može se provesti uz pretpostavku da prva invarijanta deformacije iščezava.

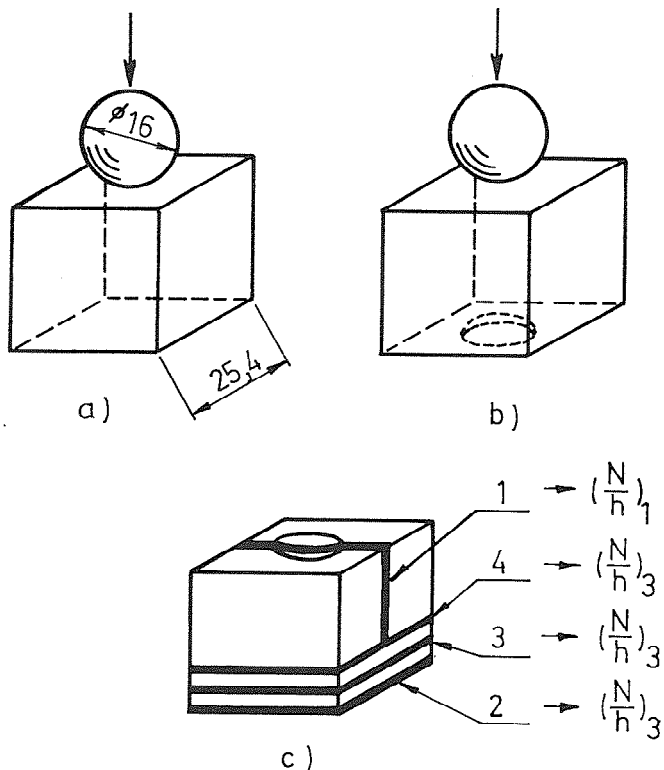
Primjena fotoplastične metode u određivanju deformacija prikazana je u ovom referatu na modelu kocke u koju se utiskuje čelična kugla. Ovaj način deformiranja naročit je po tome što se utiskivanjem kugle proizvode lokalno velike deformacije, dok veći dio volumena kocke ostaje nedeformiran. O ovom problemu postoje i iscrpnija teorijska razmatranja, od kojih su neka sadržana u radovima /8 do 10/. Osim kvalitativnih razmatranja, koja su moguća već na osnovi stanja izokroma u pločicama izrezanim u izabranim presjecima deformiranog modela, kvantitativno su analizirane deformacije uzduž osi utismute kalote i u prostoru izvan osi kalote.

#### Opis pokusa

Model kocke izrađen je iz relaksirane polikarbonatne ploče debljine 25,4 mm. U dvije polirane nasuprotne plohe utiskivana je polirana čelična kugla promjera 16 mm. Hrapavost površine kugle bila je klase 2 po JUS M.Al.020. Prije utiskivanja i kugla i plohe modela obilno su mazane mineralnim uljem SAE 30. Brzina klipa hidrauličke preše, na kojoj je kugla utiskivana, bila je 1 mm/sek. Posebnim podmetačima gibanje klipa preše ograničeno je na put na kom su proizvedene kalote dubine 3 mm. Kalota je proizvedena najprije na jednoj plohi, a potom na onoj nasuprotnoj, kako to prikazuje slika 2, pod a) i b). Na istoj slici pod c) prikazan je način na koji su izrezane pločice koje će dati sliku izokroma u presjecima orijentiranim s obzirom na koordinatni sustav  $x, y, z$ , položen na načine kako će biti pokazano u analizi. Slika 3 prikazuje fotografije izokroma tamnog

OD.4.4

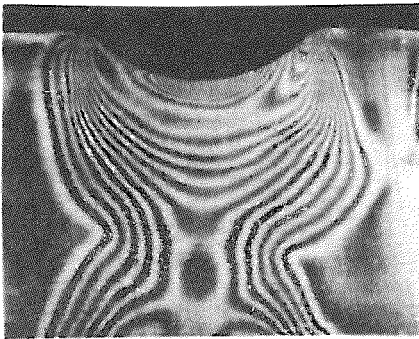
polja u pločicama 1, 2, 3 i 4 iz c) sa slike 2.



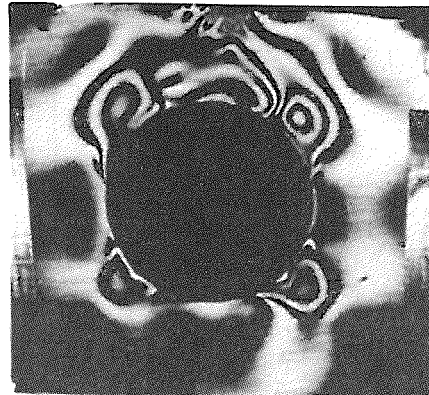
Slika 2 Prikaz načina utiskivanja kugle u model kocke i načina izrezivanja pločica.

### Analiza

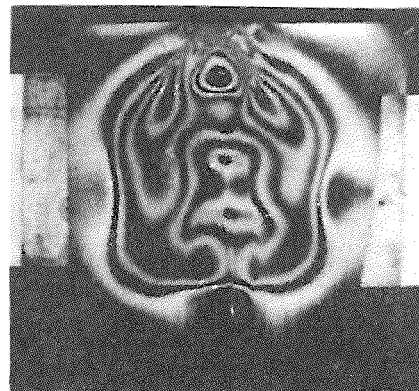
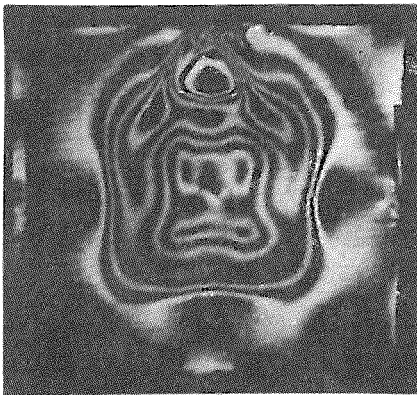
a) Za kvantitativno određivanje deformacija uzduž osi utismute kalote koordinatni sustav  $x, y, z$  orijentiran je u pločici 1 tako da se osi  $y$  i  $z$  nalaze u ravnini izrezane pločice, kako je to vidljivo na slici 2. Uzduž osi  $z$  vrijedi pretpostavka  $\epsilon_x = \epsilon_y$ . Za stanje deformacija uzduž osi  $z$  mogu se postaviti slijedeće tri osnovne jednačbe:



1.



2.



**Slika 3** Prikaz izokroma tamnog polja u pločicama izrezanim iz deformiranog modela, prema c) sa slike 2.

$$\left. \begin{aligned} (\varepsilon_y - \varepsilon_z) &= f_{\varepsilon}^p \left(\frac{N}{h}\right)_1 \\ \varepsilon_x - \varepsilon_y &= 0 \\ \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z &= 0 \end{aligned} \right\} \dots (4)$$

Iz njih se izvode izrazi za sve tri komponente deformacije:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{3} f_{\varepsilon}^p \left(\frac{N}{h}\right)_1 = \varepsilon_y \\ \varepsilon_z &= -\frac{2}{3} f_{\varepsilon}^p \left(\frac{N}{h}\right)_1 \end{aligned} \right\} \dots (5)$$

Dijagram na slici 4 prikazuje te vrijednosti.

b) Za analizu deformacija izvan osi utisnute kalote izabrana su dva položaja ispod površine utisnute kalote. Prvi je na udaljenosti od 1 mm. Na tom mjestu izrezana je pločica broj 3 sa slike 2. Deformacije su separirane uzduž osi y, koristeći slike izokroma u pločicama broj 1 i 3. Tri se osnovne jednažbe mogu postaviti i to:

$$\left. \begin{aligned} (\varepsilon_x - \varepsilon_y) &= f_{\varepsilon}^p \left(\frac{N}{h}\right)_3 \\ (\varepsilon_y - \varepsilon_z) &= f_{\varepsilon}^p \left(\frac{N}{h}\right)_1 \\ \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z &= 0 \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

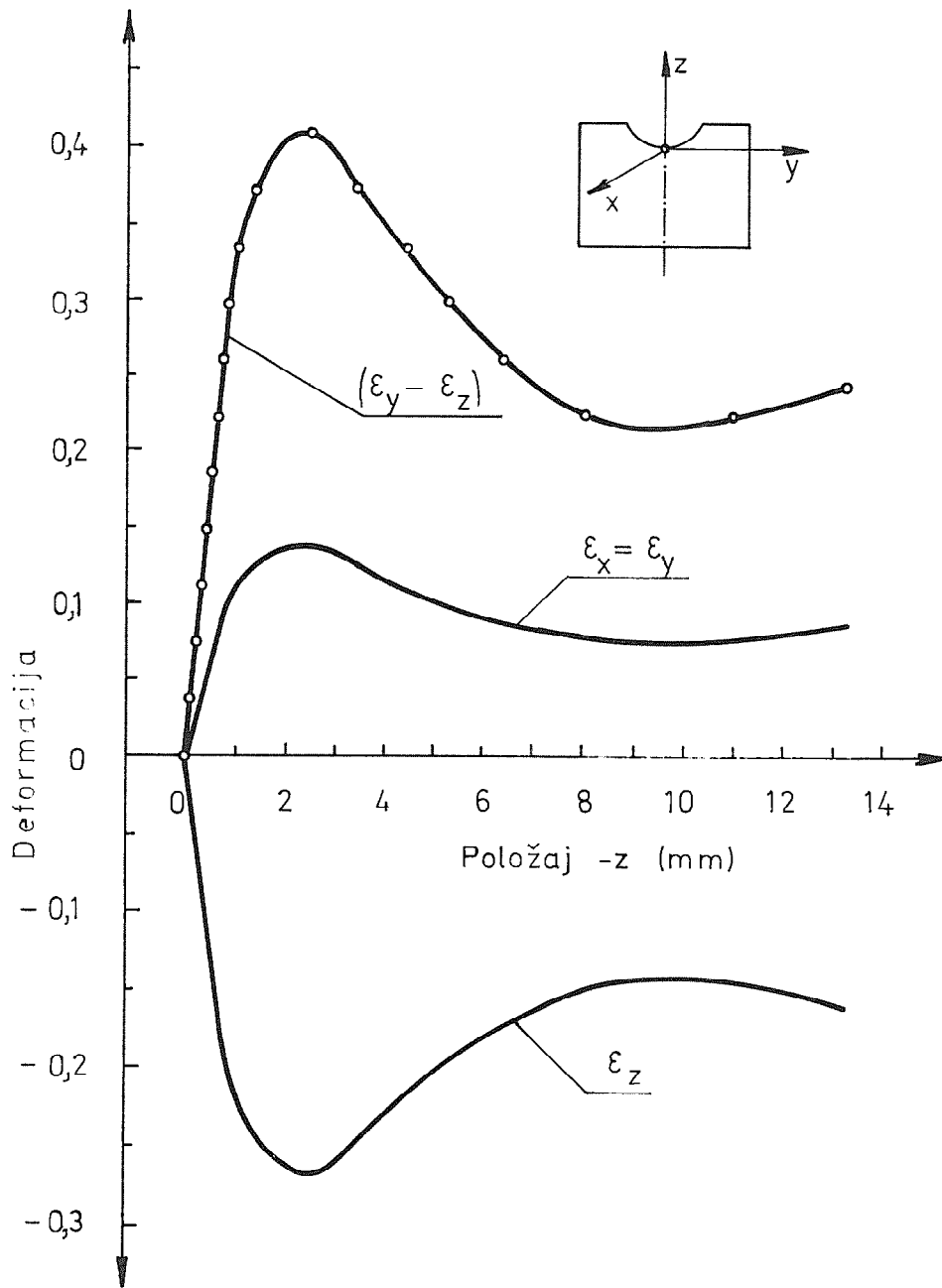
Iz ovih jednažbi mogu se separirati izrazi za deformacije:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{3} f_{\varepsilon}^p \left[ \left(\frac{N}{h}\right)_1 + 2 \left(\frac{N}{h}\right)_3 \right] \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{3} f_{\varepsilon}^p \left[ \left(\frac{N}{h}\right)_1 - \left(\frac{N}{h}\right)_3 \right] \\ \varepsilon_z &= -\frac{1}{3} f_{\varepsilon}^p \left[ 2 \left(\frac{N}{h}\right)_1 + \left(\frac{N}{h}\right)_3 \right] \end{aligned} \right\} \dots (7)$$

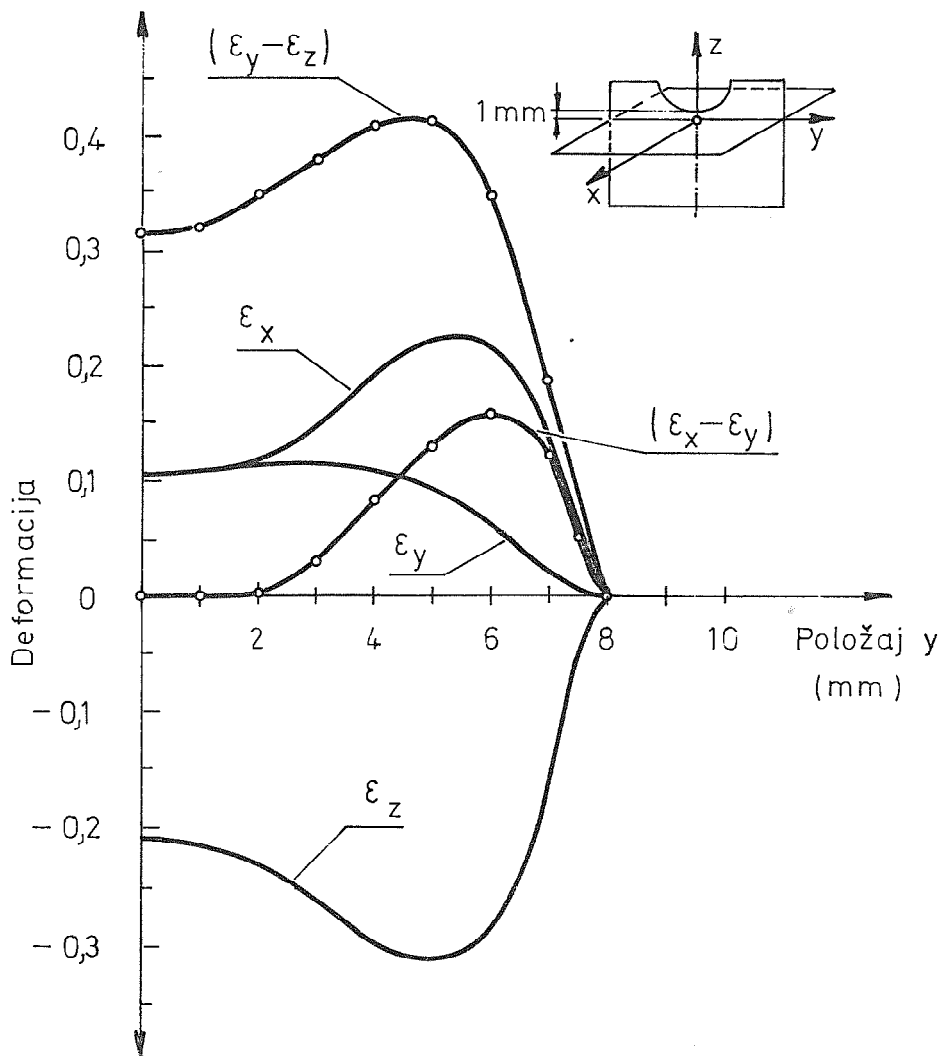
Vrijednosti deformacija unesene su u dijagram na slici 5.

Na dubini od 3 mm ispod površine utisnute kalote deformacije se određuju na isti način kao i na dubini od 1 mm. Dijagram na slici 6 prikazuje vrijednosti.

Od četiri fotografije izokroma u pločicama, prikazane na slici 3, tri su upotrebljene za određivanje deformacija ispod površine kalote. Četvrta, fotografija broj 2, prikazuje stanje izokroma na samoj površini kocke oko kalote.

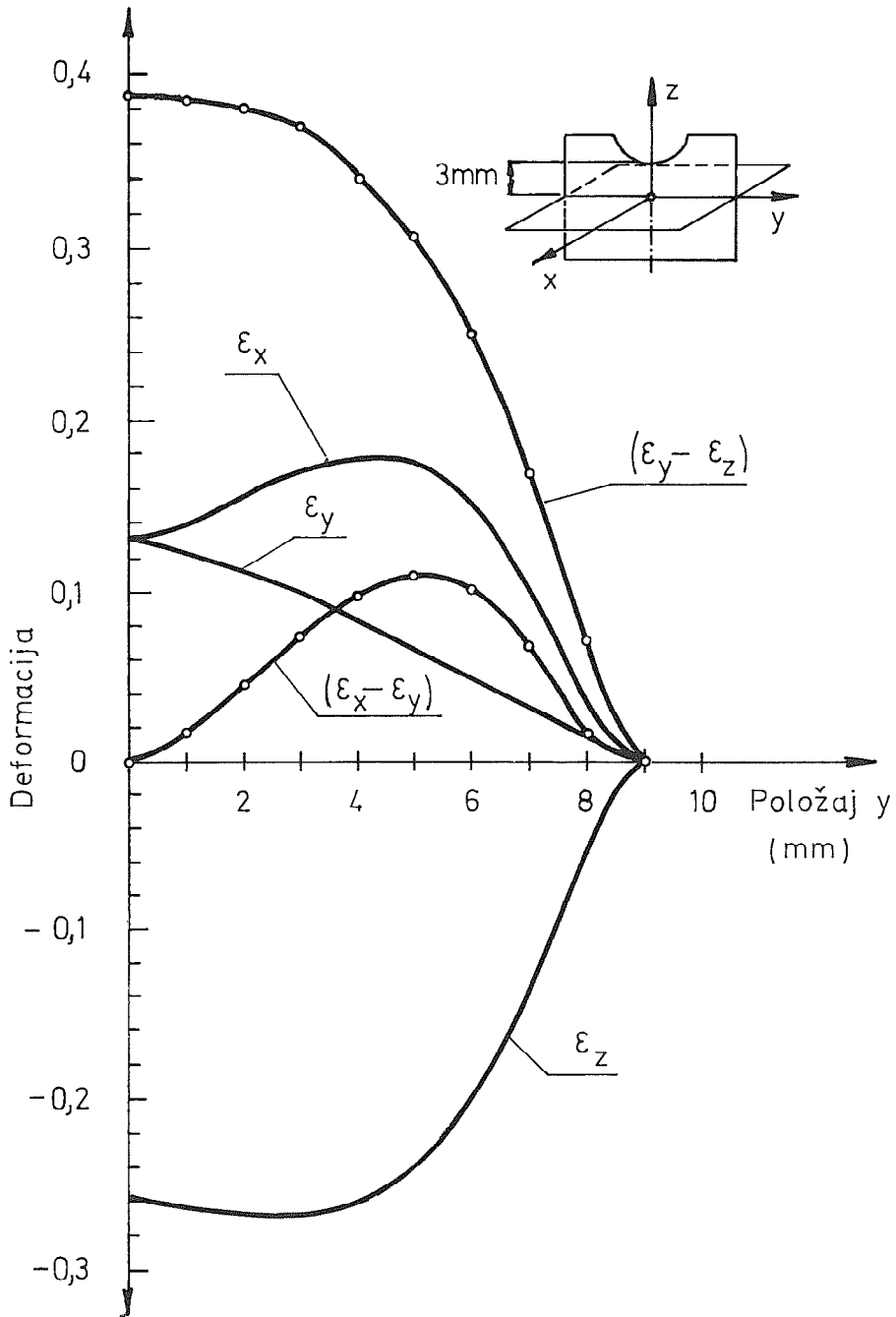


Slika 4 Prikaz deformacija u osi kalote



Slika 5 Prikaz deformacija uzduž osi y, na dubini od 1 mm ispod površine utisnute kalote.

Pregledom izokroma u pločici broj 1 može se ustanoviti da polikarbonat, kao fotoplastični modelni materijal ne pokazuje izrazite karakteristike tzv. komusa trenja u području ispod utisnute kalote.



Slika 6 Prikaz deformacija uzduž osi y, položene na dubini od 3 mm ispod površine utisnute kalote.

OD.4.10

## Zaključak

Prikazana je primjena prostorne fotoplastičnosti na primjeru utiskivanja čelične kugle u model kocke izrađen iz polikarbonata. Kvalitativna razmatranja moguća su na osnovi stanja izokroma u pločicama izrezanim iz deformiranog modela u izabranim ravninama. Kvantitativna analiza glavnih deformacija duž glavnih pravaca deformacije omogućuje poznavanje optičke konstante deformacije, s vrijednošću od  $13,37 \times 10^{-3}$  mm/interferentnoj liniji. Separacija glavnih deformacija provedena je uz pretpostavku da prva invarijanta deformacije iščezava. Glavne deformacije analizirane su uzduž osi utisnute kalote i izvan te osi, na dubini od 1 i 3 mm ispod površine kalote. Uočljivo je da se u bloku kocke s bridom od 25,4 mm pri dubini kalote od samo 3 mm pojavljuju deformacije reda i 0,4.

Slika izokroma u ravnini položenoj uzduž osi utisnute kalote, na modelnom materijalu ne pokazuje postojanje komusa trenja svojstvenog, po Prandtlovoj pretpostavci, metalima izvrnutim istom načinu deformiranja.

## Literatura

- 1 B. Fried, Some Observations on Photoelastic Material Stressed Beyond the Elastic Limit, Proc. SESA, v. 8, n. 2, 1951, p. 143-148.
- 2 K. Ito, New Model Materials for Photoelasticity and Photoelasticity, Experimental Mechanics, v. 2, n. 12, 1962, p. 373-376.
- 3 W. A. Brill, Basic Studies in Photoplasticity, PhD dissertation, Stanford University, 1965.
- 4 R. S. Patil, Effect of Cold Rolling on Physical Properties of Thermoplastics, M. S. Thesis, Illinois Institute of Technology, 1969.
- 5 L. J. Broutman and S. Kalpakjian, Cold Forming of Plastics, SPE Journal, v. 25, October 1969, p. 44-52.



- 6 J. H. Chawla, A Study of Deep Drawability of Thermoplastics, M. S. Thesis, Illinois Institute of Technology, 1970.
- 7 J. W. Dally and A. Mulc, Polycarbonate as a Model Material for Three - Dimensional Photoelasticity, Journal of Applied Mechanics, v. 40, n. 2, June 1973, p. 600-605.
- 8 L. Prandtl, Anwendungsbeispiele zu einem Henckyschen Satz über das plastische Gleichgewicht, ZAMM, Bd. 3, H. 6, 1923.
- 9 A. D. Tomlenov, Vnedrenie zakruglennogo puasona v metall pri naličii trenja, Vestnik mašinstroenija, 1, 1960.
- 10 M. W. Storozhev/E. A. Popov, Grundlagen der Umformtechnik VEB Verlag Technik, Berlin, 1968.

A. Mulc

SOME ASPECTS OF APPLICATION OF PHOTOPLASTIC ANALYSIS IN FORMING PROCESS

This is the example of the application of photoplastic study in analysis of strains in forming process. The 25 mm polycarbonate model cube was indented with the 16 mm polished steel ball. The plastic deformation of the model body resulted with the frozen birefringence in the slices taken from the deformed cube. The conventional strain optic law, with material fringe value  $f_e^p = 13,37 \times 10^{-3}$  mm/fringe, was used for the valuation of the optical effects. The strain separation was by the assumption that the first invariant of strain disappears.

## IX. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NIŠ, 1974.

V. VUJOVIĆ\*

HLADNO UTISKIVANJE GRAVURE U ALATE ZA OBLIKOVANJE\*\*

### 1. Uvod

Alati u obradi metala deformacijom su od posebnog značaja. Troškovi izrade alata i njihov kvalitet neposredno utiču na kvalitet i cenu obratka. Uspešno rešavanje problematike izrade alata za oblikovanje dobrim delom obezbeđuje sigurnost funkcionisanja proizvodnog procesa. U slučaju zapreminskog oblikovanja obradaka, potrebno je u elementima alata izraditi šupljinu takvog oblika i dimenzija koja odgovara obliku i dimenzijama željenog obratka. Kod izrade alata za zapreminsko oblikovanje, formiranje ove šupljine (gravure) u elementima alata je osnovni problem izrade tih alata. Rešavanje problema izrade gravure u alatima ima odredjenih sličnosti nezavisno od vrste materijala obratka. To se odnosi, dakle, i na oblikovanje gravura za livenje pod pritiskom, odnosno za izradu delova iz plastike, stakla pa čak i na alate za oblikovanje bombona i sl. obradaka. Vrsta materijala obratka i propisani kvalitet obradjenih površina su međjutim, od posebnog značaja za izbor vrste materijala radnih elemenata alata i načina njihove termičke obrade. Pri tome naročitu ulogu ima veličina specifičnog pritiska, koji se javlja na kontaktnim površinama u toku procesa obrade. Zbog razlike u veličini specifičnog pritiska i uslova kontaktnog trenja nastaju razlike u primeni materijala za elemente alata a i u načinu njihove obrade za razne vrste materijala obradaka. Pri ovome je jasno da temperatura obrade ima značajan uticaj i na izbor materijala alata i na njegovu izradu.

---

\*/ Mr Vujović Vlado, dipl. maš. ing., docent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu.

\*\*/ Saopštenje iz Instituta Mašinskog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu.

## 2. Načini oblikovanja gravure u elementima alata

Gravura u alatu je negativ oblika odgovarajućeg dela obratka. Izrada gravura je moguća na više načina što uglavnom zavisi od veličine i oblika gravure i vrste materijala u kome se gravura izrađuje. S tim u vezi, načini oblikovanja gravura mogu se podeliti u nekoliko grupa:

- Obrada skidanjem strugotine i ručnim doterivanjem;
- Obrada elektro-erozijom uz ručno doterivanje;
- Oblikovanje gravura u elementima alata iz tvrdog metala;
- Hladno utiskivanje oblika gravure.

Klasični način izrade gravure u čeličnom alatu je obrada glodanjem ili nekim drugim sličnim postupkom na približan oblik i zatim alatničarskom ručnom obradom, doterivanje na konačni oblik i dimenzije. Ručno doterivanje oblika gravure je mukotrpna i veoma skupa obrada, pa se radi toga, kad je god moguće zamenjuje nekom savremenijom metodom obrade.

Obrada elektro-erozijom je postupak pomoću koga se takodje može dobiti samo približan oblik gravure. Prema tome i posle ovog postupka neophodna su doterivanja oblika i dimenzija gravure.

U masovnoj proizvodnji čeličnih delova manjih i srednjih dimenzija, u velikoj meri se primenjuju postupci oblikovanja hladnom deformacijom. Danas je oblikovanje čeličnih obradaka hladnom deformacijom zastupljeno u značajnoj meri i u našoj zemlji pri oblikovanju vijčane robe i sličnih obradaka, čiji prečnici idu i do 30 mm. Ključni problem u ovoj proizvodnji je trajnost (postojanost) radnih elemenata alata, pošto na kontaktnim površinama vladaju veoma visoki specifični pritisci, koji otežavaju razdvajanje metalnih površina alata i obratka mazivnom materijom. Pojavom automatskih visokoproduktivnih mašina za hladno oblikovanje čeličnih obradaka, problem postojanosti elemenata alata postaje osnovni faktor produktivnosti takve opreme. Taj problem se dobrim delom rešava primenom uložaka iz tvrdog metala. Zbog ovoga se primena uložaka iz tvrdog metala u alatima za hladno oblikovanje brzo proširila od Sjedinjenih američkih država na evropske industrijski razvijene

zemlje, a zatim i na našu zemlju. Autor je mogao da se uveri u značajnu raširenost primene uložaka iz tvrdog metala u alatima za hladno oblikovanje u našoj zemlji, pri obilasku niza preduzeća, koja se bave oblikovanjem čeličnih delova hladnom deformacijom.

Značajna dostignuća u izradi uložaka iz tvrdog metala za alate za hladno oblikovanje ostvarilo je preduzeće "Prvi Partizan" iz Titovog Užica, koje u svom katalogu nudi standardne oblike i dimenzije "paketa" sa ulošcima od tvrdog metala spremne za ugradnju u alate.

Istina je da neka preduzeća delom uvoze ove uloške iz Italije ili Zapadne Nemačke, no neosporna je činjenica da su postignuti značajni rezultati u primeni uložaka iz tvrdog metala domaće proizvodnje u alatima za hladno oblikovanje. Tako na pr. u preduzeću "Petar Drapšin" iz Novog Sada primenom uložaka iz tvrdog metala (domaće proizvodnje) u alatima za oblikovanje vijčane robe, povećana je postojanost alata od  $0,04$  do  $0,08 \cdot 10^6$  na  $1$  do  $1,5 \cdot 10^6$  komada. Gravure u alatima iz tvrdog metala se po pravilu izradjuju u postupku sinterovanja i presovanja na približnu meru i zatim na konačne dimenzije i oblik, dijamantskim brušenjem. Ovu obradu uglavnom vrši proizvođač tvrdog metala. Teška obrada i visoka cena uz opasnost od loma su glavni nedostaci primene uložaka iz tvrdog metala.

Oblici gravura mogu biti veoma različiti u zavisnosti od oblika obradaka. Obrada konačnog oblika gravure može predstavljati značajne teškoće. Ako su elementi alata iz alatnih čelika moguće je izradu gravure vršiti utiskivanjem žiga odgovarajućeg oblika i tako hladnom deformacijom dobiti oblik i dimenzije gravure. Smisao ideje da se gravure izradjuju hladnim utiskivanjem sastoji se u znatno jednostavnijoj izradi oblika žiga za utiskivanje nego odgovarajuće gravure, postizanju identičnosti obradaka dobijenih iz različitih gravura, visokom kvalitetu obradjenih površina gravura i ne presecanju toka vlakana materijala u toku obrade što povećava postojanost alata.

### 3. Oblikovanje gravura hladnim utiskivanjem

Postupak izrade gravura putem hladnom utiskivanja može biti primenjen u određenim uslovima za gravure manjih i srednjih dimenzija izradjene u elementima alata iz čeličnih materijala. U određenim uslovima postupak može biti veoma rentabilan. Njegova primena može se odnositi na alate za oblikovanje hladnom ili toplom deformacijom čeličnih i drugih metalnih materijala, za alate za livenje pod pritiskom, ali i za alate za oblikovanje delova iz plastičnih, gumenih, staklenih i drugih sličnih materijal. Postupak je interesantan za uslove seriske i masovne proizvodnje, naročito kada postoji potreba za ponavljanjem izrade istih gravura.

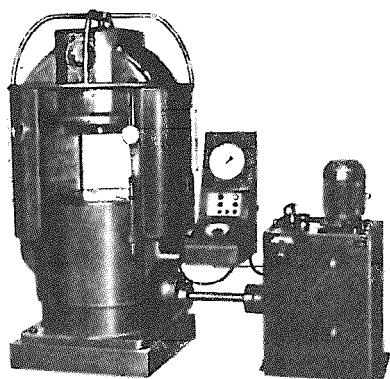
#### 3.1 Karakteristike postupka

Hladno utiskivanje gravura se može svrstati u novije postupke obrade, odnosno spada u manje rasprostranjene postupke obrade, bar kada je reč o primeni u našoj zemlji. U literaturi postoje objavljeni podaci o karakteristikama ovog postupka, uglavnom dobiveni na osnovu iskustva u njegovoj primeni i nekih eksperimentalnih istraživanja.

Hladno utiskivanje gravura vrši se pomoću žiga iz kaljenog čelika u matrici iz alatnog čelika žarenog na povoljnu kristalnu strukturu, na temperaturi koja je ispod temperature rekristalizacije. Proces se izvodi na specijalnim hidrauličnim presama (sl. 1), kompaktne konstrukcije kostura zatvorenog tipa, koja omogućava veoma male brzine kretanja žiga (do 0,3 mm/sec) i visoke deformacione sile na žigu potrebne za ostvarenje procesa utiskivanja. Na sl. 1 pokazana presa za hladno utiskivanje gravure je proizvod firme Sack und Kiesselbach iz Nürnberga. To je tipičan oblik hidraulične prese za hladno utiskivanje gravura s donjim pogonom klipa i opremom za automatsko izvođenje procesa utiskivanja gravura.

U principu proces utiskivanja gravura se može vršiti na dva načina i to:

- kao slobodno utiskivanje ili
- kao utiskivanje u kalupu.

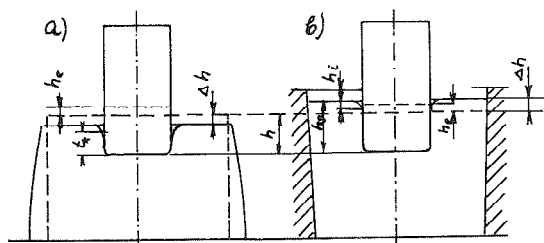


Sl. 1 - Hidraulična presa za hladno utiskivanje gravura jačine 2500 Mp

Šematski prikaz ova dva načina utiskivanja daje se na sl. 2. Slobodno utiskivanje vrši se obično u slučaju većih dimenzija matrice i u tom slučaju mora biti zadovoljen uslov određenog odnosa površine gravure prema slobodnoj čeonj površini matrice. Ovim postupkom se postiže nešto manja tačnost zbog slobodnog tečenja metala u svim pravcima.

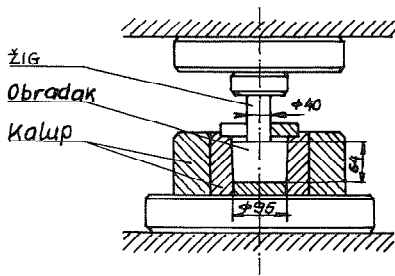
Utiskivanje u kalupu (sl.2b i sl. 3) ostvaruje se tako

da se obradak (buduća matrica) za vreme utiskivanja stavlja u određeni kalup, koji usmerava tečenje metala u toku procesa.



Sl. 2 - Šematski prikaz utiskivanja gravura  
a/ slobodno utiskivanje  
b/ utiskivanje u kalupu

Na sl. 3 prema [2] pokazani su osnovni elementi uređaja (kalupa) za utiskivanje gravura u kalupu. U ovom slučaju pokazane su i konkretne dimenzije iz kojih se vidi da se radi o utiskivanju gravure s prečnikom žiga  $\phi$  40 mm u matricu  $\phi$  95 mm, čija je visina 64 mm. Matrica ima nagib izvodnice od  $2^\circ$  radi vadjenja obratka posle utiskivanja. Zbog usmerenog tečenja metala pri ovom procesu se stvara povoljnije naponsko stanje, koje omogućava postizanje većih dubina utiskivanja pri istom materijalu matrice u odnosu na slučaj slobodnog utiskivanja. Smatra se da



Sl. 3 - Utiskivanje gravure u kalupu

primenom poliranog i bakarisanog žiga za utiskivanje. Kao mazivno sredstvo za razdvajanje metalnih površina primenjuje se, dakle, bakarisanje žiga uz premazivanje kontaktnih površina molibdensulfidom. Značajno je da se kvalitet površine gravure, dobijen hladnim utiskivanjem, ne umanja kasnijom termičkom obradom matrice, odnosno, potrebno je da se termička obrada tako izvede da što manje dodje do kvarenja dobijenog kvaliteta površine.

Dubina utiskivanja  $h$  (sl. 2) je put, koji izvrši čeona površina žiga u obratku. Hod prese -  $h_p$ , koga treba podesiti na mašini razlikuje se od dubine utiskivanja za veličinu elastičnih deformacija žiga, uređaja kalupa i prese -  $h_e$  i za veličinu promene visine obratka  $\Delta h$  uslovljene tečenjem metala u toku procesa obrade. Sa sl. 2 se vidi da ova promena visine obratka može biti pozitivna ili negativna, što zavisi od toga da li se utiskivanje vrši u kalupu ili slobodno. Na osnovu ovoga može se postaviti veza u obliku

$$h = h_p - h_e \pm \Delta h. \quad (1)$$

Znak + važi za utiskivanje u kalupu, a minus, za slobodno utiskivanje. U praksi se razlika između hoda prese i dubine utiskivanja uzima u obzir na osnovu poznatih iskustvenih podataka. Treba imati u vidu da se korisna dubina gravure -  $h_k$  razlikuje od dubine gravure  $h$  za veličinu povijanja ivice gravure  $h_i$ , tako da se izraz za korisnu dubinu gravure može napisati u obliku

$$h_k = h_p - h_e - h_i \pm \Delta h. \quad (2)$$

slobodno utiskivanje gravura može biti uspešno primenjeno samo za gravure manjih dubina - za plitke gravure.

Visok kvalitet površine gravure postiže se uz uslov visokog kvaliteta polazne površine matrice (brušena i polirana) i

Pri merenju dubine gravure posle utiskivanja, korisna dubina se dobija (sl. 2) kao razlika

$$h_k = h_g - h_i \quad (2')$$

Prese novijih konstrukcija za utiskivanje gravura su snabdevene uredjajima za automatsko merenje hoda prese i njegovo isključivanje pri postizanju odredjene veličine, odnosno automatikom za isključivanje pogona prese pri dostizanju odredjenog opterećenja. Za slučaj presa starije konstrukcije ovi se uredjaji mogu prigraditi, odnosno pri eksperimentalnom istraživanju ovog procesa koristiti indukzione davače puta, pomoću kojih se mehanička veličina (put) pretvara u električne signale.

Dubina utiskivanja je osnovna karakteristika procesa i na osnovu nje se odredjuju drugi parametri procesa. Osnovne karakteristike gravure su dubina utiskivanja i čeona površina žiga, odnosno projekcije površina gravure na čeonu površinu matrice. Oba ova faktora objedinjena su odnosom

$$\epsilon_n = \frac{h}{d}, \quad (3)$$

gde je  $d$  - prečnik žiga, odnosno ekvivalentni prečnik, koji se dobija prevodjenjem proizvoljnog oblika čeone površine žiga  $a$  [ $\text{mm}^2$ ] u kružni preko izraza

$$d = 1,13 \sqrt{a} \quad [\text{mm}], \quad (4)$$

pri čemu je  $a$  [ $\text{mm}^2$ ] - površina žiga. Relativna dubina utiskivanja  $\epsilon_n$  je merilo veličine deformacije u procesu utiskivanja i prema [4] preko nje se može doći do veličine logaritamske deformacije na osnovu

$$\varphi = 33 \epsilon_n - 1 \quad [\%] \quad (5)$$

Značajna karakteristika procesa hladnog utiskivanja gravura je da se odvija pri veoma maloj brzini prodiranja žiga u materijal. Na osnovu iskustva došlo se do podataka da se brzina utiskivanja po pravilu kreće između 0,1 i 10 mm/min u zavisnosti od vrste materijala matrice i oblika gravure. U slučaju veće brzine prodiranja žiga, javljaju se pukotine u materijalu matrice, što vodi njenom oštećenju.



### 3.2 Obradivost materijala utiskivanjem

Proces hladnog utiskivanja gravura može biti uspešno izveden uz uslov da materijal buduće matrice poseduje dovoljnu obradivost s obzirom na ovaj način obrade. Pri naručivanju materijala za matrice potrebno je posebno naglasiti da će se oblikovanje gravure vršiti hladnim utiskivanjem, kako bi se osigurala moguća obradivost s obzirom na ovu tehnologiju obrade. U Zapadnoj Nemačkoj razvijene su posebne vrste alatnih čelika, koje su pogodne za izradu gravura hladnim utiskivanjem. U procesu hladnog utiskivanja dolazi do pojave značajnog deformacionog ojačavanja materijala, što s povećanjem dubine utiskivanja smanjuje obradivost. U stvari, obradivost hladnim utiskivanjem se iscrpljuje s pojavom prvih pukotina u metalu, koje vode oštećenju gravure. Obradivost zavisi s jedne strane od samog materijala (hemiski sastav, strukturno stanje) i s druge strane od naponskog stanja u obratku u toku procesa utiskivanja (oblik i veličina gravure, način utiskivanja - slobodno ili u kalupu, stanje kontaktnih površina).

Tvrdoća posle žarenja je glavna karakteristika materijala matrice. Od nje zavisi veličina specifičnog pritiska utiskivanja, koji zbog deformacionog ojačavanja raste s porastom dubine utiskivanja. Žarenje treba biti tako izvedeno da se dobije najniža moguća tvrdoća (i jačina) za određeni hemiski sastav materijala. Tvrdoća posle žarenja zavisi od hemiskog sastava čelika, termičke obrade i postignute strukture metala. Ona u prvom redu zavisi od sadržaja legirajućih elemenata rastvorenih u feritu kao i od oblika, količine i rasporeda izlučenih karbida ugljenika i gvoždja. Rastvoreni legirajući elementi i ugljenik u zavisnosti od sadržaja utiču na deformaciono ojačavanje čelika. Kod niza materijala posebnim postupcima žarenja smanjuje se tvrdoća u granicama, koje zavise od sadržaja legirajućih elemenata. Sklonost deformacionom ojačavanju matrice iz feritnih materijala je približno ista bez obzira na sadržaj karbida i legirajućih elemenata, dok je ova sklonost znatno veća kod austenitnih čelika, zbog čega su oni samo ograničeno obradivi hladnim utiskivanjem. Prema [4] postoji direktna povezanost između tvrdoće po Brinelu, relativne dubine utiskivanja i spe-

cifičnog pritiska utiskivanja. Ova povezanost se koristi za odredjivanje veličine potrebnog specifičnog pritiska utiskivanja. Za praktične potrebe mogu se koristiti podaci [4] navedeni u tabeli 1.

Tabela 1 - Specifični pritisak utiskivanja gravura  $p/kp/mm^2$

Tvrdoća po Brinelly HB /kp/mm <sup>2</sup> /	Relativna dubina utiskivanja $\epsilon_n = \frac{h}{d}$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
100	120	142	157	168	178	187	193	200	203	207
105	126	149	165	176	186	196	202	210	214	217
110	132	156	173	185	196	206	212	220	225	228
115	138	163	181	193	204	215	222	230	235	239
120	144	170	189	202	214	225	231	240	245	249
125	150	177	196	210	223	234	241	250	255	260
130	156	184	204	218	232	244	251	260	265	270
135	162	192	212	227	241	253	260	270	275	280
140	168	199	220	235	250	263	270	280	286	290
145	174	206	228	243	259	272	280	290	296	300
150	180	213	236	252	267	280	290	300		
155	186	220	244	261	276	290	300			
160	192	227	252	269	285	300				
165	198	235	260	278	294					
170	204	242	267	286						
175	210	249	275	294						
180	216	256	283							
185	222	263	291							
190	228	270	298							
195	234	277								
200	240	284								
205	246	291								
210	252	298								
215	258									
220	264									
225	270									
230	276									
235	282									
240	288									
245	294									
250	300									

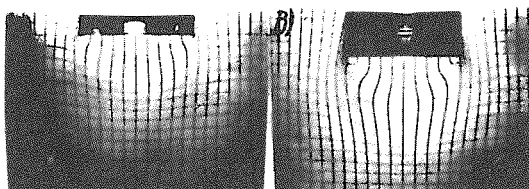
U tabeli 2 prema [3] daju se podaci o materijalima, koji se uspešno mogu obradivati hladnim utiskivanjem.

Tabela 2 - Alatni čelici za hladno utiskivanje gravura

Oznaka	Sastav / % /											Napomena	
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Co	Al	Other		
<b>Čelici za cementaciju</b>													
C10 WS	0,10	0,3	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	110	Alati za livenje pod pritiskom
X6CrMo4	0,08	0,10	0,12	0,4	0,5	-	-	-	-	-	-	110	
X8CrMoV5	0,08	0,20	0,30	5,0	0,7	-	0,3	-	-	-	-	140	
21MnCr5	0,21	0,3	1,2	1,0	-	-	-	-	-	-	-	175	
15CrNi6	0,15	0,25	0,5	1,5	-	1,5	-	-	-	-	-	190	
<b>Čelici za hladan rad</b>													
C100 W1	1,0	0,20	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	190	Žigovi i matrice u industr.vijčane robe
95 V4	0,95	0,3	0,4	-	-	-	0,4	-	-	-	-	190	
90 Cr3	0,9	0,2	0,3	0,8	-	-	-	-	-	-	-	195	
X40Cr13	0,4	0,4	0,3	13	-	-	-	-	-	-	-	210	
55NiCr10	0,55	0,2	0,4	0,6	-	2,75	-	-	-	-	-	215	Alati za utiskivanje oblika na novcu i za jedaći pribor
X45NiCrMo4	0,45	0,25	0,5	1,3	0,2	4,0	-	0,5	-	-	-	240	
X165CrMoV12	1,65	0,3	0,3	12	0,6	-	0,10	0,5	-	-	-	240	
<b>Čelici za topli rad</b>													
45CrMoV67	0,45	0,25	0,7	1,5	0,7	-	0,3	-	-	-	-	175	Žigovi i matr. u ind. vijč.robe, kalupi za prese, Alati za liv. pod pritiskom
X32CrMoV33	0,32	0,3	0,3	2,8	2,8	-	0,5	-	-	-	-	165	
X38CrMoV51	0,38	1,0	0,4	5,3	1,5	-	0,4	-	-	-	-	210	
45CrMoV58	0,45	0,6	0,4	2,0	0,5	-	0,8	0,5	-	-	-	220	Kokile za liv. pod pritiskom
X30WCrV53	0,3	0,2	0,3	2,5	-	-	0,6	4,5	-	-	-	220	
55NiCrMoV6	0,55	0,2	0,6	0,7	0,2	1,7	0,4	-	-	-	-	220	
56NiCrMoV7	0,56	0,3	0,7	1,1	0,5	1,7	0,1	-	-	-	-	220	
<b>Brzorezni čelici</b>													
S3-2-2	0,95	0,25	0,3	4,5	2,5	-	2,8	3,0	-	-	-	240	Kalupi za umetn.staki
S2-9-1	0,80	0,25	0,3	4,0	9	-	1,2	2,0	-	-	-	240	

### 3.3 Odredjivanje sile utiskivanja

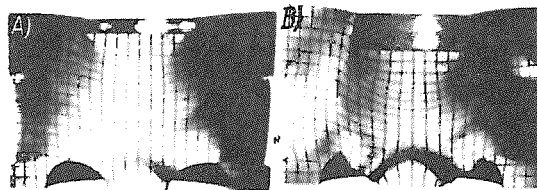
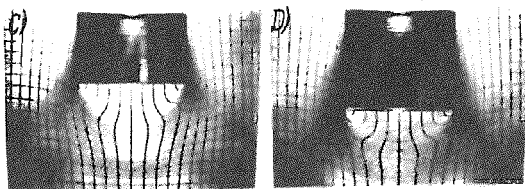
Hladno utiskivanje gravura vezano je s velikim opterećenjem žiga za utiskivanje. U analizi ovog procesa posebna pažnja se poklanja uticajima preko kojih je moguće smanjiti silu utiskivanja. Pomoću mreže linija postavljene u aksijalnom preseku matrice, moguće je dobiti podatke o karakteru deformacija u toku procesa. Na slikama 4 i 5 prema [3] pokazane su deformacije mreže linija za različite dubine utiskivanja - u prvom slučaju bez izreza za olakšanje tečenja metala, dok je na sl. 5 - u drugom slučaju, sa izrezima (prostorima) za olakšanje tečenja metala.



Sl. 4 - Deformacija mreže linija u aksijalnom preseku

A/  $\epsilon_n = 0,2$ ; B/  $\epsilon_n = 0,4$

C/  $\epsilon_n = 0,6$ ; D/  $\epsilon_n = 0,8$



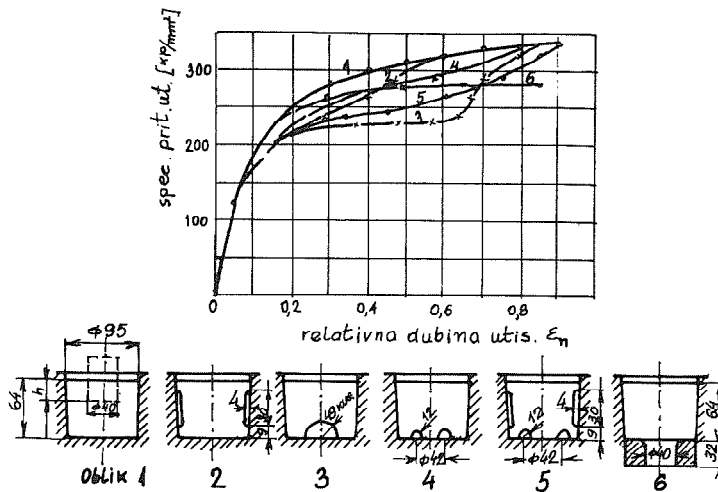
Sl. 5 - Deformacije mreže linija u aksijalnom preseku za slučaj postojanja prostora za olakšanje tečenja metala

A/  $\epsilon_n = 0,2$ ; B/  $\epsilon_n = 0,4$

C/  $\epsilon_n = 0,6$ ; D/  $\epsilon_n = 0,8$

Smatra se da proces utiskivanja u kalupu ima niz prednosti u odnosu na slobodno utiskivanje, pa se odredjivanje sile utis-

kivanja odnosi na hladno utiskivanje gravura u kalupu. Kod ovog procesa se može postići izvesno smanjenje specifičnog pritiska utiskivanja oslobadjanjem odredjenih prostora za olakšanje tečenja metala. Mogućnosti, odnosno, načini oslobadjanja prostora za olakšanje tečenja metala pokazani su na sl. 6 prema [2]. Odnosi se na konkretan primer utiskivanja žiga  $\phi 40$  mm. Istovremeno na dijagramu sl. 6 date su odgovarajuće krive zavisnosti spec. pritiska utiskivanja od relativne dubine utiskivanja. Kriva 1 predstavlja najveće spec. prit što odgovara obliku matrice u kalupu 1, odnosno bez prostora za olakšanje tečenja metala. Ostale krive su za odgovarajuće oblike matrice sa prostorima za olakšanje tečenja metala.



Sl. 6 - Matrice sa odgovarajućim oblicima prostora za olakš. tečenja metala

Prostori za olakšanje tečenja metala su kanali odredjenih dimenzija po obimu ili na dnu matrice.

Potrebna sila utiskivanja može se odrediti na nekoliko načina, približno, ali za praksu zadovoljavajuće tačnosti.

Ako se kao kriterijum usvoji maksimalno dopušteno specifično opterećenje žiga, koje prema tabeli 3 u zavisnosti od vrste materijala iznosi 280 do 320  $\text{kp/mm}^2$ , onda se granična vrednost sila utiskivanja dobija kao proizvod vrednosti srednjeg speci-

fičnog opterećenja žiga i njegove čeone površine.

Tabela 3 - Karakteristike materijala za žigove za hladno utiskivanje gravura

O z n a k a		S a s t a v /%/									Ugradbena tvrdoća HRC	Dozvolj. spec.prit. /kp/mm <sup>2</sup> /
Prema DIN-u 17 006	Prema JUS-u	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W			
X165CrMoV12	Č.4750	1,65	0,3	0,3	12,0	0,6	-	0,1	0,5	61	300	
75CrMoNiW67		0,75	0,2	0,2	1,5	0,7	0,5	-	0,3	61	280	
55Ni Cr 10		0,55	0,2	0,5	0,6	-	2,75	-	-	56	220	

Drugi način se bazira na vrednosti specifičnog deformacionog otpora, koji iznosi

$$p = 4,5 k \quad (6)$$

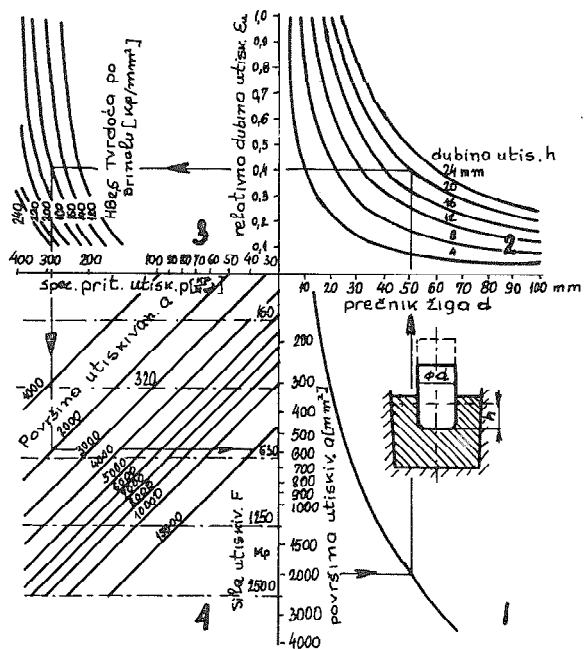
Pri ovome se k dobija iz krive deformacionog ojačanja za materijal matrice. Relacija (6), koja tvrdi da je specifični pritisak utiskivanja 4,5 puta veći od specifičnog deformacionog otpora iz krive ojačavanja dobijena je višestrukim ispitivanjem. Na ovaj način se sila utiskivanja dobija preko jednostavne relacije

$$F = a \cdot 4,5 \cdot k \quad (7)$$

gde su:  $a$  [mm<sup>2</sup>] - čeona površina žiga

$k$  [kp/mm<sup>2</sup>] - specifični deformacioni otpor iz krive deform. ojačavanja.

Sila utiskivanja, u zavisnosti od geometrijskih karakteristika gravure i vrste materijala, odnosno, njegovih karakteristika, može se odrediti preko nomograma, koji se prema [2] daje na slici 7 za područje do 2500 Mp.

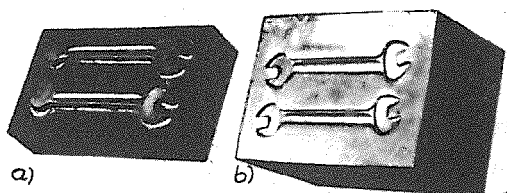


Slika 7.- Nomogram za određivanje sile pri hladnom utiskivanju gravura

### 3.4 Primena hladnog utiskivanja gravura i rentabilnost procesa

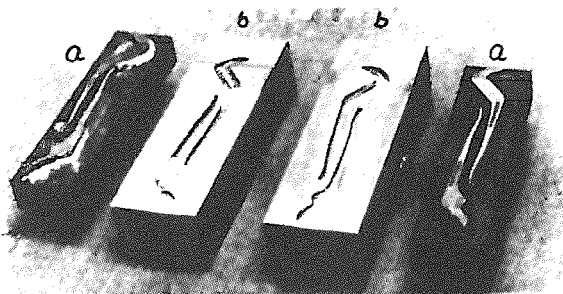
Nekoliko primera primene hladnog utiskivanja gravura može donekle da ukaže na značaj ove metode pri izradi gravura u alatima. Autoru je poznata primena procesa hladnog utiskivanja gravura u nekoliko jugoslovenskih preduzeća.

Preduzeće TANG iz Nove Gradiške poseduje presu za hladno utiskivanje gravura istočno nemačke proizvodnje maksimalne sile 1000 Mp. U ovom preduzeću se već više godina veoma uspešno primenjuje hladno utiskivanje gravura u alate za kovanje. Primeri iz ove prakse daju se na slikama 8 i 9. U prvom slučaju radi se o gravuri za kovanje dvokrakog otvorenog ključa. Na sl. 9 date su gravure i odgovarajući žigovi za kovanje klješta za cevi. U ovom preduzeću postoji čitav niz artikala za koje se izrada gravura u alatima za kovanje vrši hladnim utiskivanjem.



- a/ žig za utiskivanje
- b/ utisnuta gravura u matrici - kalupu

Sl. 8 - Primena hl.utiskiv. gravure pri izradi kalupa za kovanje otvorenih ključeva



- a/ žig za utiskivanje
- b/ utisnuta gravura u kalupu

Sl. 9 -Primena hl.utiskiv.gravure pri izradi kalupa za kovanje klješta za cevi

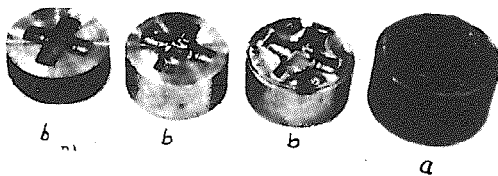
U preduzeću "Petar Drapšin" iz Novog Sada postoji presa za hladno utiskivanje gravura jačine 630 Mp. Ona se koristi samo u nekim slučajevima za olakšanje izrade gravura na alatima za vijčanu robu. I ako je u ovom preduzeću pretežno zastupljena primena uložaka iz tvrdog metala na alatima za hladno oblikovanje, ipak je u rekonstrukciji preduzeća osigurana nabavka i jedne mašine za hladno utiskivanje gravura italijanske proizvodnje.

Preduzeće "Morava" iz Požarevca poseduje mašinu za hladno utiskivanje gravura savremene konstrukcije, ali njeno korištenje u ove svrhe još nije zastupljeno.

Preduzeće "Marko Orešković" iz Ličkog Osika takodje poseduje mašinu za hladno utiskivanje gravura, koju uspešno koristi već više godina u proizvodnji alata.

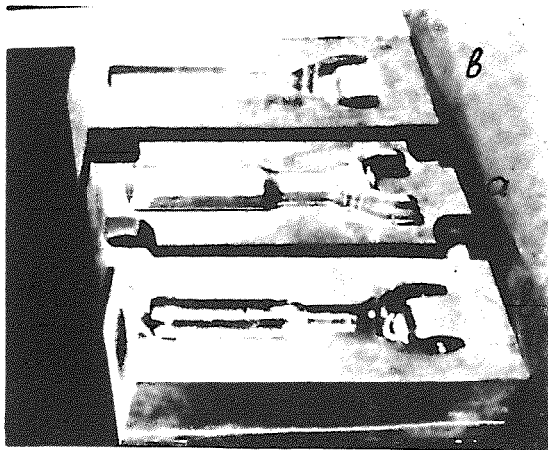


Na slikama 10 i 11 daju se primeri gravura i odgovarajućih žigova za utiskivanje za slučaj alata za kovanje krsta kardanskog zgloba, odnosno dela kardanske osovine.



a - žig za utiskivanje  
b - gravure u kalupima

Sl. 10 - Primena hl. utiskiv. gravura pri izradi kalupa za kovanje krsta kard. zgloba



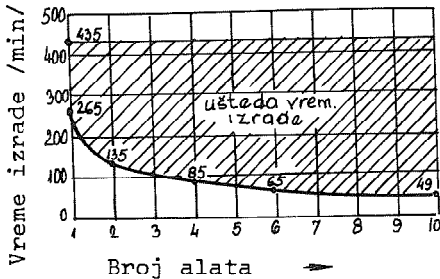
a - žig za utiskivanje  
b - utisnute gravure u kalupu

Sl. 11 - Primena hl. utiskivanja gravura pri izradi kalupa za kovanje kardanske osovine

Proces utiskivanja traje veoma kratko u odnosu na druge načine izrade gravura. Međutim, da bi se izveo ovaj proces potrebno je prethodno izraditi žig za utiskivanje. Obrada žiga zahteva znatan utrošak vremena, ali jednom izradjeni žig za utiskivanje gravura može se koristiti za izradu većeg broja gravura. Pošto je glavna ušteta u troškovima izrade sadržana u smanjenju vremena izrade to prednosti primene ove metode izrade gravura dolaze do izražaja kada je potrebno višestruko ponavljanje izrade istih gravura. U tom slučaju pored ekonomske opravdanosti primene ove metode koristi se i tehnička prednost da se dobijaju sve gravure identičnog oblika i dimenzija što je veoma značajno u seriskoj

OD. 5.16

i masovnoj proizvodnji određenih obradaka, a drugim metodama obrade se teško može ostvariti. Na sl. 12 daje se prikaz ušteda u vremenu izrade alata za toplo oblikovanje vijka M 24 u zavisnosti od broja alata i načina njihove izrade prema [1]. I u slučaju alata za druge obratke postoje slične relacije u pogledu utroška vremena izrade.



Skidanjem strugotine:  
 Predstruganje = 15 min.  
 Ručna obrada  
 šestougaone šupljine = 420 min.  
 Svega: 435 min.

Bez skidanja strugotine:  
 Predstruganje = 10 min.  
 Utiskivanje = 15 min.  
 Izrada žiga za utiskivanje = 240 min.  
 Svega 265 min.

Sl. 12.- Zavisnost vremena izrade od broja alata i načina obrade za obl. vijka M24

#### 4. Zaključak

U određenim uslovima, pri izradi gravura u alatima različite namene, može biti veoma uspešno primenjeno hladno utiskivanje. Naročito je ekonomski i tehnički opravdana primena ovog postupka ako postoji potreba za većim brojem istih gravura. Hladno utiskivanje gravura uslovljava hidrauličnu presu specijalne konstrukcije, koja omogućava stvaranje velikih sila uz veoma male brzine kretanja žiga. Prese takvih konstrukcija danas u svetu proizvodi više specijalizovanih proizvođača u familijama, čije su maksimalne jačine do preko 3000 Mp. Osim toga matrice u koje se vrši utiskivanje gravura, moraju biti iz materijala takvog hemiskog sastava i strukturnog stanja da osigurava dovoljnu obradivost hladnim utiskivanjem. Postupak hladnog utiskivanja gravura u literaturi je nedovoljno obradjen, a objavljeni podaci su uglavnom vezani za eksperimentalna istraživanja u određenim uslovima. Prema saznanjima i mišljenju autora ovog saopštenja, ovaj postupak je u našoj zemlji nedovoljno primenjen u izradi alata. Jedan od razloga nedovoljne primene verovatno leži i u neposredovanju podataka o karakteristikama i mogućnostima procesa hladnog utiskivanja gravura, radi čega bi eksperimentalna i teoretska istraživanja na ovom području bila interesantna i korisna. OD.5.17

## 5. Literatura

1. Billigmann/Feldmann: Stauchen und Pressen, C.H.V., München 1973.
2. Hoischen H.: Das Kalteinsenken von Gravuren für Schmiede gesenke, "Industrie-Anzeiger". Nr 56 von 14 juli 1967.
3. Hoischen H.: Werkzeugformgebung durch Kalteinsenken, "Werkstatt und Betrieb", No 4 Seite 275-282 1971. C.H.V. München
4. VDI Richtlinien 3170: Kalteinsenken von Werkzeugen, August 1961.
5. Praktičar 2, Strojarstvo, str. 702-706, školska knjiga Zagreb 1972.

V. Vujović

### DAS KALTEINSENKEN VON GRAVUREN FÜR WERKZEUGE

Das Kalteinsenken in Werkzeugproduktion ist anwendbar für Herstellung von Werkzeuge aus verschiedene Industriezweige. Das sind: Warmgesenkschmieden, Kaltumformen von Stahl und NE-Metalen, Druckgusseinspritzten, Kunststoffindustrie, Gummiindustrie, Glassindustrie und andere. Die Anwendung des Verfarenens ist besonders Wirtschaftlich wenn den Anzahl von Gravuren steigert. Für das Kalteinsenken es wird gebrauchen hydraulische Sonderpresse und das Material der Matrize mit genügend Einsenkenbarkeit. Muss die Glühärte so senken wie möglich. Der spezifische Einsenkdruk und der Einsenkkraft sind abhängig von die relative Einsenktiefe und Glüharte des Matrizewerkstoff. Es sind freien Einsenken und Einsenken mit dem Haltering. Das freie Einsenken lassen sich anwenden bei der kleinen Einsenktiefe. Der günstigere Spannungszustand in das Material ist bei Einsenken mit dem Haltering, wegedem grössere Einsenktiefe bei gleiche andere Bedinungen sind möglich. Nach Anwendungsmöglichkeiten das Kaltensenken in Jugoslawien ist nicht genug verbreitet und entwickelt. Fählen Verwendbare Charakteristiken des Verfarenens.

## IX. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NIŠ, 1974.

V. STOILJKOVIĆ x)

### PRIKAZ IZRADE ELEMENATA OD LIMA DUBOKIM IZVLAČENJEM POMOĆU NESTIŠLJIVOG FLUIDA xx)

U v o d

Brzi razvoj tehnike, koji je naročito izražen u oblasti obrade materijala deformacijom, dovodi do stalnog usavršavanja postojećih metoda izrade elemenata oblikovanjem limova, kao i do uvođenja novih. Tako su se zadnjih godina, za izradu elemenata metodom dubokog izvlačenja limova, pojavili postupci koji za to oblikovanje koriste nestišljiv fluid. Na osnovi dosadašnjih istraživanja na ovom polju vidi se da novi postupci otvaraju široke mogućnosti za primenu ovih metoda u izradu elemenata.

Stoga se u ovom radu daje prikaz izrade elemenata metodom dubokog izvlačenja pomoću nestišljivog fluida u želji da se kroz uopštena razmatranja da uvod i osnova za istraživanja u ovoj oblasti.

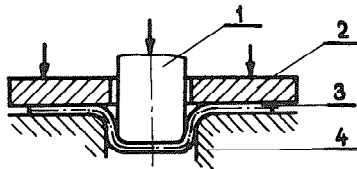
Poznato je da je proces izrade elemenata metodom dubokog izvlačenja limova karakterističan s aspekta naponskog i deformacionog stanja kao i po svojoj sveukupnoj složenosti, jer se tim procesom iz ravne platine lima dobijaju šuplja tela najrazličitijih oblika i to s tanjenjem i bez tanjenja zidova.

Pri klasičnom načinu izrade elemenata ovim postupkom obrada predmeta rada se ostvaruje relativnim pomeranjem radnih delova alata između kojih se nalazi materijal, tj. relativnim pomeranjem izvlačača u odnosu na prsten za izvlačenje, kako je prikazano na slici 1.

---

x) Vojislav Stoilković, dipl.ing., asistent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu.

xx) Saopštenje sa Katedre za proizvodno mašinstvo u okviru Naučno-istraživačkog projekta "Istraživanja na polju osvajanja tehnologije izrade predmeta rada metodom izvlačenja nestišljivim fluidom."



Slika 1.

Pri izvlačenju lima fluidom ulogu izvlakača, ili prstena za izvlačenje - kalupa - ili i jednog i drugog dela vrši nestišljivi fluid. Zavisno od ovoga razlikuju se postupci obrade materijala metodom dubokog izvlačenja pomoću nestišljivog fluida.

Postupci obrade materijala nestišljivim fluidom metodom dubokog izvlačenja medjusobno se razlikuju po svojim karakteristikama i efektima, a to znači da im se i domen primene razlikuje. Zato se u ovom radu, kroz klasifikaciju mogućih postupaka izrade žele usmeriti i istraživanja u ovoj oblasti.

#### K l a s i f i k a c i j a   p o s t u p a k a

Glavni kriterijumi pri klasifikaciji postupaka izrade elemenata od lima dubokim izvlačenjem su:

- sile koje se javljaju u procesu obrade;
- karakter deformisanja predmeta obrade;
- vid sredine koja se koristi kao deformišući - aktivni - deo alata i kao nosioc oblika - geometrije - dela, tj. pasivni deo alata, i
- početni oblik predmeta rada - ravan ili prostorni.

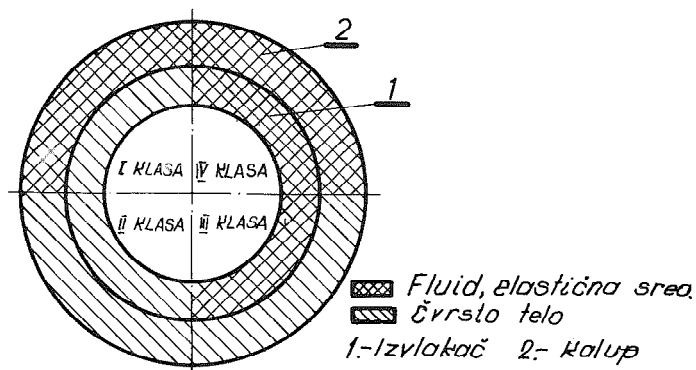
U ovom radu, kako je već rečeno, tretira se klasifikacija postupaka samo u zavisnosti od vida sredine koja se primenjuje u ulozi izvlakača ili kalupa. Po toj podeli javljaju se sledeće klase:

1 **KLASA** - U ovu klasu spadaju svi postupci u kojih je nosilac oblika i dimenzija - geometrije - predmeta rada čvrst izvlakač, a deformacija predmeta rada se ostvaruje dejstvom fluida ili elastičnog tela na njega;

- 2 KLASA - u koju spadaju postupci u kojih funkciju nosioca oblika i dimenzija, kao i ostvarenje deformacije predmeta rada vrše čvrsti delovi alata - klasičan alat;
- 3 KLASA - u ovu klasu spadaju postupci u kojih je nosilac oblika i dimenzija čvrst kalup, a deformacija predmeta rada se ostvaruje dejstvom fluida ili elastičnog tela na njega, i
- 4 KLASA - u ovu klasu spadaju postupci u kojih funkcija nosioca oblika i dimenzija, kao i ostvarenje deformacije predmeta rada vrši fluid ili elastična sredina.

Pobrojane klase postupaka izrade elemenata od lima dubokim izvlačenjem mogu se dalje rasčlaniti u potklase, a što se postiže raznim kombinacijama.

Klasifikacija postupaka i uopšte izrade elemenata od lima raznim metodama njegovog oblikovanja plastičnom deformacijom, a u zavisnosti od vida sredine koja se pri tome koristi, data je na slici 2.



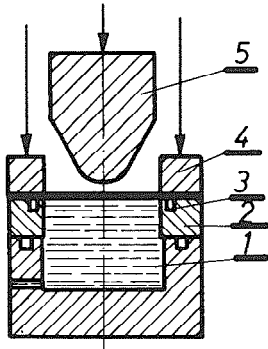
Slika 2.

Pri daljem tretiranju navedene četiri klase postupaka razmatra se samo izrada elemenata metodom dubokog izvlačenja koji se dobijaju iz ravnog lima, odnosno ne tretira se problem dobijanja elemenata iz prostorno oblikovanog polaznog materijala.

## Postupci prve klase

Na slici 3. prikazan je postupak izrade elemenata od lima metodom dubokog izvlačenja po prvoj klasi.

Donji deo alata čini posuda (poz.1), fluid (poz.6) i držač lima koji se sastoji iz dva dela (poz.2) i (poz.4) između kojih je lim od koga se izradjuje predmet rada. Ivična kontura držača lima ima približni oblik izvučenog dela. U držaču lima smešten je



zaptivač (poz.3). Gornji deo alata čini izvlakač (poz.5). Postupak izrade predmeta rada je jasan na osnovi priložene slike.

Prednosti koje pruža ovaj postupak u odnosu na klasičan (kalasa 2) su sledeće:

- dostižan odnos izvlačenja tj. odnos preoblikovanja približava se teorijskom i može biti do 2,7:1;
- potreban je manji broj operacija i to naročito pri izradi koničnih i paraboličnih delova koji se ovim postupkom mogu dobiti iz jedne operacije;
- znatno je manje stanjenje lima na prelaznim radijusima, i postiže se besprekorno dobijanje manjih radijusa i reljefa;
- u istom alatu je moguća obrada limova od različitih vrsta materijala i različitih debljina;
- veoma nisko koštanje alata;
- dobijanje odlične površine i tačnosti dela i
- manji uticaj sila trenja na neravnomernost deformacije pri oblikovanju predmeta rada.

Međutim, glavni nedostaci ovog postupka su:

- neophodnost stvaranja visokog pritiska;
- neophodnost regulisanja tog pritiska u procesu izvlačenja po nekom zakonu promene, a da bi se sprečilo stvaranje nabora i neželjeno deformisanje lima;

OD.6.4

- potreba za dobrim zaptivanjem obzirom da se radi s visokim pritiscima.

I pored ovih nedostataka ovaj postupak zauzima sve vidnije mesto.

#### P o s t u p c i   d r u g e   k l a s e

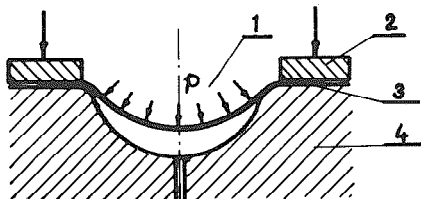
Ovo je najviše primenjivan postupak. Shematski je prikazan na slici 1. Materijal koji se obrađuje (poz.3) stavlja se izmedju prstena za izvlačenje (poz.4) i držača lima (poz.2). Deformišuća sila se predaje preko izvlakača (poz.1). Žarište deformacije rasporedjeno je po obodu i po zaobljenoj ivici prstena za izvlačenje. Deo koji se izvlači, u žarištu deformacije, ima kontakt s površinom jednog radnog dela alata-prstenom za izvlačenje.

Nedostaci ovog postupka u odnosu na prethodni su sledeći:

- veće sile trenja koje se javljaju na kontaktnim površinama;
- dozvoljeni stepen preoblikovanja  $k=D_0/D$  je niži;
- veće relativno stanjenje lima i
- skuplji alat i komplikovanija izrada istog.

#### P o s t u p c i   t r e ć e   k l a s e

Ovaj postupak je prikazan na slici 4. Fluid (poz.1) dejstvuje na predmet rada (poz.3). Oblik izvučenog dela zavisi od oblika kalupa 4. Držanje lima se obezbedjuje držačem (poz.2).



Slika 4.

Ovaj postupak izvlačenja ima veći broj nedostataka u odnosu na postupak po klasi 1, i to:



- veći uticaj sila trenja na neravnomernost deformacije pri oblikovanju predmeta rada koji se manifestuje dobijanjem nesimetričnih delova, i
- veća neravnomernost debljine lima dobijenog dela.

Sile trenja, pri ovom postupku izvlačenja, su manje u odnosu na klasična izvlačenja, pa je i dozvoljen veći stepen preoblikovanja. Putevi koji dovode do intenzifikacije primene ovog postupka su u stvaranju sile trenja na centralnom delu. Na taj način se smanjuje veličina deformacije centralnog dela, a žarište deformacije se pomera prema obođu.

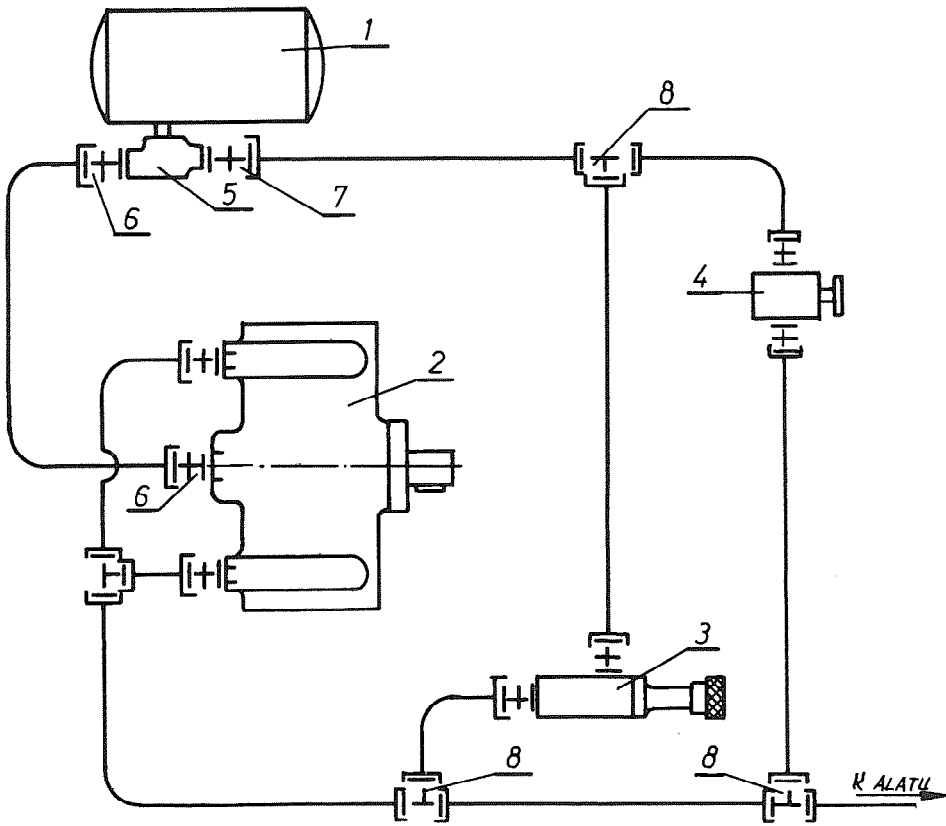
Izrada elemenata postupcima ove klase može se vršiti korišćenjem:

- specijalne hidropreme;
- univerzalnih mašina za obradu materijala deformacijom i
- kombinovanjem specijalne opreme i univerzalnih mašina.

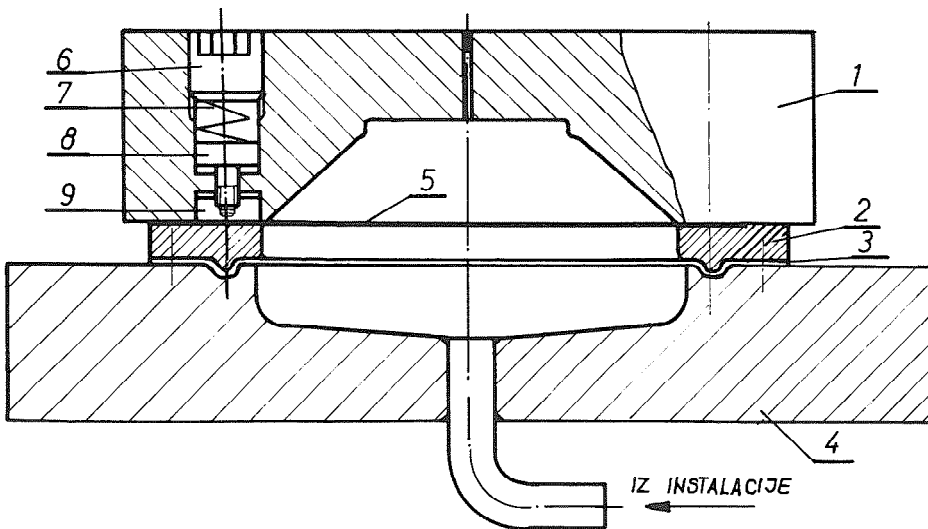
U ovom radu nadalje je tretirana kombinovana oprema na kojoj se vrše ispitivanja u laboratoriji za mašinsku obradu Mašinskog fakulteta u Nišu, a koja se sastoji od hidraulične instalacije visokog pritiska i od ekscentarske prese. Instalacija je shematski prikazana na slici 5.

Princip obezbeđenja potrebnog pritiska je sledeći. Iz rezervoara (poz.1) preko filtera za ulje (poz.5) i priključka (poz. 6) ulje slobodnim padom dolazi u pumpu visokog pritiska (poz.2) . Ulje pod pritiskom se transportuje preko trokrakog priključka (poz.8) u alat. Nakon završetka postupka izvlačenja ulje se slobodnim padom, iz alata, preko slavine (poz.4) vraća u rezervoar. Za regulisanje maksimalnog pritiska u alatu je ugrađen ventil sigurnosti (poz.3) preko koga se ulje direktno vraća u rezervoar. Na shemi je strelicama prikazan smer kretanja ulja.

Na slici 6. prikazan je alat za izvlačenje konično-cilindričnog dela po trećoj klasi koji može da se postavi na ekscentarkoj presi. Nosilac oblika u ovom alatu je kalup (poz.1), a deformišuća sila se predaje fluidom koji dolazi u donju ploču (poz.4) iz pumpe visokog pritiska. Da bi se obezbedilo zaptivanje, između donje ploče i kalupa je umetnuta gumena membrana (poz.3) koja je prstenom (poz.2) stegnuta. Početna platina (poz.5) stavlja



Slika 5.



Slika 6.

OD. 6.7

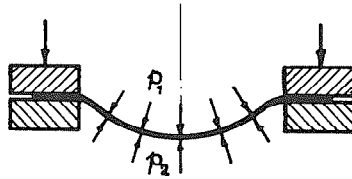
se na prsten (poz.4), Držanje lima se obezbeđuje prstenom (poz.9) na koji se, preko zavrtnjeva (poz.8) prenosi sila opruge (poz.7). Regulisanje sile u opruzi (poz.7) vrši se vijkom (poz.6).

Princip rada je sledeći: iz pumpe visokog pritiska ulje dolazi u komoru donje ploče (poz.4), pod čijim dejstvom se deformiše membrana (poz.3), a zatim se deformiše i predmet rada (poz. 5), koji se oblikuje prema kalupu (poz.1). Za vreme procesa izvlačenja alat je fiksiran na ekscentarskoj presi izmedju pritiskivača i stola. Po ispuštanju ulja, gornji deo alata se podiže i gotov deo se skida.

Ovo je jednostavan alat i namenjen je za ispitivanje izvlačenja limova po trećoj klasi postupaka izvlačenja. U ovaj alat potrebno je još priključiti manometar za merenje pritiska u toku procesa izvlačenja. Sa malom modifikacijom ovakav alat može se koristiti za proizvodnju delova.

#### P o s t u p a k i    č e t v r t e    k l a s e

Ovaj postupak je prikazan na slici 7.



Slika 7.

U ovog postupka gabaritne razmere i oblik izvučenog dela teže se dobijaju i funkcija su razlike pritiska  $p_1$  i  $p_2$ . To je razlog da do sada nije našao primenu.

Z a k l j u č a k :

Na osnovi svega što je izneto u ovom radu mogu se izvući sledeće zaključci:

OD.6.8

- postupci izrade elemenata od lima metodom dubokog izvlačenja po prvoj klasi pružaju najveće prednosti, ali zahtevaju specijalnu opremu, pa je to jedan od glavnih uzroka što još ne nalaze širu primenu;

- postupci iz treće klase su jednostavniji od postupaka iz klase 1, ali elementi dobijeni ovim postupcima imaju veće stanjenje zidova;

- postupci iz klase 4, ograničeni su na izradu samo sferičnih elemenata, a pri tome se teško dobijaju željene dimenzije, mada je ovaj način vrlo pogodan s obzirom na naponsko - deformaciono stanje materijala koji se obrađuje;

- neosporno je da postupci iz klase 1 i 3 otvaraju perspektivu da se dobijaju vrlo kvalitetni elementi komplikovanih oblika, koji se klasičnim alatima (klasa 2.) za duboko izvlačenje ne mogu dobiti;

- konačno iako dovoljno neispitane metode izrade elemenata od lima postupkom dubokog izvlačenja posredstvom nestišljivog fluida, otvaraju neosporno nove mogućnosti u dobijanju vrlo kvalitetnih elemenata, pa je sigurno da će se istraživanja na tom polju pokazati kao korisna.

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

- 1 E.I.Isačenko, Štampovka rezonoj i židkostju, Mašgiz, Moskva, 1962.
- 2 B.Musafija, Obrada metala plastičnom deformacijom, Sarajevo, 1965.
- 3.E.I.Isačenko, N.M.Birjukov, Blijanije veličini deformirujušćego davlenija na tehnologičeskie vozmožnosti procesov slobodnoj gibki - formovki zdastičnoj sredoj detali iz lista, Kuznečno-štampovočnoe proizvodstvo, No. 10. 1971.
4. E.A.Popov, Osnovi teori listovoj štampovki, Mašinostroenie, Moskva, 1968.
5. V.P.Romanovskij, Spravočnik po holodnoj štampovke, Mašinostroenie, Lenjingrad, 1971.

V. Stoiljković

DIE DARSTELLUNG DER BLECHELEMENTEAUSFUHRUNG MIT DER TIEFZIEHUNG  
MIT HILFE DES UNBESÄNFTIGEN FLUIDUMS

In dieser Arbeit gibt man die Darstellung der Elementearausführung mit der Tiefziehungsmethode mit Hilfe des unbesänftigen Fluidums, mit dem Wunsch durch generalisierte Betrachtung, die Einleitung und den Grund für die Erforschung in diesem Gebiet zu geben.

Die Verfahren der Materialbearbeitung mit den unbesänftigen Fluidums, mit der Tiefziehungsmethode, unterscheiden sich untereinander mit Eigenarten und Leistungen, und das bedeutet, da man Reichweite der Verwendung unterscheidet.

Hier gibt man Klassifikation der Verfahren der Blechelementearausführung mit der Tiefziehung und führt man Vorteile und Nachteile dieser Verfahren an.

## IX. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NIŠ, 1974.

P. POPOVIĆ, V. STOILJKOVIĆ, LJ. BOGDANOV x)

ISPITIVANJE NERAVNOMERNOSTI DEFORMACIJE PRI SABIJANJU  
ELEMENTATA xx)

U v o d

U ovom radu rasmatrana je neravnomernost deformacije pri sabijanju nekih materijala (Č 4131, Č 4732, MUK 7) koji se koriste za izradu elemenata plastičnim oblikovanjem u hladnom stanju. Ispitivanja su vršena sabijanjem cilindričnih elemenata i rezultati eksperimenata su prikazani kroz:

- grafički prikaz stepena neravnomernosti ( $n_d$ ) u funkciji odnosa prečnika ( $d$ ) i visine ( $h$ ) uzorka ( $d/h$ ),
- promenu mikrostrukture elementarnih površina u meridijanskom preseku i
- promenu tvrdoće u pojedinim tačkama istog preseka.

Pri ovome je korišćen metod određivanja naponsko-deformacionog stanja ispitivanjem tvrdoće. Konačno, zbog poredjenja su date i krive očvršćavanja za ispitivani materijal.

Pri obradi metala deformacijom javlja se neravnomerno naponsko stanje, pa prema tome, i neravnomerna deformacija. Ta neravnomerna deformacija je uzrok da posebni slojevi i elementi plastično deformišuće tela streme različitoj izmeni razmere.

---

x) Prof. dr Predrag Popović, dipl.ing., v. profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu, Vojislav Stoilković, dipl.ing., asistent i Ljubomir Bogdanov, dipl.ing., asistent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu.

xx) Saopštenje sa Katedre za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Nišu predstavlja deo naučno-istraživačkog projekta "Razvoj teorije i savremenih metoda i sredstava za obradu deformacijom i istraživanje obradivosti domaćih materijala".

U isto vreme, kako je u pitanju kontinualna sredina, posebni slojevi i elementi tela ne mogu da menjaju svoju razmeru **samo-stalno**, bez uticaja na susedne slojeve i elemente. "S toga **sloj**, koji teži ka većoj izmeni razmere prema srednjoj vrednosti, **pređaće** sloju i elementima, koji streme ka manjoj izmeni razmere sile takvog znaka, koji uveličavaju izmenu razmere. Sloj i elementi, koji streme ka manjoj izmeni razmere, pređaće sloju i elementima, koji streme većoj izmeni razmere sile takvog znaka, koje umanjuju izmenu razmere" (S.I.Gubkin). Kako se telo nalazi u ravnoteži, pored unutrašnjih sila, koje se uravnotežavaju spoljašnjim silama, u telu se javljaju uzajamno uravnotežavajuće unutrašnje sile, koje stvaraju napone. Ovi naponi se ne mogu prikazati konturnim uslovima, niti jednačinama ravnoteže. To su dopunski naponi koji ne određuju shemu naponskog stanja, koja odgovara spoljašnjim silama, o ova naprezanja mogu biti:

- a) dopunska naprezanja prvog reda, uravnotežavaju se medju posebnim slojevima tela,
- b) dopunska naprezanja drugog reda, uravnotežavaju se medju posebnim kristalima i
- c) dopunska naprezanja trećeg reda, uravnotežavaju se medju posebnim elementima kristala.

#### S t e p e n n e r a v n o m e r n o s t i d e f o r m a c i j e

Za ocenu veličine neravnomernosti deformacije (slika 1) uvešće se kao pokazatelj relativna zapremina obrazovanja bokova, u daljem tekstu stepen neravnomernosti deformacije, koji je definisan izrazom:

$$n_d = \frac{V_b}{V_0} \quad (1)$$

gde su:  $V_b$  - bočna zapremina, koja je obrazovana u procesu deformisanja cilindrične epruvete i

$V_0$  - ukupna zapremina epruvete na kojoj se vrši ispitivanje.

Bočna zapremina može da se izrazi kao razlika ukupne zapremine i zapremine  $V_k$ , koja je definisana izrazom:

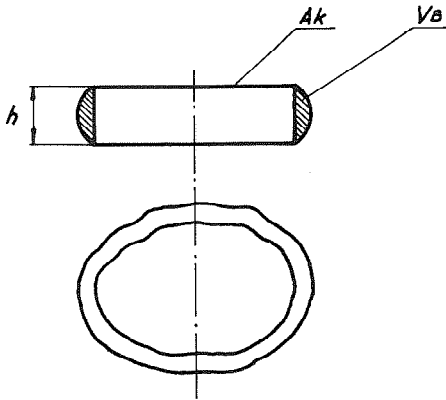
$$V_k = A_k \cdot h \quad (2)$$

gde su:  $A_k$  - kontaktna površina predmeta obrade u posmatranom trenutku vremena i

$h$  - visina predmeta rada u istom trenutku,

odnosno:

$$V_b = V_o - V_k \quad (3)$$



Sa ovako uvedenim stepenom neravnomernosti deformacije izvršena je ocena neravnomernosti deformacije probnih uzoraka koji su sabijani na ekscentarskoj presi od 25 Mp. Probe su izvršene sa cilindričnim uzorcima  $\varnothing$  10 mm i visine  $h = 10, 20$  i  $30$  mm, napravljenih od sledećih materijala:

- Č 4721 - konstruktivni čelik za cementaciju sa  $0,18 \pm 0,23$  % ugljenika, koji se koristi za naročito opterećene delove;

- Č 4131 - konstruktivni čelik za poboljšanje sa  $0,38 \pm 0,44$  % C, koji se koristi za visoko opterećene delove mašina, motora i vozila izloženih višim radnim temperaturama i
- LUK 7 - konstruktivni čelik za vijačnu robu sa  $0,06 \pm 0,12$  % C, koji se koristi za manje odgovornu vijačnu robu bez konačne termičke obrade.

Brzina deformisanja bila je ista za sve uzorke, a njena srednja vrednost je iznosila  $v = 0,208$  m/sec. Brzina deformacije je bila najveća u najnižeg, a najmanja u najvišeg uzorka, s obzirom da je ona u obrnutoj razmeri s visinom dela. Radna površina alata je bila brušena, a čelo uzorka koji se sabija je obradjen finom poprečnom obradom na strugu. Nikakvo sredstvo za podmazivanje nije korišćeno, pa se može konstatovati da je neravnomer-



nost težila maksimumu u ovakvim uslovima eksperimenta.

Rezultati, dobijeni eksperimentom, obradjeni su na računaru IBM-1130 i dati su u tabeli 1.

TABELA 1

MATERIJAL ČELIK MUK 7			
DKHO	DKH	ND	EPS
1,00000	6,26297	0,05320	0,71100
0,99009	6,22680	0,05400	0,71188
1,01010	3,31651	0,07915	0,55959
0,99009	2,40110	0,09615	0,46435
0,99860	2,33949	0,11492	0,45569
1,00000	2,06521	0,11473	0,40792
1,00000	1,54742	0,03762	0,26200
0,99019	1,42583	0,06564	0,23333
0,98673	1,32419	0,10615	0,20825
1,00249	1,12764	0,02718	0,08388
MATERIJAL ČELIK MUK 7			
0,50000	2,52484	0,14867	0,67800
0,50000	3,66404	0,11479	0,74550
0,50505	1,79594	0,19988	0,60151
0,50000	1,40232	0,16494	0,52650
0,49751	1,05438	0,18055	0,43283
0,49504	0,80703	0,12659	0,30990
0,50000	0,64606	0,06250	0,17500
0,50000	0,61440	0,03622	0,13900
0,50000	0,79800	0,12442	0,29950
0,50000	0,79800	0,12443	0,29950
MATERIJAL ČELIK MUK 7			
0,33333	2,37989	0,15144	0,74466
0,33333	1,84350	0,17140	0,69966
0,33333	1,24247	0,19054	0,61233
0,33333	0,91513	0,21078	0,52866
0,33333	0,73605	0,16342	0,44433
0,33333	0,68886	0,16384	0,41933
0,33557	0,60445	0,11993	0,35268
0,33444	0,53605	0,09976	0,29498
0,33333	0,47284	0,06936	0,22666
0,33333	0,40767	0,04239	0,13800
MATERIJAL ČELIK 4721			
0,99950	1,17483	0,00399	0,10334
0,99800	1,32518	0,05495	0,18768
1,00000	1,49065	0,07050	0,25212
0,99900	1,92443	0,11500	0,37986
1,00000	1,49065	0,07050	0,25212
0,99900	1,92443	0,11500	0,37986
1,01518	2,54403	0,13114	0,48279
0,98964	3,42253	0,11314	0,57988
1,01518	2,54403	0,13114	0,48279
0,98964	3,42253	0,11314	0,57988

OD. 7.4

MATERIJAL ČELIK 4721

o,49925	o,5743o	o,03228	o,099o5
o,5o1oo	o,66461	o,057o7	o,18778
o,5o137	o,71612	o,1179o	o,24382
o,5o375	o,81231	o,13o83	o,3o6oo
o,5o1oo	o,89481	o,15323	o,35732
o,5o287	1,03472	o,189o9	o,42356
o,5o577	1,216o6	o,19139	o,48o9o
o,5o112	1,46o43	o,21oo6	o,54692
o,49346	1,82o91	o,21153	o,61312
o,49875	2,52119	o,18o56	o,68229

MATERIJAL ČELIK 4131

o,98o33	1,16853	o,04776	o,12487
1,oo8o7	1,33374	o,04767	o,18365
1,oo9o6	1,51929	o,06749	o,25629
o,9995o	1,9869o	o,1o8o1	o,39113
o,96789	2,63672	o,14o97	o,51264
o,97991	3,57o73	o,1389o	o,59823
o,96789	2,63672	o,14o97	o,51264
o,97991	3,57o73	o,1389o	o,59823
o,9911o	4,8997o	o,07996	o,66485
o,9911oo	4,8997o	o,07996	o,66485

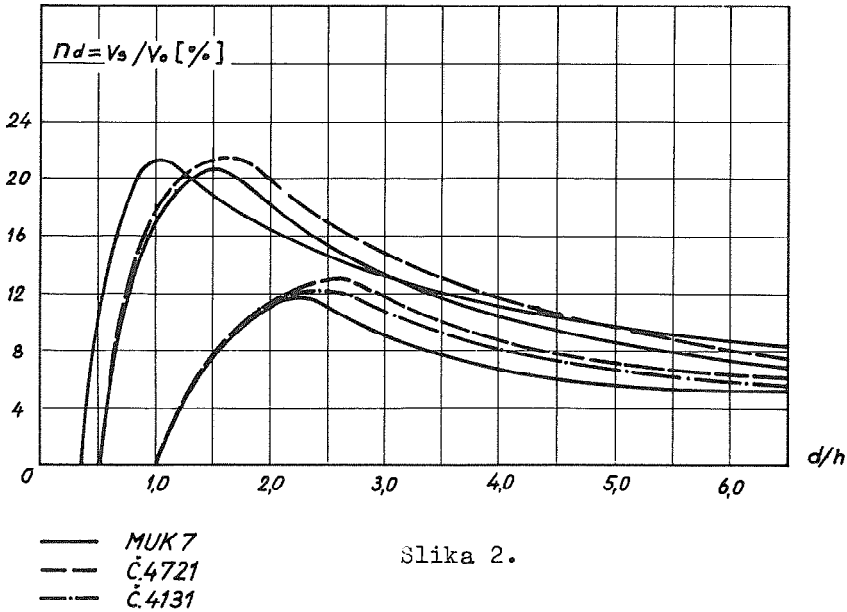
MATERIJAL ČELIK 4131

o,5o437	o,57965	o,03192	o,09837
o,5o425	o,67o37	o,05791	o,18918
o,49578	o,72841	o,09431	o,25136
o,5o363	o,81787	o,123o8	o,3o72o
o,5o263	o,91o59	o,147o4	o,36184
o,49238	1,05836	o,18297	o,4387o
o,5o338	1,23o86	o,18438	o,48521
o,49177	1,49167	o,2o2o3	o,55735
o,49151	1,8754o	o,2o933	o,6213o
o,49o45	2,61267	o,19336	o,69481

Na osnovi dobijenih rezultata izradjeni su grafici koji ilustruju zakon promene stepena neravnomernosti deformacije ( $n_d$ ) u funkciji odnosa ( $d/h$ ), što je dato na slici 2.

Neravnomernost deformacije, koja se manifestuje formiranjem ispupčenih bočnih površina, po prestanku opterećenja, dovodi do zaostalih napona, što u opštem slučaju može da izazove sniženje plastičnih svojstava metala, do uveličanja otpora deformisanju i do obrazovanja iskrivljene slike raspodele napona u telu, a koja je posledica uslova na konturi i uslova ravnoteže. To može dovesti dotoga, da se u nekim delovima tela, koje je opterećeno na pritisak, pojave zatežući naponi. Pojava poslednjih potpomaže, takodje, formiranje ispupčenih - nepoželjno deformisanih - bočnih površina. Istežući naponi pri sabijanju mogu, u ne-

kim slučajevima da dostignu znatnu vrednost i da izazovu na bočnim površinama pritisanog tela uzdužne pukotine.



Slika 2.

Iz slike 2. se vidi:

- da za određeni odnos ( $d/h$ ) postoji maksimalna vrednost neravnomernosti deformacije;
- da sa porastom početnog odnosa ( $d_0/h_0$ ) opada vrednost maksimalnog stepena neravnomernosti deformacije i
- da sa porastom tekućih vrednosti odnosa ( $d/h$ ) dolazi do takvog zakona pada stepena neravnomernosti po kome se njegova vrednost asimptotski približava nekoj konstantnoj veličini - minimalnoj neravnomernosti.

Na osnovi iznetog proizlazi da je stepen deformacije ( $\mathcal{E}$ ), koji odgovara maksimalnoj vrednosti stepena neravnomernosti deformacije kritičan s obzirom na pojavu zaostalih napona u deformisanom telu, pa ga treba izbegavati kao krajnji stepen deformacije. Nadalje, da su uzorci sa većim odnosom ( $d_0/h_0$ ) povoljniji za obradu deformacijom s obzirom na pojavu neravnomernosti deformacije, što se pri projektovanju tehnološkog postupka za izradu određenog elementa ili elemenata mora imati na umu. Konačno, rezultati izvršenih eksperimenata, dati na slici 2., daju mogućnost da se na osnovi njih izvuku sledeći zaključci:

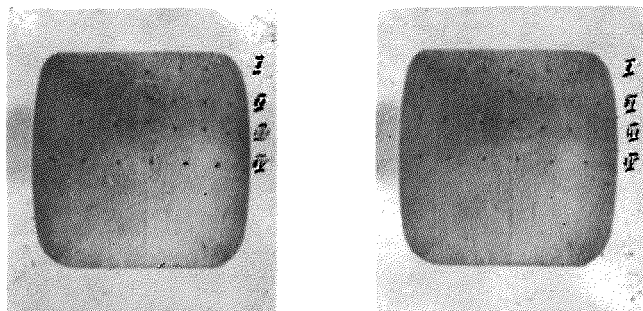
- da je za jedan isti početni odnos ( $d_0/h_0$ ), veći stepen
- OD.7.6

neravnomernosti u materijala sa većom zateznom čvrstoćom i

- da je za jedan isti početni odnos ( $d_0/h_0$ ) maksimalna vrednost stepena neravnomernosti u materijala sa većom zateznom čvrstoćom pri većem odnosu ( $d/h$ ) nego u materijala manje zatezne čvrstoće.

### M i k r o - s t r u k t u r a i n e r a v n o m e r n o s t d e f o r m a c i j e

Šta se dešava u materijalu pri njegovom deformisanju može se videti snimanjem njegove mikrostrukture. S toga se u ovom radu koristi uvid u mikrostrukturu deformišućeg elementa na pojedinim njegovim mestima za identifikaciju neravnomernosti deformacije. Na slici 3. dati su snimci meridijanskih preseka deformisanih elemenata od Č 4721 i Č4131. Elementi početnog odnosa  $d_0/h_0 = 10/20$  deformisani su sa stepenom deformacije  $\epsilon = 0,357$  i  $= 0,362$ , pri čemu je njihov stepen neravnomernosti deformacije izmeren i iznosio je  $n_d = 0,153$  i  $n_d = 0,147$ .

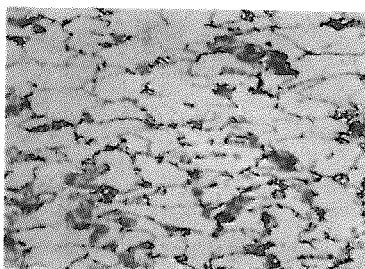
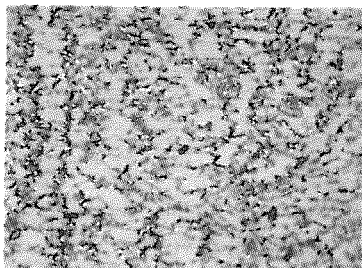
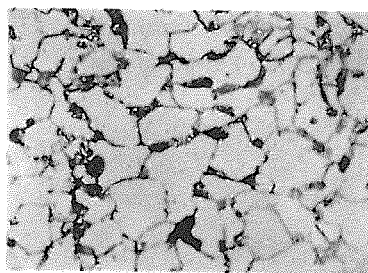
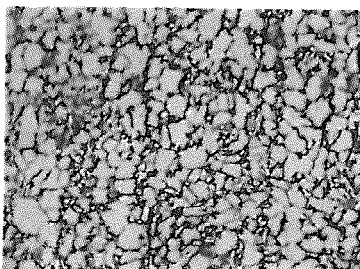
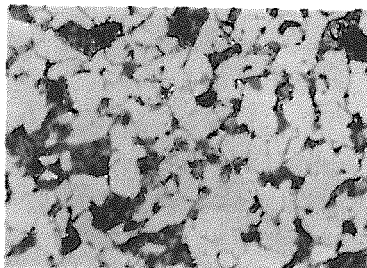
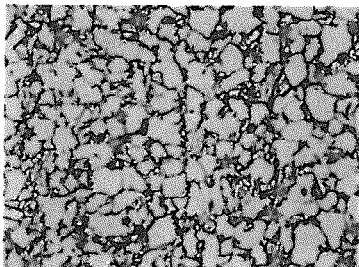


Slika 3.

Na slici 4. dati su snimci mikrostrukture, i to snimci pod I su za Č 4721, a snimci pod II su za Č 4131. U prvom redu je data mikrostruktura osnovnih materijala (nedeformisanih), a u drugom redu za mesto A na slici 3., i u trećem redu mikrostruktura za mesto B na slici 3.

Sa snimaka mikrostrukture datih na slici 4. vidi se da je veličina zrna različita na pojedinim mestima. Ona je najveća, što je razumljivo, u nedeformisanom materijalu. Snimci u drugom i

trećem redu se odnose na isti meridijanski presek i to pri vrhu i u sredini tog preseka. Slojevi pri vrhu su pretrpeli manju deformaciju, a slojevi u sredini veću. Zato su zrna pri vrhu krupnija od zrna u srednjim slojevima. Ova razlika u veličini zrna može da posluži kao pokazatelj postojanja različitog stepena



slika 4

deformacije na pojedinim mestima istog dela, a samim tim i prisustva neravnomernosti deformacije i konačno postojanja zaostalih napona.

Neravnomernost deformacije izražena kroz tvrdoću i intezitet napona

Sve širu primenu u poslednje vreme nalazi metod određivanja stepena deformacije i inteziteta naponskog stanja u plastičnoj oblasti deformišućeg tela ispitivanjem tvrdoće.

Taj metod se zasniva na predpostavci da medju tvrdoćom deformisanog metala i inteziteta naponskog stanja postoji jednoznačna funkcionalna zavisnost. Stvarno za ostvarenje nekog procesa promene oblika, rad se troši na izmenu oblika dela prouzrokujući u većoj ili manjoj meri izmenu fizičko-mehaničkih svojstava metala. Jedan od veoma značajnih pokazatelja izmene svojstava metala podvrgnutog deformaciji u hladnom stanju, javlja se promena njegove tvrdoće.

Zavisnost izmedju tvrdoće i specifičnog deformacionog otpora je analogna za mnoge metale, pa se može aproksimirati u vidu polinoma trećeg stepena. Ta zavisnost nosi poluempiriski karakter, i data je izrazom:

$$k = k_m + \left[ 0,1125 \cdot \frac{\sigma_v}{k_m} \cdot (H - H_y) \pm 1 \right]^3 \quad (4)$$

gde su:  $k_m$  - specifični deformacioni otpor koji odgovara graničnoj ravnomernoj deformaciji;  
 $\sigma_v$  - napon na granici tečenja;  
 $H$  - tekuća vrednost tvrdoće;  
 $H_y$  - tvrdoća koja odgovara graničnoj ravnomernoj deformaciji.

Za meridijanski presek dela, koji je sabijen sa stepenom deformacije  $\epsilon = 0,36$ , datog na slici 3, određene su tvrdoće u pojedinim horizontalnim ravnima (I, II, III i IV). Vrednosti tih tvrdoća i vrednosti specifičnog deformacionog otpora date su u tabeli 2.

TABLICA 2

PRESEK	M A T E R I J A L						ČELIK 4721
I	HV	268.	232.	225.	232.	232.	268.
	k	122.58	81.57	79.76	81.57	81.57	122.58
II	HV	260.	262.	255.	252.	252.	245.
	k	107.28	110.70	99.82	96.04	96.04	89.03
III	HV	257.	265.	268.	262.	268.	262.
	k	102.62	116.33	122.58	110.70	122.58	110.70
IV	HV	252.	257.	262.	257.	257.	252.
	k	96.04	102.62	110.70	102.62	102.62	96.04

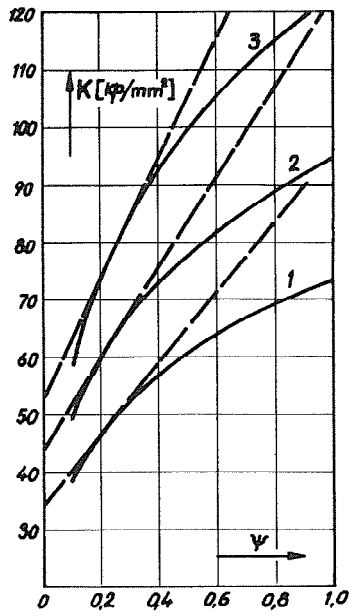
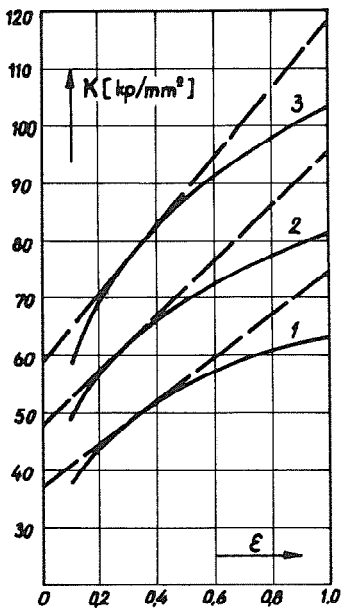
	M A T E R I J A L						ČELIK 4131
I	HV	232.	202.	181.	192.	218.	230.
	k	85.62	70.42	69.47	70.05	70.81	82.90
II	HV	223.	223.	223.	227.	223.	218.
	k	75.03	75.03	75.03	79.22	75.03	70.81
III	HV	227.	230.	232.	232.	232.	227.
	k	79.22	82.90	85.62	85.62	85.62	79.22
IV	HV	232.	227.	230.	232.	223.	230.
	k	85.62	79.22	82.90	85.62	75.03	82.90

Na slici 5 date su krive očvršćavanja prvog  $k = k(\varepsilon)$ , drugog  $k = f(\psi)$  i trećeg reda  $k = \varphi(\delta)$  za materijale koji su korišćeni u eksperimentu, a koje su dobijene probama na istezanje. Za delove koji su dati na slici 3 sa graphicima  $(k, \psi)$  za  $\varepsilon = 0,36$  dobijaju se sledeće vrednosti specifičnog deformacionog otpora:

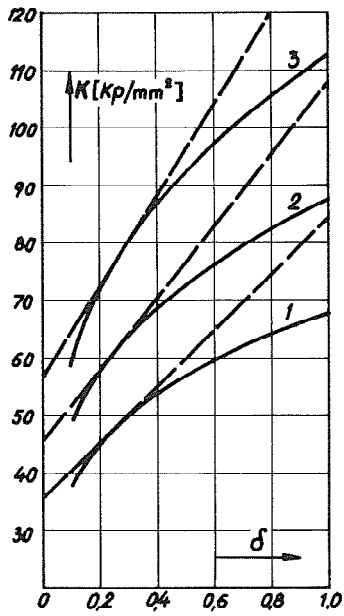
- za materijal Č 4721 je  $k = 91$  po linearnoj zavisnosti i  $k = 89$  po stepenoj i
- za materijal Č 4131 je  $k = 72,5$  po linearnoj i  $k = 71,0$  po stepenoj zavisnosti.

Poredjenjem ovih vrednosti specifičnog deformacionog otpora sa vrednostima datim u tabeli 2 mogu se izvući sledeći zaključci:

- slojevi (I) bliži čelu predmeta rada imaju manju tvrdoću i manju vrednost specifičnog deformacionog otpora u odnosu na vrednosti dobijene preko krivih očvršćavanja;
- slojevi (IV) bliži sredini predmeta rada imaju veću tvrdoću i veću vrednost specifičnog deformacionog otpora u odnosu na vrednosti dobijene preko krivih očvršćavanja i
- tačke koje su udaljenije od ose dela imaju veći specifični deformacioni otpor od tačaka na osi.



- 1. MUK 7
- 2. Č 4131
- 3. Č 4721



— STEPENA ZAVISN.  
 - - - LINEARNA ZAVISN.

Slika 5



Kako je specifični deformacioni otpor funkcija stepena deformacije pri obradi materijala u hladnom stanju, proizlazi da je deo dat na slici 3 u različitim tačkama pretrpeo različitu deformaciju, o čemu govore različite vrednosti specifičnog deformacionog otpora prezentirane u tablici 2.

#### Z a k l j u č a k

Na osnovi iznetog proizlazi da se pri sabijanju elemenata javlja neravnomernost deformacija u tačkama tog elementa. Neravnomernost, izražena preko stepena neravnomernosti ( $n_d$ ) dostiže, za odredjeni stepen deformacije maksimalnu vrednost. Da bi se smanjila neravnomernost deformacije u tačkama elementa koji se sabija mora se voditi računa o početnom obliku predmeta rada, tj. treba težiti što većem približavanju konačnom obliku predmeta rada i pri tome izbegavati kritične stepene deformacije.

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

- [1] G.A.Smirnov-Aljajev, V.P.Čikidovski, Eksperimentalnie izdelovanije u obrabotke metalov davleniem, Mašinstroenie, Leningrad, 1972.
- [2] M.V.Storžev, E.A.Popov, Teorija obrabotki metalov davleniem, Mašinstroenie, Moskva, 1971.
- [3] B.Musafija, Obrada metala plastičnom deformacijom, Svetlost, Sarajevo, 1970.

## IX. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NIŠ, 1974.

K. KUZMAN <sup>x</sup>

DIMENZIONIRANJE PROCESOV KOVAŠKEGA VALJANJA <sup>xx</sup>

### 1. Uvod

Izreden razvoj tehnologije najrazličnejših načinov obdelave kovin, ekonomski pritiski na čim rentabilnejšo proizvodnjo, nujno vključevanje v mednarodno delitev dela, energetske, surovinske in druge krize zahtevajo, da so naše odločitve pri projektiranju novih postopkov, obratov, nabavi nove, vedno bolj produktivne in tudi drage strojne opreme, čim bolj tehtne in zanesljive. Ti problemi so se še posebno zaostriili v področju plastične predelave kovin, ki je dolgo časa slonela na mojstrski mentaliteti zaradi utemeljitve, da so procesi plastičnih deformacij tako komplicirani, da se jih ne da dovolj zanesljivo teoretično obvladati in da so tu še najzanesljivejše metode praksa in izkušnje.

Eno od takih zelo pomembnih vprašanj je tudi to, kako za določene izkovke vnaprej izbrati najustreznejše stroje, določiti število in čas operacij ter na podlagi tega vnaprej izračunati proizvodne stroške. Ti izračuni morejo biti čim bolj natančni, kajti maneverski prostor med rentabilno oziroma proizvodnjo z izgubo je žal že zelo ozek /1/.

Popolnoma enaka vprašanja se postavljajo tudi ob uvajanju procesov kovaškega valjanja. Valjanje samo, njegove lastnosti in uporabne možnosti so nam že dokej dobro poznane /2/, /3/, tokrat bi si zastavili sledeči problem.

Za masovno proizvodnjo nekega izkovka projektiramo strojno skupino. Za vse stroje, razen valjalnega, lahko brez težav natančno

---

<sup>x</sup> mag. Karl Kuzman, dipl.ing. str., Kovaška industrija Zreče

<sup>xx</sup> Poročilo Laboratorija za preoblikovanje Fakultete za strojništvo v Ljubljani in Kovaške industrije Zreče

določimo izdelovalne čase, pri valjanju pa so časi odvisni od števila operacij / najpogosteje je število operacij parno, torej dve, štiri, .. /. Osnovni problem pri tem je, kakšne deformacije lahko dosežemo pri posameznem vtiku, koliko operacij rabimo za izdelavo idealnega surovca za kvalitetno kasnejše kovanje. Če smo se pri ocenjevanju operacij zmotili in jih moramo kasneje v redni proizvodnji namesto npr. štirih napraviti šest, lahko to traja preveč časa in poruši cel proizvodni cikel. Če pa vstrajamo na štirih, moramo zmanjšati razmerja med največjim in najmanjšim presekom v valjancu, valjanec je debelejši, izkovek ima debelejšo brado, izkoriščenost materiala je slabša, rabimo večje preoblikovalne sile in energije, orodja se bolj obrabljajo, ... Pademo v neki krog, katerega le del leži v področju minimalnih stroškov.

Najvažnejši parameter pri dimenzioniranju kovaškega valjanja je koeficient odvzema  $\lambda$ , to je razmerje med ploščinama prečnih prerezov pred  $A_0$  in po valjanju  $A_1$ . Kot že omenjeno, poteka valjanje najpogosteje v parih gravur oval - kvadrat, zato imamo poleg koeficienta za en vtik  $\lambda_i$  tudi koeficiente za par  $\lambda_{i,j}$ .

## 2. Vplivne veličine na število operacij pri kovaškem valjanju

### 2. 1. Razmerje osi ovala

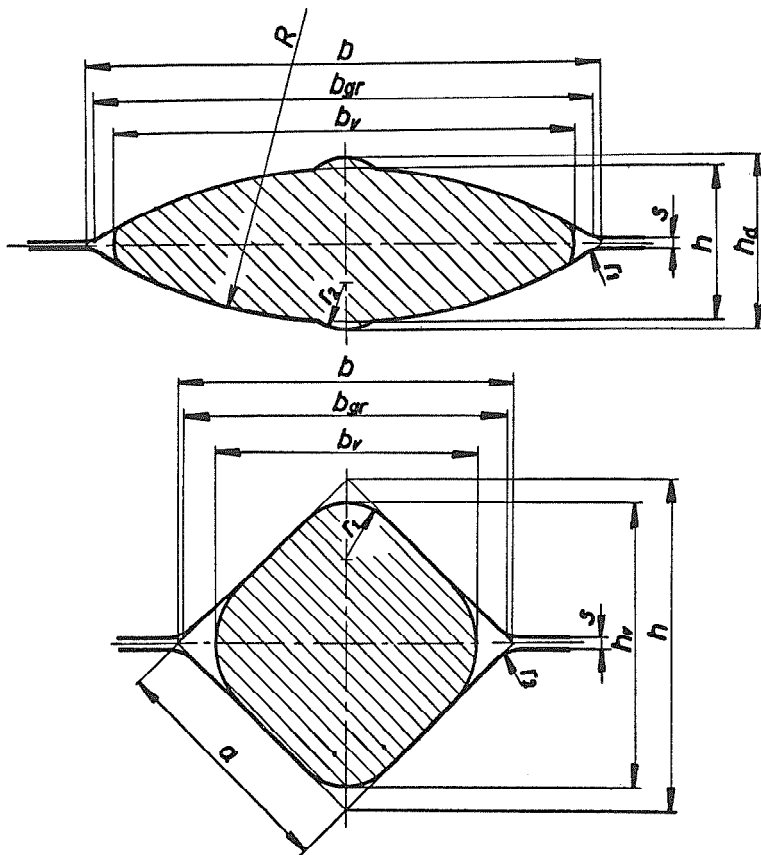
Že iz metalurških procesov je znano, da so koeficienti odvzema tem večji, čim bolj sploščen je oval, ki smo ga dobili iz kvadratnega ali okroglega profila. Sploščenost ovala lahko opišemo z razmerjem njegovih osi / slika 1/, torej

$$z = \frac{b}{h} \quad . \quad /1/$$

Ko ovalni profil nato valjamo v kvadrat, so dopustne deformacije zopet odvisne od razmerja osi vstopajočega ovala, dočim je razmerje osi v kvadratu seveda konstantno in enako 1.

### 2. 2. Stopnja zaplnitve gravure

Valjanje, kjer bi valjanec popolnoma zapolnil gravuro, torej, da bi veljalo  $b_v = b$  / slika 1 /, je preveč tvegano, kajti zaradi dokaj velikih toleranc toplo valjanih metalurških profilov, začetni preseki niso konstantni, pa bi se lahko tudi zgodilo, da je  $b_v > b$ , torej, da bi material stekel v prostor "s" med



Slika 1. valjanec v ovalni oziroma kvadratni gravuri.

valjema. Pojavila bi se brada, ki bi se v naslednji operaciji, ko valjanec zavrtimo za  $90^\circ$ , zavaljala v obdelovanec in v njem ostala kot guba.

Zato mora biti gravura vedno le delno izpolnjena, razmerje

$$\delta = \frac{b_v}{b} \quad /2/$$

imenujemo stopnjo zapolnitve gravure in naj bo od 0,85 do 0,90, od katere je odvisna tudi ploščina prečnega prereza valjanca in zato tudi koeficient odvzema.

### 2. 3. Relativni premer valjev

Za kontinuirno valjanje med gladkimi valji je znano, da je šir-

jenje valjanca tem večje, čim večji je premer valjev. Ker pa je koeficient odvzema tem večji, čim manjša je ploščina prečnega prereza valjanca v izstopni ravnini in je tako tudi odvisen od širjenja. Koeficient odvzema pada z naraščajočim širjenjem, torej pada z naraščajočim premerom valjev.

Vpliv velikosti valjev lahko najlažje opišemo z brezdimenzijskim številom, z relativnim premerom valjev, ki je razmerje

$$q_{kr} = \frac{D_0}{d_0} \quad , \quad /3/$$

$$q_{kv} = \frac{D_0}{a_0} \quad , \quad /4/$$

ali splošneje

$$q = \frac{D_0}{\sqrt{A_0}} \quad , \quad /5/$$

kjer pomenijo

$D_0$  - premer valjev,

$d_0, a_0$  - premer oziroma stranica valjanca pred valjanjem,

$q_{kr}$  - relativni premer valjev za valjanec s krožnim presekom,

$q_{kv}$  - relativni premer valjev za valjanec s kvadratnim presekom,

$A_0$  - ploščina prečnega prereza valjanca pred valjanjem.

#### 2. 4. Koeficient zunanlega trenja

Preizkusi, ki so jih opravili Monakov in sodelavci /4/, posredno pa dokazali tudi drugi, so potrdili predpostavko, da koeficient trenja na kontaktnih površinah med orodjem in obdelovancem vpliva na razmere v deformacijskem področju in s tem tudi na koeficiente odvzemov.

#### 2. 5. Relativna dolžina valjanca

Pri kovaškem valjanju se valjanec ne more takoj razširiti iz širine  $b_0$  na  $b_1$ , pač pa širjenje teče po neki krivulji / slika 2 /. Svojo končno širino doseže šele v točki A, v točki B pa začne zopet upadati nazaj na  $b_0$ . V primeru, če valjamo zelo kratek valjanec, se lahko zgodi, da področja  $\overline{AB}$  sploh ne bo, oziroma bo stopnja zapolnitve gravure zelo nizka. To pa pomeni, da lahko

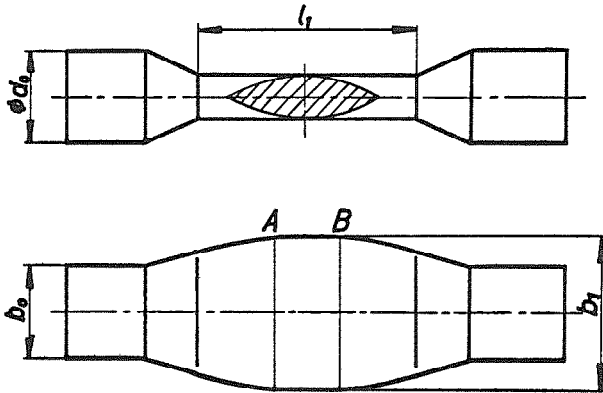
OD.8.4

deformacijo oziroma koeficient odvzema močno povečamo.

To zelo logično dejstvo sta prva natančneje pojasnila Smirnov in Konovalov /5/, ki sta uvedla pojem relativne dolžine valjanca

$$p_{kr} = \frac{l_1}{d_0} \quad \text{za krožni presek,} \quad /6/$$

$$p_{kv} = \frac{l_1}{s_0} \quad \text{za kvadratni presek.} \quad /7/$$



Slika 2. Oblika krajšega valjanca po valjanju v ovalni gravuri.

## 2. 6. Temperatura valjanca

Vpliv temperature na razmere pri valjanju je večkratno. Kot je znano, se koeficient trenja spreminja s temperaturo, prav tako pa so od temperature odvisne preoblikovalne lastnosti materiala valjanca. Vse to se odraža na koeficientu odvzema, da ob enaki obliki orodij le ta narašča z naraščanjem temperature /4/.

## 2. 7. Kemična sestava valjanca

Preoblikovalne lastnosti materiala so odvisne tudi od njegove kemične sestave, pa je zato logično, da je proces valjanja in geometrija preoblikovalnega prostora odvisna od te sestave.

To dejstvo so opazili npr. v tovarni Lumuco v ZRN, toda niso ga sistematično raziskovali naprej, ker vse kaže, da je ta vpliv na valjanje v kalibrnih relativno najmanjši.

Tabela 1. Najpomembnejše znane odvisnosti za koeficiente odvzemov

avtor	z	$\delta$	q	$\mu$	p	$\theta$ /°C/	C /‰/	oblika izraza	opombe
Smirnov /7/	+	+	+	0,30	-	-	-	grafičen	-
Eumuco /8/	+	0,90	-	0,30	-	-	-	grafičen	-
Tarnovskij /9/	+	+	+	+	-	-	-	analit.	dokaj nenatančen
Monehov /4/	+	-	+	+	-	+	-	grafičen	vpliv je parcialno prikazan
Smirnov Konovarov /5/	+	0,90	+	0,30	+	-	-	grafičen	le krog - oval
lastni preizkusi	+	0,75-0,99	+	0,30	1,84	1100 <sup>±</sup> 50	0,45	multi- regresija	-

### 3. Rezultati preizkusov

Tako je proces kovaškega valjanja in z njim tudi koeficient od-  
vzema odvisen od prej naštetih sedmih faktorjev, kar lahko izra-  
zimo kot

$$\lambda = \lambda / z, \delta, q, \mu, p, \gamma, C / , \quad /8/$$

še z C označimo vsebnost ogljika v  $\nu$ .

Žal do sedaj še ne obstajajo take splošne funkcijske odvisnosti,  
ki bi opisovale proces valjanja / za legirana jekla bi bil izrez  
še bolj obsežen/. Več avtorjev jih je na različne načine že ugo-  
tavljalo, toda nikoli ne vseh skupaj. Najpomembnejše odvisnosti,  
ki so se v praksi več ali manj uspešno obnesle, so zbrane v tabe-  
li 1.

Če bi hoteli vse navedene vplive eksperimentalno ugotoviti, bi  
zaradi dejstva, da so jakosti posameznih vplivov še nepoznane,  
morali delati preizkuse na treh nivojih /6/, kar bi zahtevalo  
eksperimente v

$$N = 3^7 = 2187 \text{ točkah} . \quad /9/$$

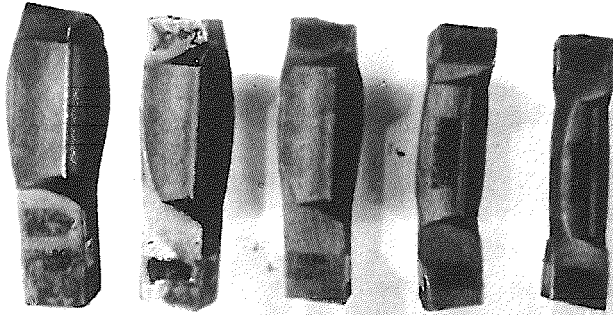
Ker pa je treba preizkuse opraviti vsaj za tri sisteme valjanja  
/ kvadrat v oval, krog v oval, oval v kvadrat /, se število točk  
poveča na 6561.

Zaradi tega smo se tudi mi odločili za skrajšan načrt preizkusov  
in smo za konstante vzeli tiste vrednosti, ki se v kovaški prek-  
si malo spreminjajo / njihove povprečne vrednosti so podane v ta-  
beli 1./

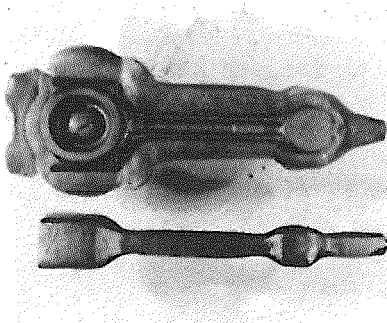
Stopnjo zapolnitve gravure smo v začetku imeli za spremenljivko,  
toda, ker je bil opazovani interval preozek, vrednosti posamez-  
nih nivojev so bile preblizu skupaj, je statistična obdelava po-  
kazala, da je njen vpliv nepomemben.

Za preizkuse smo izdelali posebna orodja, gravure so bile izde-  
lane na podlagi podatkov po Smirnovu /7/ in Hallerju oz. Eumuco  
/8/. Za vsako točko načrta preizkusov smo pripravili pet vrst po  
preseku različnih preizkušancev / slika 3 /. Ti so bili tako iz-  
brani, da je valjanje najmanj dveh vrst valjancev bilo dobro, to-  
rej s stopnjo zapolnitve gravure  $\delta < 1$ .

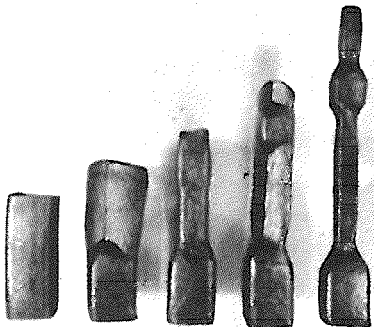




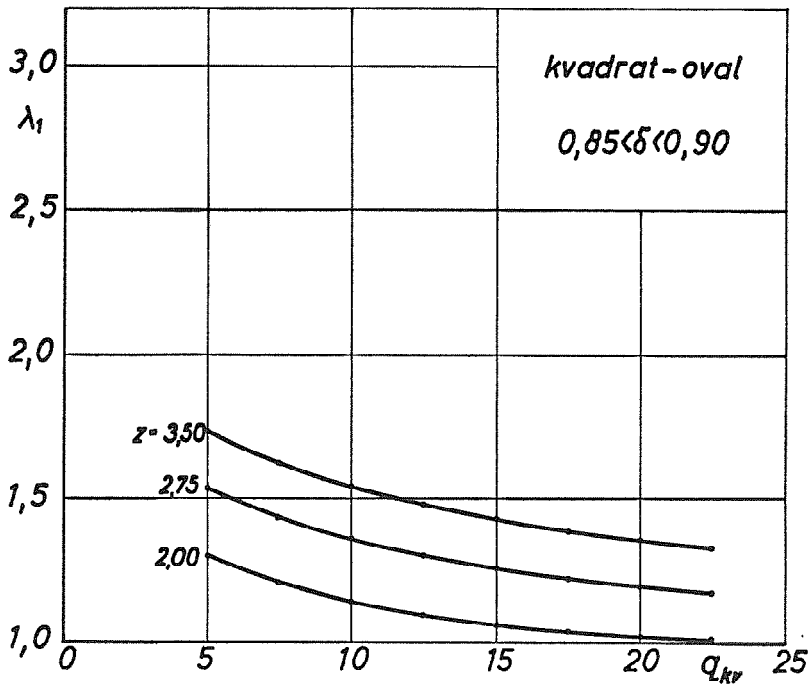
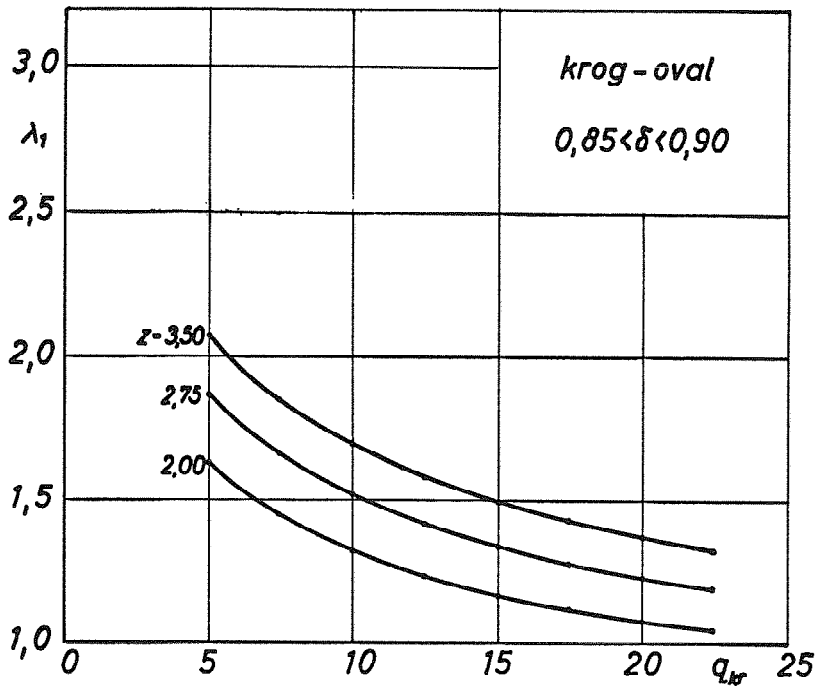
Slika 3. Primeri vseh petih vrst preizkušancev začetne dimenzije  $a_0 = 37$  mm, zvaljanih v isti gravuri.



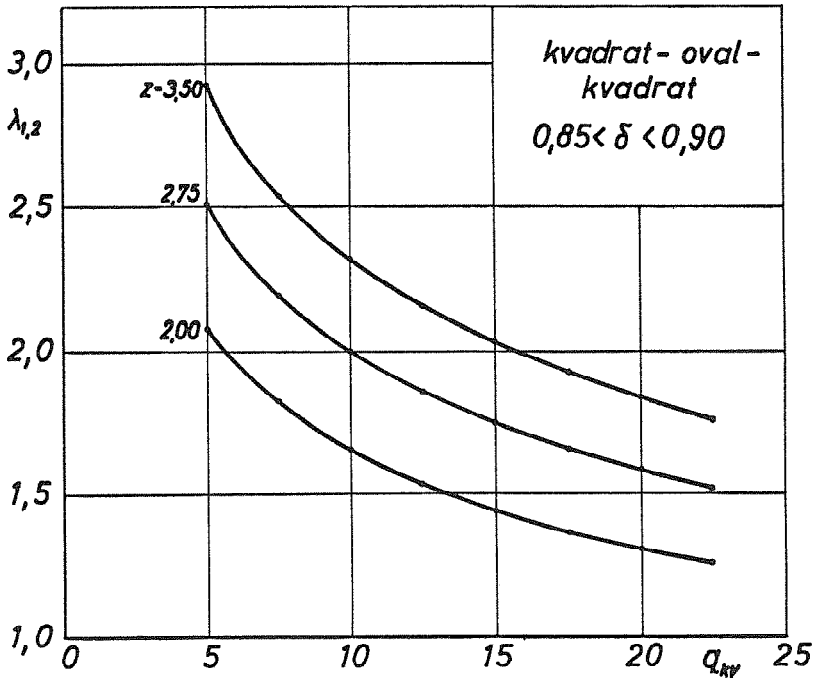
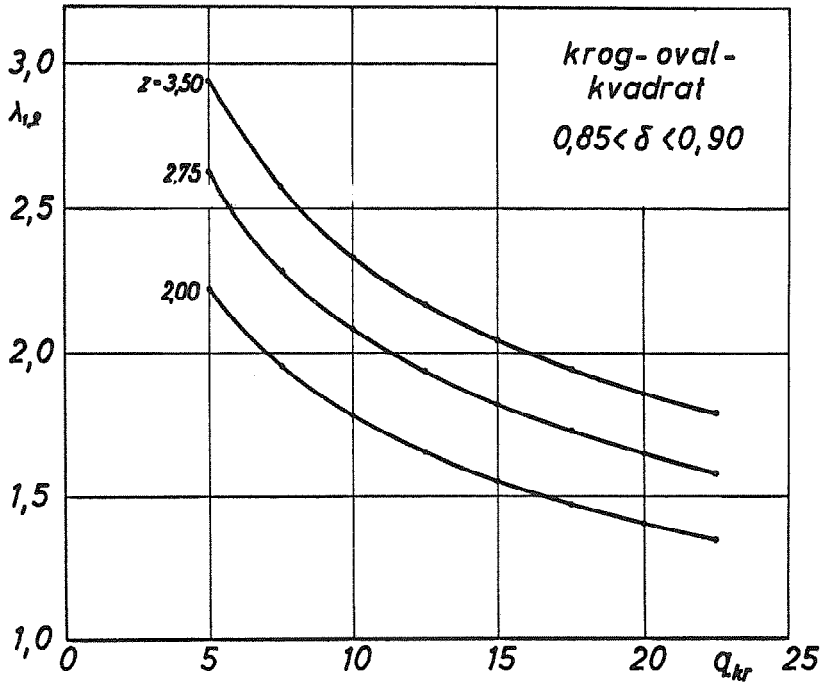
Slika 6. Valjanec in neobrezan izkovek za ojnico traktorskega motorja.



Slika 7. Harezana palica in operacije valjanja.



Slika 4. Končni rezultati pri valjanju v ovalni gravuri.



Slika 5. Končni rezultati po valjanju v sistemu ovalne in kvadratne gravure.

Osnova za vrednotenje rezultatov oziroma za iskanje najboljše funkcijske odvisnosti je bil standardni računalniški program za multiregresijo, ki smo ga za naše potrebe nekoliko dopolnili. S pomočjo t in F teste smo nato sistematično preverjali merilne rezultate ter iskali najustreznejšo funkcijo, s katero bi opisali vpliv faktorjev valjanja na koeficient odvzema. Takšna funkcija bi bila

$$\ln \lambda = \ln a_0 + n_1 \ln d + n_2 \ln q + n_3 \ln z, \quad /10/$$

ki pa smo jo kasneje, ker se faktor  $n_1$  ni dovolj pomeabno razlikoval od 0, spremenili v

$$\ln \lambda = \ln a_0 + n_2 \ln q + n_3 \ln z. \quad /11/$$

Izraz 11 je logaritmirana potenčna funkcija, zato lahko končne rezultate zapišemo kot

system kalibrov	odvisnost
krog - oval	$\lambda_1 = 1,9373 q_{kr}^{-0,29760} z^{0,43655}$
kvadrat - oval	$\lambda_1 = 1,1987 q_{kv}^{-0,17671} z^{0,52559}$
krog - oval - kvadrat	$\lambda_{1,2} = 2,7025 q_{kr}^{-0,33293} z^{0,49745}$
kvadrat - oval - kvadrat	$\lambda_{1,2} = 2,3538 q_{kv}^{-0,33624} z^{0,60441}$

Vsi zgoraj navedeni izrazi so kot celota po F - testu 99,5% zanesljivi, eksponenti za q in z pa po t - testu 99,9%. Zaradi lažje praktične uporabe so vse te funkcijske odvisnosti tudi grafično podane v slikah 4 in 5.

#### 4. Praktični primer

Rezultate eksperimentov smo nato še praktično preizkusili. Prvi izkovek, za katerega smo po teh podatkih izdelali valjalna orodja, je bila ojnica za nek domači traktorski motor / slika 6 /. Kvaliteten valjanec se je dalo dobiti z valjanjem v štirih operacijah po sistemu / kvadrat / - oval - kvadrat - oval - kvadrat / slika 7 /.

Razlike med teoretičnim in dejanskim koeficientom odvzema so naslednje:

operacija	$q_{kv}$	$z$	$\delta$	$\lambda_{teor}$	$\lambda_{dej}$	$\frac{\lambda_{teor} - \lambda_{dej}}{\lambda_{teor}} \cdot 100\%$
I	7,00	3,27	0,85 /I/	1,58	1,75	-10,8
I in II	7,00	3,27	0,31 /II/	2,48	2,51	- 1,2
III	11,10	3,35	0,95 /III/	1,46	1,62	-11,0
III in IV	11,10	3,35	0,98 /IV/	2,18	2,32	- 6,4

S praktične plati te razlike niti niso tako pomembne, dejanski koeficienti odvzemov so večji od teoretičnih, zato ni bilo potrebno povečati števila operacij, v relativno kratkem času smo morali le popraviti gravure.

Nastale razlike lahko pojasnimo z naslednjim:

- a/ Ojnica je iz jekla Č.4732, naši osnovni preizkusi pa so bili opravljeni z Č.1530.
- b/ Oblika valjanca se popolnoma ne ujema z obliko eksperimentalnih valjancev. Zvaljati je bilo treba malo glavo ojnice, kar je povzročilo bolj komplicirano deformacijsko stanje in vplivalo na valjanje stebela / več o tem je mogoče najti v /2/ ali /9//.
- c/ V prvi gravuri je bil valjanec zelo kratek, z dokaj malo relativno dolžino, v tretji pa je bila stopnja zapolnitve gravure precej visoka. Ker sta obe vrednosti ugodnejši od onih, ki smo jih žal kot konstante imeli pri osnovnih preizkusih, je povečanje koeficientov odvzema tudi upravičeno.

## 5. Zaključek

Doseženi rezultati so dokaj zadovoljivi, saj tudi pri načrtovanju valjalnih operacij za druge izkovke nikoli ni bilo treba spremeniti števila operacij. Kvalitetne končne oblike gravur smo običajno dobili na podlagi enega ali dveh dodatnih preizkusov.

Osnovne preizkuse pa bomo vseeno še nadaljevali in to v smeri raziskovanja vplivov relativne dolžine valjanca in kemične sestave, da bi tako lahko še natančneje vnaprej določevali tehnološke parametre procesov kovaškega valjanja.

## 6. Literatura

- /1/ Kuzman, K., Jurkovič, J.: O izbiri kladiwa ali preše za utopno kovanje. Strojniški vestnik 20 /1974/, 1, 20-23.
- /2/ Kuzman, K.: Osnovne tehnološke lastnosti kovaškega valjanja. Strojniški vestnik 15 /1969/, 4/5, 122-123.
- /3/ Kuzman, K.: O nekaterih problemih pri osvajanju tehnologije kovaškega valjanja. VI. Savj. proizvod. stroj., Opatija 1970
- /4/ Monahov, G.A., Babenko, V.A., Alekseenko, F.P.: Rasčet razmerov ishodnoj zagotovki i širini obloja pri valcovočkoj šampovke. Kuzn.-šamp. proizvod. /1971/, 4.
- /5/ Smirnov, V.K., Konovalov, S.A.: Metodika rasčeta kalibrovki pri valcovke zagotovok za dva prohada po sisteme krug - oval - kvadrat. Kuzn.-šamp. proizvod. /1969/, 5.
- /6/ Cochran, W.G., Cox, G.M.: Experimental Designs. J. Wiley 1957
- /7/ Smirnov, V.K.: Valcovka zagotovok pod šampovki. Mašinostroenije 1964
- /8/ Haller, H.W.: Handbuch des Schmiedens. Carl Hanser Verlag 1971
- /9/ Tarnovskij, I.J., Smirnov, V.K., Kocar, S.L.: Prodolnaja prokatka profilej peremennogo sečenija. Metallurgizdat 1962

K. Kuzman

### BESTIMMUNG DES RECKWALZ - PROZESSES

Über das Reckwalzen ist bekannt, dass damit der Materialverbrauch gesenkt wird, dadurch unter leichten Schmiedeaagregaten geschmiedet werden kann, die Produktivität gesteigert wird, ... .

Um das Reckwalzen theoretisch gut auszuarbeiten, müssen wir folgende Faktoren beachten:

1. Verhältnis von Höhe zu Breite des Kalibers;
2. Breitungsgrad;
3. Relativer Walzendurchmesser;
4. Reibungswert;
5. Relative Walzlänge;
6. Walz - Temperatur;
7. Rohlings - Materialqualität.

In diesem Bericht ist die Abhängigkeit der bezogen Querschnittsabnahme im Verhältnis zu den wichtigsten Faktoren ausgegeben, die mit Hilfe statistischer Methoden aus spezielle durchgeführten Versuchsreihen ermittelt wurden.

Zum Schluss ist ein praktisches Beispiel, bei dem mit den angegebenen Werten gearbeitet wurde, aufgeführt, und die Abweichungen kommentiert.



## IX. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NIŠ, 1974.

S. ZARIĆ\*

### SISTEMI UPRAVLJANJA SA OTVORENIM KOLOM U AUTOMATIZACIJI PROIZVODNJE

Termin proizvodnje obuhvata kompleksnu oblast sa nizom medjusobno povezanih dejstava, te se ovde čini određeno usmeravanje i orijentacija na radno mesto neposredno vezano za tehnološke operacije. Sa ovakvim ograničenjem se pod automatizacijom podrazumevaju sve ekonomske i tehničke opravdane mere čiji je cilj ostvarivanje tehnoloških procena i angažovanje tehnološke opreme i sredstava visoke proizvodnosti bez neposrednog učešća čoveka. Ona zahteva usku saradnju inženjera projektanta i tehnologa, kao i kontakte sa naučnim institucijama odgovarajućih delatnosti.

Svrha i efektivnost automatizacije proizvodnje može se svesti na sledeće stavke:

1. Povećanje proizvodnosti
2. Skraćenje proizvodnog ciklusa
3. Povećanje kvaliteta proizvodnje
4. Sniženje troškova proizvodnje

Značaj pojedinih faktora je promenljiv i zavisi od lokalnih prilika. Prva dva zavise od uslova proizvodnje, pri čemu, prilikom izbora odgovarajućih mera i sredstava treba voditi računa o veličini udela glavnog i pomoćnog vremena i odabrati najracionalnije rešenje. Praktično to znači da pri rešavanju ovog pitanja treba tačno izbalansirati uticaj pojedinih komponenata ukupnog vremena izrade i dejstvovati na one koje će dati najpovoljnije efekte i obezbediti zahtevani kvalitet proizvoda. Važno je odmah naglasiti da je u većini slučajeva pogodnije ići na skraćenje pomoćnog, tehničkog i organizacionog vremena, pošto ona najčešće sadrže prilične rezerve, kojima se može postići znatno povećanje proizvodnosti.

---

\* Dr. Svetislav Zarić, dipl. inž., vanredni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

\*\*Saopštenje sa Katedre za automatsko upravljanje Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu.



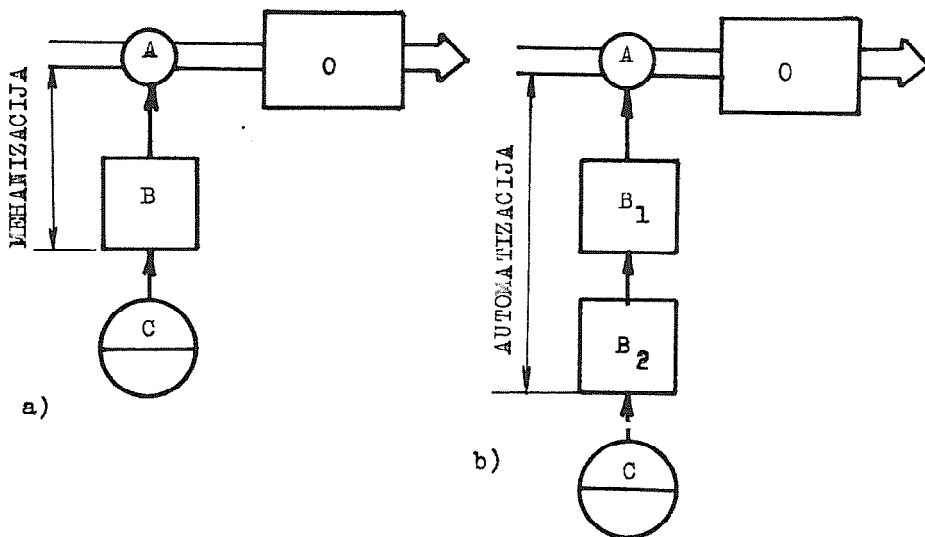
Pod povećanjem kvaliteta proizvodnje u prvom redu se misli na ujednačenost, tj. suženje zona odstupanja pojedinih proizvoda.

Poslednji faktor je često odlučujući i on služi kao merilo za uspešno sprovedenu automatizaciju.

Automatizaciju treba razlikovati od mehanizacije i ona predstavlja korak dalje u usavršavanju i unapređivanju proizvodnih procesa. Za mehanizaciju se može reći da je prva etapa, pri čemu čovek kao operator uključuje i kontroliše pojedina dejstva u sklopu tehnološkog procesa, a za njihovo izvođenje koristi se strani izvor energije. Time se u tehnološki proces uvodi sistem snage.

Automatizacija je viši stupanj i ona eliminiše čoveka i svodi ga na povremeno nadgledanje, a kao novi kvalitet javlja se sistem upravljanja. Sistem upravljanja uključuje pojedina dejstva i koordinira rad sistema snage. U zavisnosti od veličine učešća čoveka razlikuju se stupnjevi automatizacije.

Uslovi i opseg mehanizacije i automatizacije ilustrovani su na sl. 1.



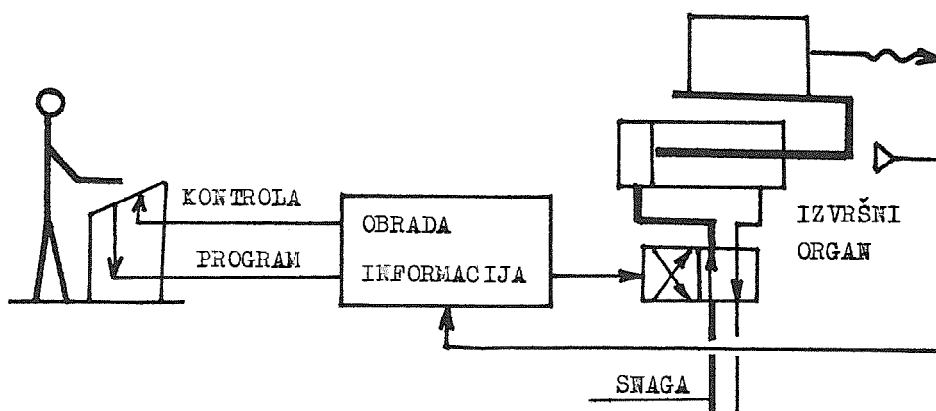
Sl. 1.

Na sl. 1-a je shema mehanizovanog sistema u kojem član B, preko prenosnog kola dejstvuje na upravljački organ A i utiče na tok energije ili mase koja se

dovodi objektu O. Operator je čovek, označen sa C, i on diriguje radom člana B odnosno vrši upravljanje. Prema tome čovek služi kao nosilac programa a jednovremeno, kao operator, upravlja elementima snage i redosledom uključivanja pojedinih dejstava. Upravljanje se vrši ručno i to bilo na upravljački organ ili preko člana B i prenosnog kola.

Uvodjenjem posebne dispozicije  $B_2$ , kao nosioca programa za davanje komandi za dejstvo na član  $B_1$  i preko njega na upravljački organ A, uključuje se u sistem i upravljanje i dobija automatizovani proces, a učešće čoveka se svodi samo na davanje signala za početak radnog ciklusa i na eventualnu povremenu kontrolu.

Strukturna organizacija jednog automatizovanog objekta, koje ilustruje dijalog između sistema upravljanja i sistema snage data je na sl.2.



Sl.2

Sistem snage je shematski prikazan hidrauličkim motorom izvedene u vidu cilindra čiji klip pokreće jedinicu za bušenje.

Upravljački sistem služi za uključivanje i uskladjivanje dejstava sistema snage i u opštem slučaju sadrži:

- deo za prijem informacija - programski deo
- deo za obradu informacija - upravljački deo
- deo za korišćenje informacija - izvršni organ
- pult za operatora (eventualno).

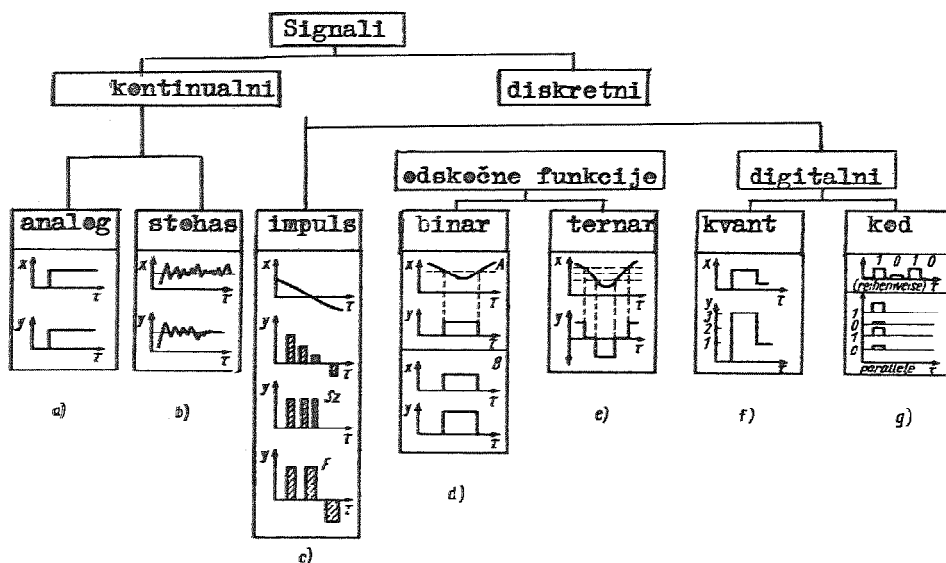
Kao nosioci informacija služe signali i oni su okarakterisani vrstom, oblikom i svojom vrednošću.

Vrsta signala je određena karakterom fizičke veličine koja služi kao nosilac informacija. Ona mora biti kvalitativno tako odabrana da promena signala prati promenu određene fizičke veličine u članu sistema i zavisi od uslova koje nameću pogon i konstrukcija.

Oblik signala je definisan promenom njegove vrednosti tokom vremena i principijelno se vrši podela na dve glavne grupe:

- kontinualni signali
- diskretni signali

Jedna uprošćena klasifikacija data je na sl.3.



SL.3.

Vrednost signala zavisi od promene fizičke veličine koja se koristi kao nosilac informacija. To pak znači da njegova vrednost ne zavisi od intenziteta energije ili mase koja se dovodi u objektu, kroz njega protiče ili se kreće.

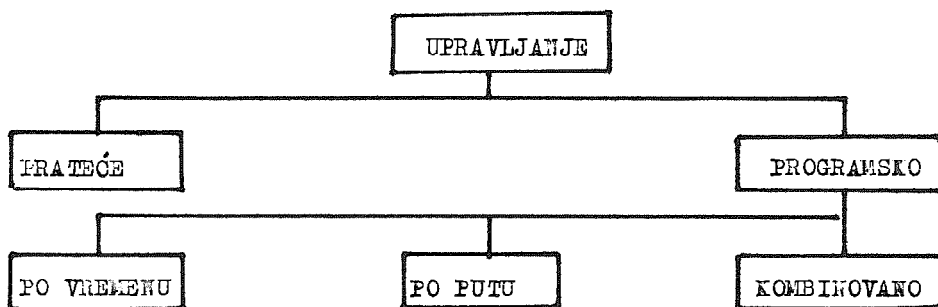
Sistem automatskog upravljanja određen je ulaznom veličinom  $x(t)$  i izlaznom veličinom  $y(t)$ , pri čemu se uvodi još i poremećaj  $z(t)$  koji deluje na objekt u kome se odvija proces. Veličina  $y(t)$  je funkcija izlaza  $x(t)$  i poremećaja  $z(t)$  tako da se zavisnost može izraziti sa

$$y(t) = F [ x(t), z(t) ]$$

Pod dejstvom ulaza i poremećaja menja se stanje objekta i u rezultatu se dobija izlazna veličina.

U zavisnosti da li se u toku izvodjenja procesa vrši poredjenje ulaza i izlaza, razlikuju se zatvoreni ili otvoreni sistemi automatskog upravljanja.

Kod otvorenih sistema, koji imaju odredjenu primenu u mašinskoj industriji, razlikuju se sledeće vrste upravljanja prikazane na sl.4.



Sl. 4.

Kod pratećeg upravljanja između ulazne i izlazne veličine, u toku izvodjenja procesa, postoji jednoznačna zavisnost sve dok usled poremećaja ne dodje do odstupanja. Ulazna veličina se menja po zakonu koji unapred nije poznat, a na izlazu se reprodukuje saglasna izlazna veličina. Upravljanje se ostvaruje automatski a zasniva se na razlici zadate ulazne i ostvarene izlazne veličine, pri čemu odgovarajući organ dejstvuje sve dok se razlika ne svede na nulu. Ovi sistemi u opštem slučaju kontrolišu vrednosti ulazne i izlazne veličine bilo kojeg elementa sistema.

Pri reprodukovanju raznih fizičkih veličina (pomeranje, ugaono obrtanje, brzina) mogu nastupiti tri sledeća osnovna slučaja:

- 1) Reprodukcija pomeranja, tj. sinfaznost

$$y = k_1 x \quad k_1 = \text{const}$$

2) Reprodukcijska brzina, tj. sinhronost

$$\frac{dy}{dt} = k_2 \frac{dx}{dt} \quad k_2 = \text{const}$$

3) Reprodukcijska brzina i pomeranje, tj. sinhrona sinfaznost ili sinfazna sinhronost

$$\frac{dy}{dt} = k \frac{dx}{dt} \quad i \quad y = k x \quad k = \text{const}$$

Kod programskog upravljanja sam termin označava da se radi o procesima koji se odvijaju po tačno odredjenom ciklusu odnosno po unapred utvrđenom programu izvođenja tehnoloških operacija.

U eksploataciji postoje različiti sistemi programskog upravljanja koji baziraju na različitim principima i svaki ima posebna svojstva vezana za karakter procesa koji se želi automatizovati i to:

- upravljanje po vremenu
- upravljanje po putu
- kombinovano upravljanje.

Kod upravljanja po vremenu ulazne veličine odnosno signali za dejstvo i izvođenje pojedinih faza radnog ciklusa dolaze sa centralnog upravljačkog organa - programera, zbog čega se ono još naziva i centralno upravljanje. Prenosna kola (tokovi prenosa) za prenos signala do izvršnih organa su nezavisna jedna od drugih kako po dejstvu tako i po položaju, te mogu raditi i paralelno.

Karakteristično je da između pojedinih kretanja i dejstava radnih organa ne postoji funkcionalna zavisnost, kao i da se stanje objekta u kome se izvodi automatsko upravljanje ne kontroliše, tako da nije obezbeđena sigurnost da li je svako kretanje potpuno izvršeno.

Upravljački organ - programer sadrži jedno vratilo sa konstantnom ugaonom brzinom, pri čemu se za jedan obrt mora vremenski obaviti ceo radni ciklus. Kao nosioci programa služe: bregovi, kulise, čepovi, perforirane trake i dr.

Upravljanje po vremenu može se izvesti i bez programera, a vremenski intervali se ostvaruju posebnim elementima, takozvanim vremenskim releima, koji omogućavaju kašnjenje izlaznih signala, pri čemu se kašnjenje može po želji

podešavati.

Kod upravljanja po putu ulazne i izlazne veličine zavise od predjenog puta ili položaja pokretnih delova u sklopu objekta, a sam put ili položaj služe kao nosioci programa. Nema centralnog upravljačkog organa, već je dejstvo pojedinih operacija međusobno funkcionalno povezano, tako da se tek po završetku prethodne automatski uključuje sledeća operacija. Ovakvo redosledno uključivanje, zbog čega se za upravljanje po putu koristi i termin redosledno, obezbeđuje da se svako kretanje u potpunosti izvrši.

Ako se uporede ova dva sistema upravljanja s obzirom na fleksibilnost, tj. promenu redosleda uključivanja tehnoloških operacija, onda je kod prvog sistema potrebno promeniti elemente programatora, dok kod drugog to zahteva intervencije u pogledu broja prenosnih kola.

U opštem slučaju za  $n$  operacija za ostvarivanje bilo kojeg redosleda uključivanja kod sistema sa upravljanjem po vremenu broj kola ostaje nepromenjen i iznosi:

$$n$$

a kod drugog sistema sa upravljanjem po putu iznosi:

$$1 + 2 + 3 + \dots + (n - 1) = \frac{n^2 - n}{2}$$

Odnos broja prenosnih kola jednog i drugog sistema je :

$$\frac{n^2 - n}{2} : n = \frac{n - 1}{2}$$

Kombinovano upravljanje sadrži elemente upravljanja po vremenu i po putu.

Kao nosilac programa služi upravljački organ - programator, ali ne sa kontinualnim radom kao kod upravljanja po vremenu, već sa periodičkim. Periodički rad zavisi od stanja objekta.

Kao karakteristike ove vrste upravljanja su postojanje programatora i dispozicije za snimanje stanja objekta (predjeni put ili položaj pokretnih delova sistema) radi davanja signala za periodičko aktiviranje programatora.

Jasno je da svaki od navedenih sistema upravljanja ima svoju prednost i nedostataka i da definitivni izbor zavisi od lokalnih uslova i stručnih kvalifikacija projektanta.

#### OPEN-LOOP CONTROL SYSTEMS USED IN AUTOMATION OF PRODUCTION

Considering an operating place as one related to technological operations, conditions for and effectiveness of process automation are developed. Two systems are distinguished, which are referred to as a power system and control system. The paper presents a classification according to a type, form and value of the signal. Furthermore, open-loop control systems are divided into those that are specific and characteristic for process automation in mechanical engineering.

## IX. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NIŠ, 1974.

S. ZARIĆ<sup>x</sup>

### KLIPNI RAZVODNIK KAO LOGIČKI ELEMENAT

#### 1. Uvod

Kod automatizacije tehnoloških procesa je od posebnog značaja da komande za uključivanje imaju karakter logičkog odlučivanja, jer će biti izvršene tek kada su ispunjeni odredjeni uslovi. Ova konstatacija omogućava da se za analizu i sintezu digitalnih sistema, koji operišu sa binarnim signalima, kao nosiocima informacija, može koristiti matematički aparat Bulove dvoznačne algebre definisane na dvočlanom skupu  $\{0, 1\}$ .

Činjenica da se Bulove, ili kako se još nazivaju logičke funkcije, mogu izraziti na tri načina i to:

- tabelarno
- tekstualno
- analitički

omogućava da se tehnološki zahtevi mogu prevesti na jezik algebre logike, odnosno da se rad sistema opiše analitički u vidu logičkih funkcija.

#### 2. Opšta jednačina razvodnika

Kao objekt razmatranja odabran je klasični klipni razvodnik koji u upravljačkim sistemima, osim funkcije distribucije fluida, vrši i funkciju operatora, odnosno tehničkog sredstva za fizičku realizaciju logičkih operacija, i kao takav se naziva logički element.

Kao osnovni i u neku ruku "univerzalni" uzet je razvodnik 3/2 sa obostranim aktiviranjem vazduhom pod pritiskom [1]. Radi po-

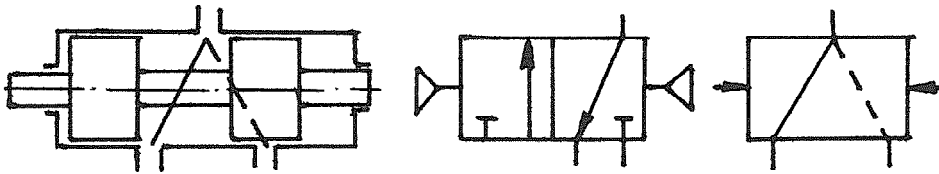
---

<sup>x</sup> Dr. Svetislav Zarić, dipl.inž.vanr.prof. Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

<sup>xx</sup> Saopštenje sa Katedre za automatsko upravljanje Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu.



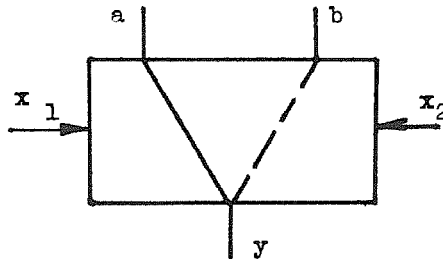
desnije analize i bolje preglednosti, s obzirom na njegovu funkciju kao operatora, usvojiće se poseban simbolički prikaz, različit od uobičajenog i preporučenog od strane CETOP-a, prikazan na slici 1.



Slika 1

Na ovom prikazu su tokovi označeni nagnutim linijama, broj linija odgovara broju protoka, dok orijentacija nagiba služi za identifikaciju položaja uključivanja, odnosno položaja klipa razvodnika. Puna linija daje protok fluida kroz razvodnik kada je aktiviran signalom sa desne strane, a tačkasta kada je aktiviranje sa leve strane.

Ako se na slici 2 upravljački signali  $x_1$  i  $x_2$  i signali na priključcima a i b shvate kao ulazne promenljive, a signal na priključku y kao izlazna promenljiva, onda će signal na izlazu zavisiti od vrednosti signala na ulazu, iz čega proizilazi da su ulazne promenljive nezavisno, a izlazna zavisno promenljive, tako da se one mogu povezati logičkom funkcijom:



Slika 2

$$y = f(x_1, x_2, a, b)$$

Uslovi rada razvodnika se mogu formulisati u vidu tekstualnog algoritma koji glasi:

1. Na izlaznom priključku će se pojaviti signal u vidu vazduha pod pritiskom u sledećim slučajevima:

- a) Ako postoji signal  $x_1$  i ako se na priključak b dovede vazduh pod pritiskom, nezavisno od toga da li na priključku a ima ili nema vazduha pod pritiskom.
- b) Ako postoji signal  $x_2$  i ako se na priključak a dovede vazduh pod pritiskom, nezavisno od toga da li na priključku b ima ili nema vazduha pod pritiskom.

2. Zabranjena su sledeća stanja:

- a) Jednovremeno odsustvo oba upravljačka signala  $x_1$  i  $x_2$ .
- b) Jednovremeno prisustvo oba upravljačka signala  $x_1$  i  $x_2$ .

Navedeni zahtevi mogu se prikazati tabelarno na slici 3, gde su date sve moguće različite kombinacije vrednosti ulaznih promenljivih i kojih, u opštem slučaju, ima

$x_1$	$x_2$	a	b	y
0	0	0	0	-
0	0	0	1	-
0	0	1	0	-
0	0	1	1	-
0	1	0	0	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	0	1	1
1	0	1	0	0
1	0	1	1	1
1	1	0	0	-
1	1	0	1	-
1	1	1	0	-
1	1	1	1	-

$$V_r^n = r^n$$

gde su:

r - broj vrednosti promenljivih

n - broj promenljivih

U datom slučaju za n binarnih promenljivih biće:

$$V = 2^4 = 16$$

različitih kombinacija bez ponavljanja.

Slika 3

Koristeći činjenicu, navedenu u uvodnom delu, da se logička funkcija može izraziti i tabelarno, to posmatrajući tabelu na slici 3 kao tabelu stanja i primenjujući odgovarajuće postupke iz Bulove algebre, isključujući kombinacije koje su zabranjene kao tehnološki neizvodljive, dobiće se logička funkcija koja glasi:

$$y = \bar{x}_1 x_2 a + x_1 \bar{x}_2 b \dots \dots \dots (1)$$

što prevedeno na "običan" jezik znači: na priključku y biće signala ako su prisutni signali  $x_2$  i a, ili  $x_1$  i b.

Jednačina (1) izražava funkcionalnu zavisnost ulaza i izlaza, odnosno opisuje rad razvodnika u vidu algebarskog izraza.

Kod razvodnika sa jednostranim aktiviranjem vazduhom pod pritiskom i povratnom oprugom (slika 4) signal  $x_2$ , koga ostvaruje opruga, biće uvek u opoziciji sa signalom  $x_1$ , što se može simbolima algebre logike izraziti sa:

$$x_2 = \bar{x}_1 \text{ i } \bar{x}_2 = x_1$$

Zamenom ovih vrednosti u jednačini (1) dobiće se opšta jednačina za

Slika 4

opisivanje rada razvodnika 3/2 sa jednostranim aktiviranjem i koja glasi:

$$y = \bar{x}_1 a + x_1 b \quad \dots \quad (2)$$

### 3. Razvodnik kao logički element

Za analizu, da bi se istakao princip, razmatraće se sledeće tri logičke operacije, odnosno funkcije:

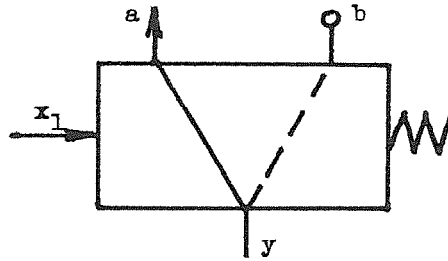
- operacija ponavljanja, odnosno funkcija DA
- operacija logičkog množenja, odnosno funkcija I
- operacija logičkog sabiranja, odnosno funkcija III.

Polazeći od jednačine (1) i (2) kao opštih, naći će se i posebne jednačine za svaki tip razvodnika i verifikovati da li one tačno definišu uslove rada, odnosno da li odgovarajući razvodnici, kao operatori, realizuju pojedine logičke operacije.

Iz Bulove algebre je poznato da je operacija ponavljanja logička funkcija jedne nezavisno promenljive i da ona ima istu vrednost kao nezavisno promenljiva, što se izražava jednačinom:

$$y = x$$

Za logički elemenat koji fizički realizuje ovu funkciju to znači da se na njegovom izlazu reprodukuje ulazni signal. Ako se za realizaciju ove funkcije upotrebi razvodnik 3/2 sa jednostranim upravljanjem i oprugom, priključen prema slici 5 tako da je priključak a vezan za atmosferu, a priključak b za izvor napajanja sa vazduhom pod pritiskom, onda će, primenjujući simboliku algebre logike, takvi uslovi biti izraženi sa:



Slika 5

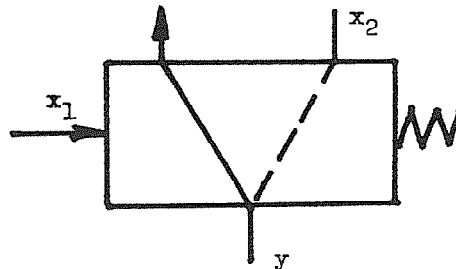
$$a = 0 \quad i \quad b = 1$$

Zamenom ovih vrednosti u jednačini (2) dobiće se:

$$y = \bar{x}_1 \cdot 0 + x_1 \cdot 1 = x_1$$

Upoređujući dobijeni izraz sa polaznom jednačinom funkcije ponavljanja konstatuje se identičnost, iz čega proizilazi zaključak da prikazani razvodnik stvarno realizuje ovu funkciju.

Ako se uključivanje razvodnika 3/2 izvrši prema slici 6, tako da se priključak a povezuje sa atmosferom, a na priključak b dovede signal  $x_2$ , što znači da je:



Slika 6

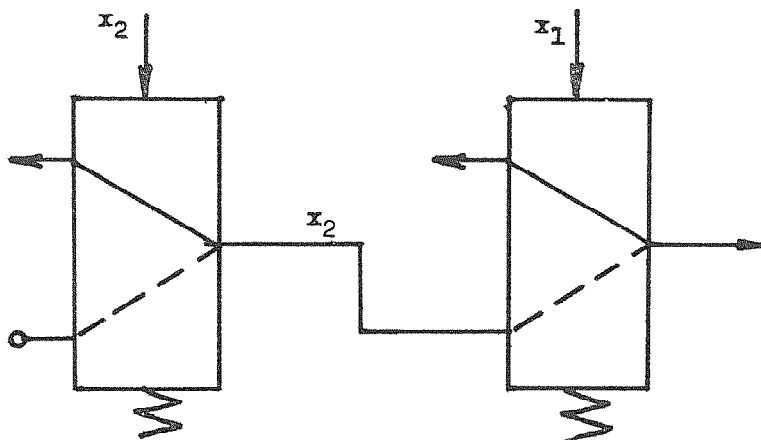
$$a = 0 \quad i \quad b = x_2$$

to će, koristeći jednačinu (2), funkcionisanje razvodnika biti opisano logičkom jednačinom:

$$y = \bar{x}_1 \cdot 0 + x_1 \cdot x_2 = x_1 \cdot x_2$$

Dobijeni izraz odgovara funkciji logičkog množenja, te na ovaj način povezan razvodnik realizuje operaciju logičkog množenja, odnosno funkciju I.

Signal  $x_2$  se može ostvariti razvodnikom za realizaciju funkcije  $D_a$ , tako da se operacija logičkog množenja može ostvariti rednom vezom dva ista razvodnika prema shemi na slici 7.



Slika 7

Ako se razvodnik 3/2 sa jednostranim upravljanjem poveže tako da se na priključak a dovede signal  $x_2$ , a priključak b veže za vod sa vazduhom pod pritiskom, tako da je:

$$a = x_2 \quad i \quad b = 1$$

onda će jednačina koja opisuje rad razvodnika glasiti:

$$y = \bar{x}_1 x_2 + x_1 1 = \bar{x}_1 x_2 + x_1 \quad \dots\dots\dots (3)$$

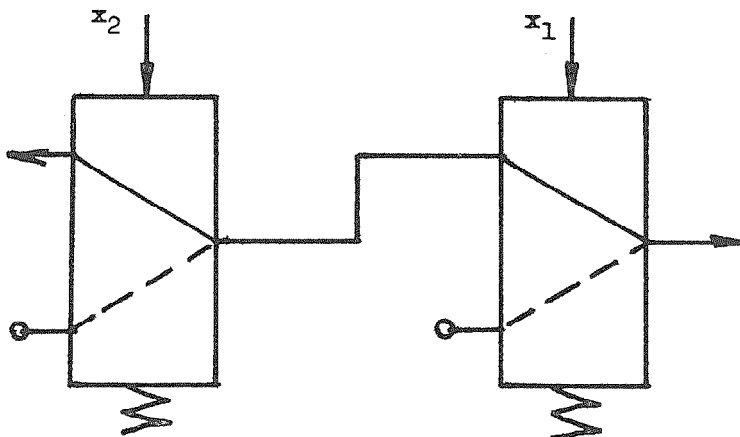
Shema koja realizuje ovu jednačinu, gde je za ostvarivanje signala  $x_2$  upotrebljen razvodnik za realizaciju funkcije  $D_a$ , prikazana je na slici 8.

Koristeći jedan stav iz Bulove algebre pod nazivom teorema o komplementu koji glasi:

$$x + \bar{x} = 1$$

može se gornja jednačina proširiti množenjem drugog člana izrazom  $(x_2 + \bar{x}_2)$ , a da se njena vrednost ne promeni, tako da će polazna jednačina sada glasiti:

$$y = \bar{x}_1 x_2 + x_1(x_2 + \bar{x}_2) = \bar{x}_1 x_2 + x_1 x_2 + x_1 \bar{x}_2$$



Slika 8

Primenjujući zatim tzv. zakon sažimanja, može se gornja jednačina dalje transformisati u oblik:

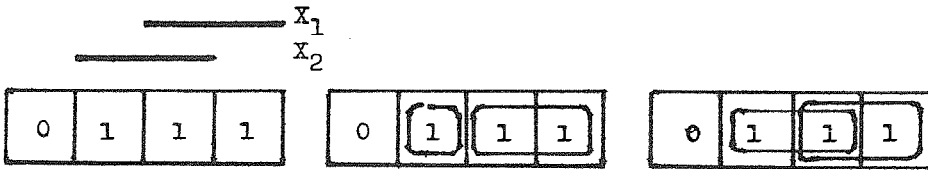
$$y = x_2(\bar{x}_1 + x_1) + x_1(x_2 + \bar{x}_2) = x_1 + x_2 \dots\dots\dots (4)$$

Dobijeni izraz odgovara operaciji logičkog sabiranja, što znači da shema na slici 8 realizuje operaciju logičkog sabiranja, odnosno funkciju ILI. Dalje se zaključuje da su jednačina (3) i jednačina (4) logički identične, što je od posebnog značaja kada se kao logički elementi koriste klipni razvodnici, što će biti ilustrovano sledećim diskusijom.

Logičke jednačine se mogu i grafički prikazati pomoću tzv. dijagrama KARNAUGH koji jednovremeno služi i za sprovođenje minimizacije logičkih funkcija<sup>x</sup>. Logička funkcija ILI, odnosno operacija logičkog sabiranja dvaju nezavisno promenljivih  $x_1$  i  $x_2$  prikazana u ovom dijagramu data je na slici 9a.

Grafička minimizacija sprovodi se tako da se formiraju konture koje obuhvataju "susedna jedinična polja" pri čemu svaka kon-

<sup>x</sup> Pod minimizacijom se podrazumeva postupak dobijanja logički ekvivalentne jednačine ali analitički prostijeg izraza.



Slika 9

tura odgovara jednoj implikanti.

Jednačina:

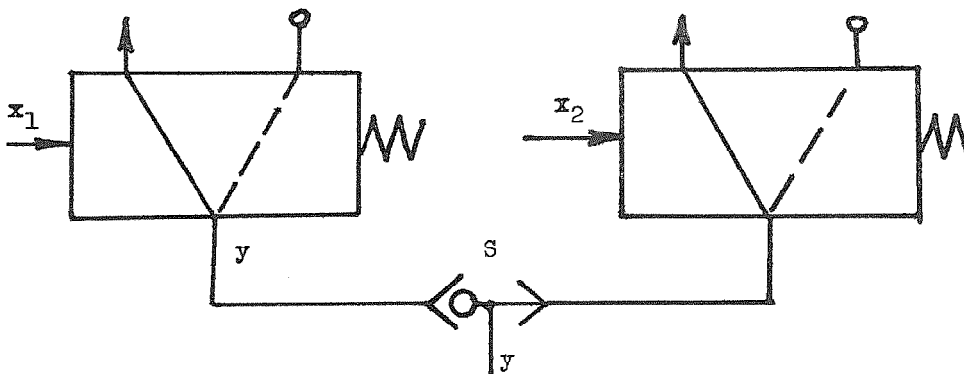
$$y = \bar{x}_1 x_2 + x_1$$

u dijagramu na slici 9b označava da je formiranje kontura (obuhvatanje jediničnih polja) izvršeno tako da su obrazovane dve konture koje odgovaraju implikantama  $\bar{x}_1 x_2$  i  $x_1$ , pri čemu se te konture ne seku.

Jednačini:

$$y = x_1 + x_2$$

logički ekvivalentnoj prethodnoj jednačini, odgovaraju na slici 9c dve konture za implikante  $x_1$  i  $x_2$ , ali koje se međusobno seku. Ovoj jednačini odgovara shema na slici 10, gde je osim dva razvodnika za funkciju operatora DA, uključen i jedan selektor S koji je u stvari naizmjenično nepovratni ventil.



Slika 10

Upoređujući dijagrame na slici 9b i 9c i odgovarajuće realizacije na slici 8 i slici 10 može se izvući sledeći važan zaključak u odnosu na sisteme izvedene na bazi razvodnika [2]:

Kod sistema sa razvodnicima, za razliku od ostalih sistema, pri sprovođenju minimizacije nema jednog jedinog rešenja već više. Rešenja zavise od načina grupisanja jediničnih polja u dijagramu Karnaugh. Kod grupisanja gde se konture seku mora se upotrebiti selektor, dok kod grupisanja bez presecanja selektor otpada.

### Zaključak

Klipni razvodnik sa svojom prvobitnom funkcijom za distribuciju fluida u hidrauličkim i pneumatskim instalacijama, koristi se i kao logički elemenat kod digitalnih sistema predviđenih za automatizaciju tehnoloških procesa. U takvim uslovima on je pretrpeo izvesne modifikacije orijentisane prvenstveno na smanjenje gabarita i vremena odziva, kao i načina ugradnje. Matematička interpretacija posredstvom Bulove algebre daje logičke jednačine koje opisuju rad razvodnika kao logičkog elementa i one se mogu direktno koristiti pri projektovanju upravljačkih sistema.

### Literatura

- [1] Zarić S., Digitalni pneumatski sistemi, Zbornik radova Mašinstvo 1873-1973, Beograd, 1974, knjiga I.
- [2] Zarić S., Sinteza asinhronih automata na bazi pneumatike za automatizaciju tehnoloških procesa sa redoslednim upravljanjem, doktorska disertacija, Beograd, 1974.

#### The piston Valve as a Logic Element

Making use of Boolean algebra as a mathematical apparatus, the author describes the piston control valve as a logic element. A general equation of the valve with double pneumatic control is given in the paper, followed by an analysis of special cases for physical representation of the function identity, function AND and OR. The final remarks state that with piston valves under minimization conditions, unlike the other types of logic elements, it is possible to obtain different solutions, depending on whether a shuttle valve is employed or not.





## IX. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NIŠ, 1974.

B. KLADNIK <sup>x</sup>

PNEVMATSKO PROGRAMIRANA STRUŽNICA <sup>xx</sup>

### Uvod

Male dokončevalne stružnice, ki imajo običajno ročne pomike suportov, je možno s primerno adaptacijo avtomatizirati. Avtomatizacija je izvedena s pnevmatskim programskim krmiljem in pnevmohidravličnimi podajnimi enotami. Da se produktivnost z avtomatizacijo precej poveča, je takoj vsakemu jasno. Tudi stroški za adaptacijo stružnice niso veliki in se v kratkem času povrnejo. Pokazalo se je, da je včasih smotrnejša adaptacija stružnice ali celo nabava že adaptirane dokončevalne stružnice, kot pa nabava dragih klasičnih avtomatov. Še eno prednost imajo te stružnice. Program delovanja je možno zelo hitro nastaviti, zaradi česar so te stružnice rentabilne že pri zelo malih serijah.

### Programirani stružnici UDS-2-HP in UDS-3-HP

Že pred leti je bila na Zavodu za avtomatizacijo realizirana s sodelovanjem tovarne "KRUŠIK" iz Valjeva prva programirana stružnica iz serije UDS.

(Slika 1).

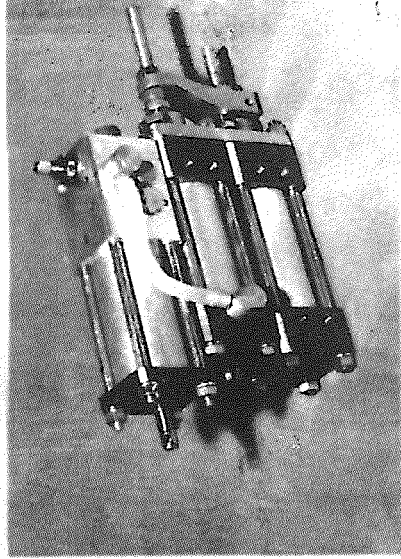
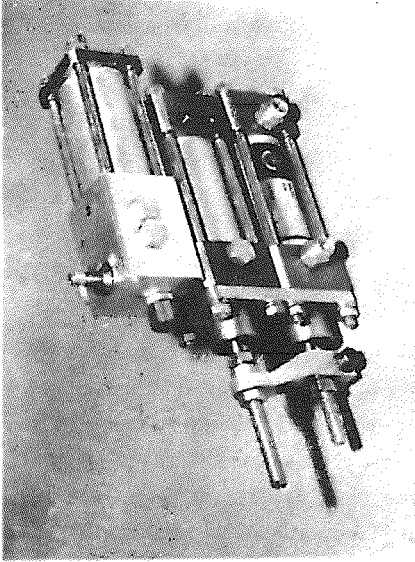
Ročni pomiki suportov so bili nadomeščeni s pnevmohidravličnimi podajnimi enotami. Dodana je tudi podajna enota, ki preko vzvodnega mehanizma potiska ročico z nožem za odrezavanje končanega izdelka iz paličnega materiala. Ta izvedba - tipa UDS-2-HP je na sejnih in kasneje od samih kupcev dobila las-kave pohvale. Izvedenih je bilo tudi nekaj namenskih variant s fiksnim programom delovanja. Taki sta na pr. stružnici v "Prvem partizanu" v Titovih Užicah, za obdelavo ventilov za razne avtomobilske motorje.

Obdelovalna sposobnost stružnice je dokaj majhna. Stružnica ima možnost prečnega in vzdolžnega struženja ter odrezovanja, kar pa za malo bolj kompli-cirane izdelke ne zadostuje. Zato je bil na ZZA izveden nov programator za

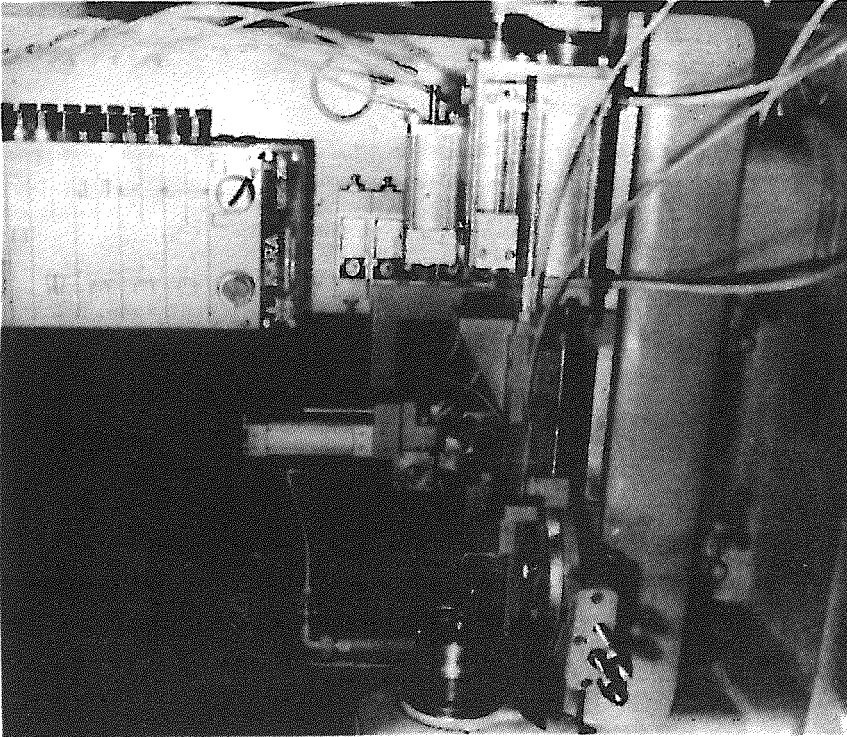
---

x Božidar Kladnik, dipl.ing., Zavod za avtomatizacijo Ljubljana

xx Konstrukcija hidro-pnevmatske opreme za stružnico UDS-2-HP- diplomsko delo, 1972



Slika 2.



Slika 1.

stružnico UDS-3-HP. Stružnica se ravno sedaj preizkuša in se na njej vršijo meritve. Stružnica ima prečni suport, ki ga pomika tropoložajna podajna enota. Samo ime podajne enote pove, da dobimo z njo tri fiksne položaje suporta - srednji položaj in krajna položaja pri pomiku iz sredine naprej ali nazaj. Preprosto povedano, s prečnim suportom lahko stružimo odnosno zastružujemo pri pomiku iz srednjega položaja naprej in nazaj. Namesto vzdolžnega suporta pa je na stružnico postavljen revolver suport. Z njim povečamo obdelovalno sposobnost stružnice, saj ima revolver suport glavo, v katero vpnemo lahko 6 različnih orodij. Isto tako kot pri prejšnji stružnici je tudi tu še podajna enota za odrezovanje. Konstrukcijsko je ta stružnica večja in tudi bolj toga od UDS-2-HP in zato primernejša tudi za obdelavo malo večjih kosov.

#### Pnevmohidravlične podajne enote

Hitrost pomika suporta - prečnega, vzdolžnega ali revolver suporta - je bistvenega pomena za kvaliteto obdelave kakor tudi za obrabo in obstojnost rezilnih orodij. Pnevmohidravlične podajne enote imajo svoje prednosti kakor tudi slabosti nasproti klasičnim mehanskim pomikom na stružnicah.

Podajna enota je povezana s suportom tako, da je batnica podajne enote vezana za gibajoči del suporta, enota sama pa je povezana s fiksnim delom suporta ali stroja. Ta način povezave ni edini, ker je lahko batnica podajne enote povezana s fiksnim delom suporta.

Podajna enota je sestavljena iz pnevmatskega cilindra, zavornega cilindra z regulatorjem pretoka in kompenzatorja (Slika 2).

Pnevmatski cilinder je namenjen za izvršitev pomikov z določeno silo, zavorni cilinder z regulatorjem pretoka pa je tisti del podajne enote, ki je namenjen za regulacijo hitrosti pomika. Batnici obeh cilindrov sta običajno vezani z jarnom, lahko pa sta oba cilindra izvedena v tandem izvedbi kot je to primer pri podajni enoti revolver suporta. Zavorni cilinder je napolnjen s hidravličnim oljem, ki kroži v zaključenem tokokrogu preko regulatorja pretoka. Z njim uravnavamo pretočno količino olja in s tem posredno hitrost pomika enote. Pomika enote lahko izvedemo v kombinaciji hitrega in počasnega hoda. Tak način delovanja je upravičen, saj s hitrimi hodi bistveno skrajšamo čase jalovih hodov suportov. To izvedemo z delnim prostim hodom pnevmatskega cilindra, kar predstavlja hitri hod enote ter nadaljevanjem hoda pnevmatskega cilindra skupaj z zavornim cilindrom, ki da ustrezno podajalno hitrost. Kombinacijo hitrega in počasnega hoda pa je možno dobiti tudi z ustrezn-

nim krmiljenjem pretoka olja na zavornem cilindru.

Navedena varianta je uporabna v primeru, ko sta batnici pnevmatskega in zavornega cilindra fiksno povezani z jarmom ali pa je podajna enota tandem izvedbe. Podatjna enota revolver suporta je tandem izvedbe, kot je bilo že omenjeno, in je pri njej možno dobiti hitri hod samo s krmiljenjem pretoka olja. Zato ima prigrajeno posebno regulacijsko enoto za regulacijo hitrosti podajne enote. V regulacijski enoti so trije regulatorji pretoka vezani tako, da imata po dva delovna giba revolver suporta isti hitrosti. V slučaju zahteve, da ima vsak od šestih delovnih hodov revolver suporta svojo hitrost gibanja, je možno prigraditi še tri regulatorje pretoka. Poleg regulatorjev pretoka je v regulacijski enoti tudi razvodnik, ki pri ustreznem krmiljenju omogoča poln pretok olja na zavorni enoti. V takem primeru so regulatorji pretoka izključeni in dobimo hitri hod revolver suporta. Regulacija hitrosti pomika je zvezna, kar omogoča izbiro najprimernejše hitrosti pomika suporta.

Poznano je, da so pnevmatski sistemi, oziroma, če konkretno govorimo o pnevmohidravličnih podajnih enotah, elastični sistemi, zaradi stisljivosti zraka. To pomeni, da se s spremembo odrivne sile pri obdelavi spreminja hitrost podajanja. V ekstremnem primeru pa se lahko zgodi, da odrivna sila naraste na tako velikost kot je podajna sila in enota se zaustavi, ter stoji dokler odrivna sila ne pade. Pri optimalno izbranih obdelovalnih pogojih in primerni kvaliteti rezilnega orodja ne more priti do variranja hitrosti pomika ali celo do zaustavitve podajne enote. V primeru, da se pri izdelavi projekta pokaže eventualna možnost velikega porasta odrivne sile pri obdelavi, pa namesto računsko določene velikosti podajne enote vzamemo zaradi zanesljivosti delovanja, naslednjo večjo standardno podajno enoto.

#### Programsko krmilje - programator

Podajne enote stružnice smatramo za izvršilne organe pnevmatske opreme. Njih gibanje je pogojeno z delovanjem pnevmatskega programskega krmilja ali kratko programatorja, ki predstavlja srce celotne pnevmatske opreme stružnice.

Za gradnjo programatorja smo uporabili miniaturne pnevmatske razvodnike, ki so med seboj povezani v blok sistemu.

Tak sistem omogoča dobro kontrolo in preglednost nad elementi in hitro zamenjavo pokvarjenega pnevmatskega razvodnika z novim.

Pnevmatski programator lahko razdelimo na tri tipične skupine:

- relseje, ki predelajo mirujoče impulze končnih stikal

- releje, ki predelajo impulze senzorskih končnih stikal.
- relejni blok za štetje in predelavo impulzov.

#### Relejna skupina za končna stikala

Končna stikala dajo dolg (mirujoč) pnevmatski signal, ki pa ga moramo predelati v kratkega. To nalogo opravi rele PR2, ki je v bistvu pnevmatsko krmiljen razvodnik z diferenčnim batom. V slučaju izpada tlaka v omrežju, rele deluje kot spominski člen in zadrži tisti položaj, ki ga je imel pred izpadom. Rele je zaradi svoje funkcije dobil ime odsešni rele. (Slika 3)

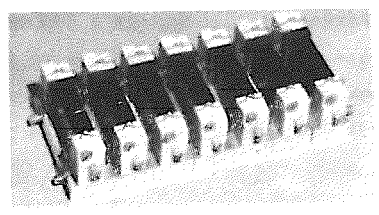
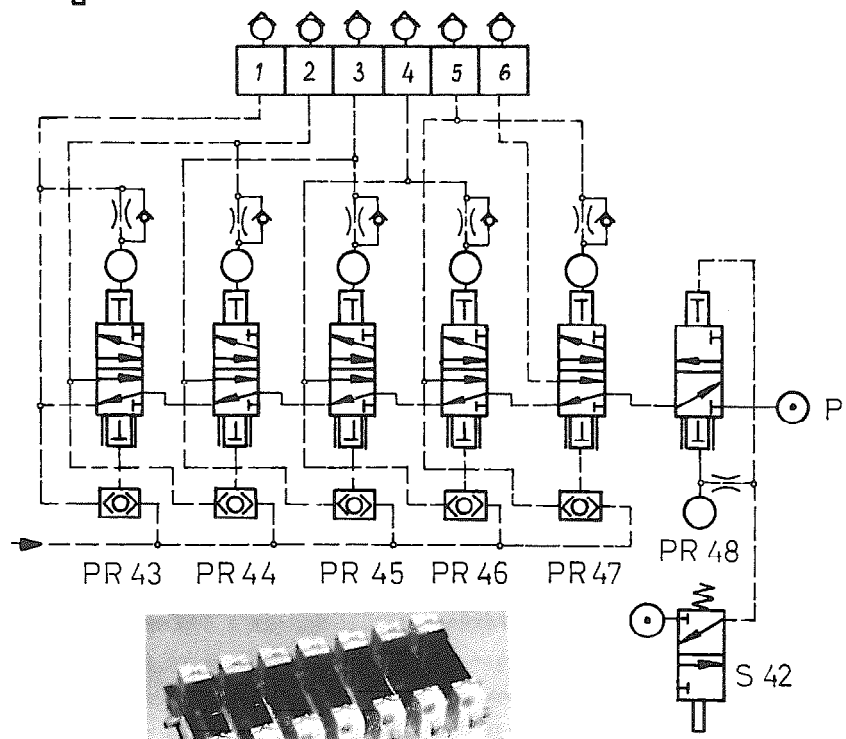
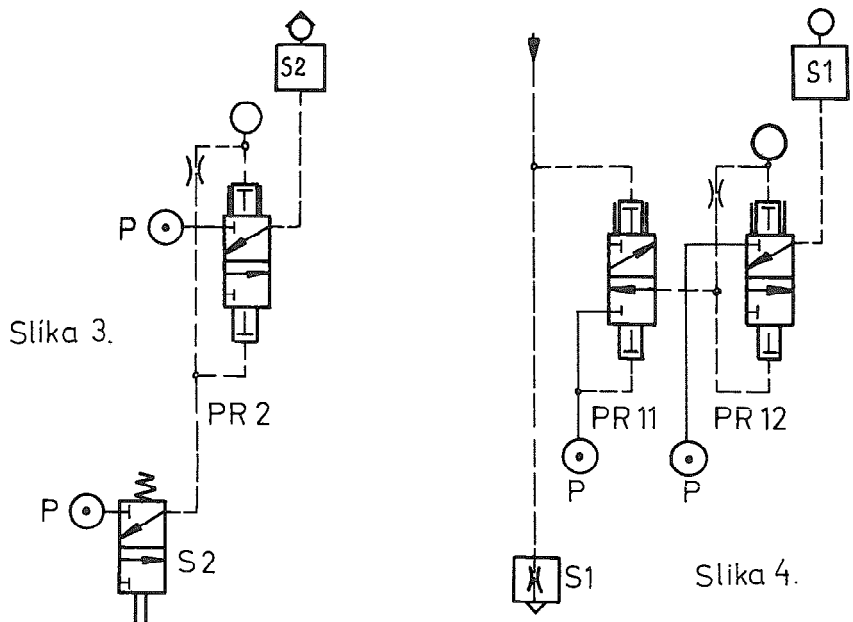
#### Relejna skupina za senzorska končna stikala

Pri senzorskih končnih stikalih se dogaja, da tlak impulza počasi narašča. Tak počasen impulz često ni primeren za nadaljnje krmiljenje. Zato uporabimo v takem primeru dva releja PR 11 in PR 12. Rele PR 11 predela počasi naraščajoči tlak senzorskega stikala v sunkovit trajen tlačni impulz, rele PR12 pa ta impulz po določenem času samodejno prekine. Dolžina tega časa je odvisna od razmerja vgrajene fiksne dušilke in volumna, ki sta povezana s krmilno enoto releja. (Slika 4)

#### Relejni blok za štetje

Relejni blok je namenjen za krmiljenje hodov revolver suporta. Blok je sestavljen iz podobnih pnevmatskih elementov kot so elementi relejnih skupin za končna stikala in senzorje. To so petsmerni razvodniki (Slika 5).

Delovanje bloka je podobno delovanju kaskad z razliko, da je praklop relejev kaskade za vodenje impulza končnega stikala, samodejen. Pred kaskado je rele PR 48, ki ima nalogo odsečnega releja. Skozi kaskado spusti tlačni impulz končnega stikala S 42, in ga po določenem času prekine, ter odzrači kaskado. Samodejni preklop vsakega releja v kaskadi je možen zaradi vgrajenega diferencialnega bata v relejih in pnevmatske časovne enote (nepovratno dušilni ventil in volumen), ki zadrži tlačni impulz. Obe krmilni enoti releja sta napajani istočasno s tlačnim zrakom impulza. Večji krmilni bat je direktno napajen, manjši pa je napajen preko nepovratno dušilnega ventila in volumna. V trenutku odzračitve kaskade, zadržani tlačni impulz z nepovratno dušilnim ventilom in volumnom, preklopi rele. Isti način preklopa se ponavlja z vsemi releji kaskade. Po končani operaciji se releji kaskade s signalom iz pnevmatskega vezja vrnejo v izhodiščni položaj in kaskada je pripravljena za ponovno delovanje.



Slika 5.

## PROGRAMIRANJE

Pnevmatsko krmilje je v bistvu koračni programator, ki omogoča poljubno nastavljanje enega fiksnega programa. V programu so lahko zajete vse delovne enote ali pa samo en del teh. Redosled delovanja delovnih enot se s programom poljubno izbere, odvisno od tehnološkega postopka. Program lahko nastavimo za polavtomatsko delovanje ali avtomatsko.

## LITERATURA

- 1 Anton Vidmar, Pnevmatika v industriji, Seminar, Ljubljana 1973
- 2 Božidar Kladnik, dipl.ing., Konstrukcija hidropnevmatske opreme stružnice, diplomsko delo 1972

B.Kladnik

PNEUMATISCH PROGRAMMIERTE DREHEBÄNKE

Der Schrittprogrammator stalt einen rationalen Übergang von klassischen pneumatischen Steuerungen zu den komplizierten logischen Steuerungssystemen vor. Eine einfache, aber trotzdem flexible Lösung des Programmators ist in diesem Beitrag behandelt. Das Programmieren der Steuerungseinheit ist sehr einfach und fordert keine Spezialausbildung.





## IX. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NIŠ, 1974.

V. ZRNIĆ<sup>x</sup>

AUTOMATIZACIJA RADA UREDJAJA ZA DOZIRANJE SMEŠE SA POSEBNIM ZAHTEVIMA PRIMENOM KASKADNE METODE<sup>xxx</sup>

### 1. Uvod

Rešenje automatskog rada neke mašine, uređaja ili procesa može biti izradjeno električnim, hidrauličnim ili pneumatskim komponentama, ali tako da one čine jedan upravljački sistem koji ispunjava projektne zahteve.

Koja će tehnika za konkretan slučaj biti primenjena zavisi s jedne strane od objektivnih mogućnosti komponenata (njihovih karakteristika) i posebnih uslova rada (sredina, bezbednost) s druge strane, a koji ne smeju negativno uticati na ispravno funkcionisanje projektovanog sistema. Ne retko, sistem se izvodi kombinacijom pojedinih tehnika pri čemu se odabiraju one osobine koje najbolje odgovaraju konkretnom zadatku. To je najčešće put do optimalnog rešenja u tehničkom i ekonomskom pogledu.

Pre prelaska na izradu rešenja razmatraju se uslovi sredine, bezbednost pri radu, opasnost od požara ili eksplozije, eksploatacioni troškovi i drugi elementi značajni za konkretno rešenje. Ova opšta razmatranja već u odredjenom smislu orijentišu glavni smer kretanja pri izradi zadatka.

Sasvim je jasno da izbor tehnike za konkretan slučaj podrazumeva poznavanje karakteristika pojedinih tehnika kao i cenu potrebnih komponenata.

Za izradu upravljačkog sistema radi automatizacije procesa proizvodnje postoji nekoliko mogućnosti. Ako se proces koga treba automatizovati odvija vremenski bez uslovnosti da sledeća operacija

---

x Vladimir Zrnić dipl. maš. inž. , Industrija hidraulike i pneumatike "Prva Petoletka" Trstenik, OOUR Inženjering- Beograd

xx Rešenje izradjeno na zahtev krajnjeg korisnika projektantskih usluga Inženjeringa

može nastati tek pošto se prethodna završi, onda primena programa daje optimalno rešenje. Za slučaj kada sledeća operacija može početi tek ako je prethodna završena, redosledno upravljanje daje u eksploataciji sigurno rešenje. Postupci za izradu rešenja po jednom ili drugom toku odvijanja operacija su na taj način definisali bliže metod rešavanja postavljenog zadatka. Kada se rešenje mora tražiti pod uslovom da se mora primeniti redosledno upravljanje mogu se koristiti danas proverene metode i to:

1. Kaskadna metoda
2. Metoda po Mecman-u
3. Primena kompjutera za projektovanje

Prve dve metode se zasnivaju na istim zakonitostima samo imaju različiti put koji dovodi do istog rešenja. Ovde će biti govora o kaskadnoj metodi kao jednom od načina rešavanja složenijih kretanja izvršnih organa (pneumatskih motora) postavljenih projektivnim zahtevima.

## 2. Kaskadna metoda

Ovde neće biti reči detaljno o kaskadnoj metodi, jer to nije osnovni zadatak ove teme. Osnovna pravila i postupak će se dati samo kao preduslov za bolje razumevanje pri izradi funkcionalne šeme uređaja za doziranje.

Kada se u sistemu nalaze dva ili više cilindara koji vrše određene operacije, a prema redosledu rada cilindara u toku izvođenja ciklusa, dolazi do pojave mirujućih impulsa, onda za rešenje postavljenog zadatka mora biti primenjena kaskadna metoda. Odmah treba reći da se pojavu mirujućih impulsa javlja kada redosled rada cilindara odstupa od pravila da svaki cilindar prvo vrši jedan hod i tek posle izvršenja svih predviđenih hodova drugih cilindara istim redosledom u ciklusu se nastavlja izvršenje suprotnih hodova. Iz projektnog zadatka se definiše redosled rada cilindara. Ako sistem ima tri cilindra i prema tehnologiji izvršenja zadatka redosled cilindara iznosi:  $C_1 - C_2 + C_3 + C_1 + C_2 - C_3$  - onda za izradu funkcionalne šeme neće biti problema. Kao što se vidi, svi cilindri u prvom delu ciklusa izvršavaju svoj, po tehnologiji zahtevani, redosled ( $C_1 - C_2 + C_3$ ).

U nastavku, cilindri istim redom izvode suprotnog smera hodove. Ovakav redosled je potpuno pravilan i ceo ciklus se može izvesti bez zastoja. U ovom sex slučaju ne javljaju mirujućí impulsi. Ovde će uvek krajnji prekidač jednog hoda cilindra dati signal za rad sledećeg cilindra sve do kraja izvršenja ciklusa. U takvim slučajevima izrada funkcionalne šeme je vrlo jednostavna.

Ako tehnologija zahteva neki drugi redosled rada cilindara, onda se skoro redovno javljaju mirujućí impulsi, a za izradu funkcionalne šeme treba primenuti kaskadnu metodu. Postoje i drugi načini za otklanjanje mirujućih impulsa, ali se primenom kaskadne metode ovakav problem vrlo lako rešava.

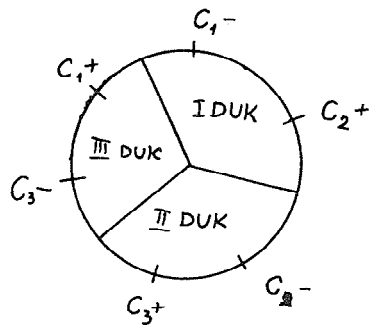
Neka je redosled rada cilindara:  $C_1 - C_2^+ C_2^- C_3^+ C_3^- C_1^+$ . Ovaj redosled odstupa od pomenutog pravila pa se sa sigurnošću može očekivati pojava mirujućih impulsa. U tom slučaju primenjujućí kaskadnu metodu može se normalno dobiti nesmetano automatsko odvijanja ciklusa. Za izradu rešenja po kaskadnoj metodi razradjen je i postupak definisan u nekoliko pravila. Radi boljeg objašnjenja svih pravila, biće izradjen i jedan primer, ali samo kao demonstracija postupka.

1. Pravilo: na jedan krug proizvoljne veličine sa naznakom predvidjenih hodova ubeleže se cilindri (slika 1). U jednom delimičnom upravljačkom kolu (DUK) ne mogu se naći dva hoda istog cilindra. Prema ovom pravilu se grupišu cilindri na krugu. Tako se u ovom slučaju dobijaju tri delimična upravljačka kola (DUK). U prvom DUK se nalaze cilindri  $C_1 - C_2^+$ . Drugo DUK čine cilindri  $C_2^- C_3^+$ , a treće DUK cilindri  $C_3^- C_1^+$ .

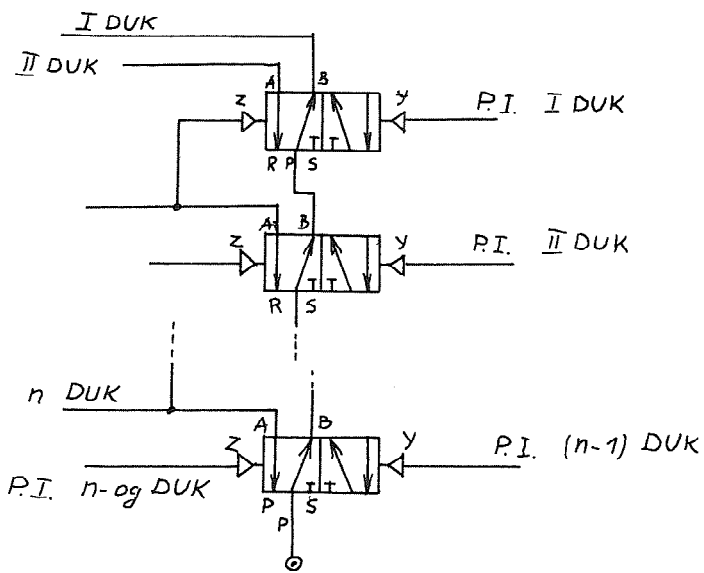
2. Pravilo: Svi impulsi razvodnici (krajnji prekidači) odgovarajućih cilindara snabdevaju se vazduhom iz vodova onih DUK kome pripadaju. Tako će krajnji prekidači kod  $C_1 - C_2^+$  biti povezani na I DUK. To važi i za ostale krajnje prekidače.

3. Pravilo: vodovi DUK vezani su sa posebnim memoriskim razvodnicima 5/2 koji se u takvom kolu zovu kaskadni razvodnici. Broj kaskadnih razvodnika se izračunava po formuli:

$$z = n-1 \quad \text{gde je } n \text{ broj DUK-a}$$



SL. 1



SL. 2

P.I. - poslednji impuls

n - broj DUK

4. Pravilo: Kaskadni razvodnici biti tako povezani da uvek samo u jednom DUK bude vazduha, a ostaja DUK moraju biti rasterećena (bez vazduha). Medusobne veze kaskadnih razvodnika date su na slici 2.

5. Pravilo: Prvo komandovanje u jednom delimičnom upravljačkom kolu ne vrši krajnji prekidač, već direktno DUK.

6. Pravilo: poslednji krajnji prekidač, koga u jednom DUK-u aktivira cilindar, ne daje komandu sledećem cilindru, već sledećem DUK-u (P.I. (n-1) na slici 2).

Kod rešavanja zadatka po ovim pravilima, posle crtanja kruga na kome se definiše broj DUK-a, određuje se broj kaskadnih razvodnika (pravilo 3). Posle toga se na šemi vrši međusobno povezivanje kaskadnih razvodnika (pravilo 4), a krajnji prekidači se povezuju na vodove odgovarajućeg DUK-a (pravilo 2). Kada se ciklusi automatski nastavljaju, prvi impuls za početak ciklusa dolazi iz I DUK-a do memoriskog razvodnika onog cilindra koji počinje ciklus i to kao signal za izvršenje predviđenog hoda cilindra (pravilo 5).

U jednom DUK-u krajnji prekidač jednog cilindra daje signal da sledeći izvrši svoj hod sem krajnjeg prekidača poslednjeg cilindra DUK-a koji ide na sledeći kaskadni razvodnik da bi sledeće DUK-o dobilo vazduh (pravilo 6). Prama načinu povezivanja kaskadnih razvodnika proizilazi da je uvek samo jedno DUK-o pod pritiskom vazduha (pravilo 4).

Ovaj kratki pregled kaskadne metode poslužiće kao podsetnik pri izradi funkcionalne šeme svakog konkretnog zadatka.

Treba takođe reći da se ovom metodom rešava problem brisanja mirujućeg impulsa u ciklusu sa više cilindara kada je prema zadatku redosled rada cilindara takav da može doći do pojave mirujućeg impulsa. Kaskadna metoda, sem toga, važi kada je reč o redoslednom upravljanju. Programsko upravljanje se pak rešava drugim postupcima.

Istovremeno treba naglasiti da ostali, posebni zahtevi, koji su skoro redovni pratilac pneumatskih automatskih instalacija, nisu obuhvaćeni ovom metodom. Posebni zahtevi se rešavaju u sklopu funkcije celog projektovanog sistema. Među obaveznim posebnim

zahtevima treba pomenuti da početak rada ciklusa uvek ide pomoću tastera START, zaustavljanje se izvršava pritiskom na taster STOP a veliki pad pritiska u instalaciji je znak za prekid rada.

### 3. Projektni zadatak

Potrebno je izraditi automatski pneumatski upravljački sistem rada uređaja za doziranje smeše.

Svaki ciklus se odvija automatski, ali svaki sledeći počinje pritiskom na taster START. Redosled rada cilindara je sledeći:  $C_1 - (C_2^+) C_3^+ C_3^- C_4^+ (C_5) C_4^- C_1^+ (C_2^+)$ . Pored toga poseban cilindar  $C_6$  obavlja plus i minus hod uslovno sa funkcijom celog sistema.

Omogućiti poseban rad cilindra prema naknadnim zahtevima. Pritiskom na taster STOP ciklus prekinuti, ali tek pošto se završi deo ciklusa definisan naknadnim zahtevima

Pri radu pneumatske instalacije moraju biti ispunjeni i sledeći posebni zahtevi:

- Automatski rad se odvija redoslednim upravljanjem.
- Brzina kretanja cilindra  $C_1$  mora biti promenljiva tokom jednog hoda.
- Posle pređenih 280 mm "-" hoda cilindra  $C_1$ , cilindar  $C_2$  vrši "+" hod. Tek kada je cilindar  $C_2$  došao u svoj krajnji položaj, cilindar  $C_1$  može nastaviti započeti hod. Ako cilindar  $C_2$  nije izvršio svoj hod do kraja, cilindar  $C_1$  će se posle pređenih 300 mm zaustaviti.
- Kada cilindar  $C_1$  vrši "+" hod, posle 230 mm cilindar  $C_2$  vrši "-" hod. Ako je ovaj hod izvršen, cilindar  $C_1$  nastavlja kretanje i završava hod do kraja. Cilindar  $C_1$  neće produžiti ako prethodno nije završen  $C_2^-$ .
- Kada cilindar  $C_4$  izvrši "+" hod mora početi svoje oscilatorno kretanje cilindar  $C_5$ . Vreme rada cilindra  $C_5$  mora biti podešljivo u granicama  $0+ 30$  sec. Pošto istekne ovo vreme, ciklus se nastavlja (cilindar  $C_4$  vrši "-" hod).
- Brzina hoda cilindra  $C_3$  treba da je podešljiva.
- Preko cilindra  $C_6$  vrši se punjenje smešom. Pritiskom na taster START za taj cilindar treba da se izvrši "+" hod i automatski da se vrati u početni položaj.
- Posle pražnjenja suda, punjenje izvršiti tek kada preko lokalnog brojača sistem bude zaustavljen. Posle ponovnog punjenja ( $C_6^+ C_6^-$ ) ciklus može biti nastavljen.

- Registrovanje izvedenih ciklusa ostvariti pomoću brojača ciklusa.

- Svetlosnom signalizacijom (svetlosnim pneumatskim pokazivačima) na slojnoj šemi omogućiti praćenje odvijanje ciklusa. Pritisak u instalaciji ispod 4 bar-a posebno naglasiti.

- Pojedinačan rad ciklusa, preko posebnog preklopnika, izvesti tako da se delovi ciklusa odvijaju istim redom kao kod automatskog rada. Delovi ciklusa koji treba da se izvode uvek pritiskom na isti taster START (pojedinačno) su sledeći:

1. faza:  $C_1^- (C_2^+)$
2. faza:  $C_3^+ C_3^-$
3. faza:  $C_4^+ (C_5) C_4^-$
4. faza:  $C_1^+ (C_2^-)$

Ueo sistem se zaustavlja pritiskom na taster STOP, pri čemu se ciklus prekida, ali tek po završetku one faze za čije vreme ~~kr~~ trajanja je bio pritisnut taster STOP. Ponovnim pritiskom na START ciklus se nastavlja.

#### 4. Izrada projektnog rešenja

Iz projektnog zadatka se vidi da sistem moraju činiti čisto pneumatski elementi. Prema tome za ovaj slučaj druga tehnika ne dolazi u obzir. Redosledno upravljanje sa datim redosledom rada cilindara upućuje na primenu kaskadne metode. Posebni projektni zahtevi su prilično složeni pa je potrebno sve to imati u vidu još kod izrade osnovne funkcionalne šeme primenom kaskadne metode.

##### 4.1 Izrada funkcionalne šeme

Redosled rada cilindara dat je projektним zadatkom:

$$C_1^- (C_2^+) \quad C_3^+ C_3^- \quad C_4^+ (C_5) C_4^- \quad C_1^+ (C_2^-)$$

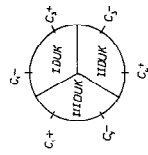
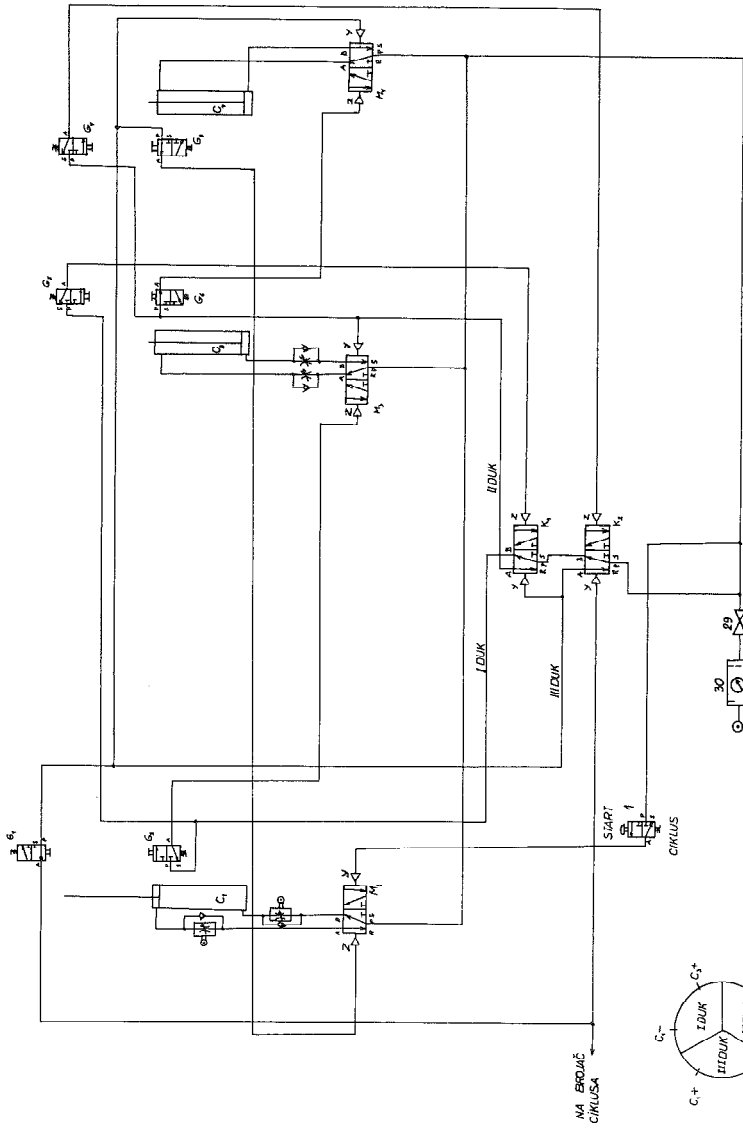
Posebni zahtevi su objasnili funkciju cilindara u zagradama, pa ih je moguće odmah u početku izdvojiti, jer se to i onako ne obuhvata kaskadnom metodom. Otuđa nastaje redosled rada cilindara prema sledećem:

$$C_1^- \quad C_3^+ C_3^- \quad C_4^+ C_4^- \quad C_1^+$$

Ako se ovaj redosled cilindara nanese na krug (slika 3) može se definisati broj delimičnih upravljačkih kola (I, II, III) kao i pripadajući krajnji prekidači datih cilindara.



REDISLED CILINDARA: C<sub>1</sub> C<sub>2</sub> C<sub>3</sub> C<sub>4</sub> C<sub>5</sub> C<sub>6</sub>



FUNKCIONALNA ŠEMA PUNJEVA  
SMESE

SI/MA.3

Broj kaskadnih razvodnika je:

$$z = n - 1$$

$$z = 3 - 1 = 2$$

$$z = 2 \text{ kaskadna razvodnika } 5/2$$

Nacrtaju se cilindri ( $C_1+$ ,  $C_3-$ ,  $C_4-$ ) u svojim početnim položajima. Svaki cilindar ima krajnje prekidače (pošiva) i odgovarajuće memoriske razvodnike 5/2. Dva kaskadna razvodnika sa definisanim međusobnim vezama se takođe uvertaju. Za I DUK vezani su krajnji prekidači  $G_2$  i  $G_5$ ; na II DUK krajnji prekidači  $G_6$ ,  $G_7$  i impuls  $M_3y$ ; a na III DUK krajnji prekidači  $G_1$ ,  $G_8$  i impuls  $M_4y$ . Kako se vidi sve su veze ostvarene po pravilima kaskadne metode, sem početka ciklusa ( $M_1y$ ) koji bi trebalo da dolazi od I DUK-a. Ovo nije učinjeno zbog toga što je uslovima dato da svaki sledeći ciklus počinje pritiskom na taster START. U tom smislu je ugrađen poseban razvodnik 5/2 (START) koji počinje svaki sledeći ciklus.

Krajnji prekidač od I DUK ( $G_5$ ) ne ide na neki memoriski razvodnik, već na kaskadni razvodnik  $K_1z$  da bi drugi DUK bilo povezano sa komprimiranim vazduhom. Time je I DUK povezano sa atmosferom. Ciklus se nastavlja, jer je impuls  $M_3y$  došao iz II DUK. Krajnji prekidač II DUK ( $G_7$ ) je dao signal na  $K_2z$ , time obezbedio III DUK vazduhom, a prethodni (II DUK) povezao sa atmosferom. Tako su oba kola ostala bez vazduha (I, II). Impulsom  $M_4y$  iz III DUK-a nastavljen je ciklus. Poslednji impuls od  $G_1$  (III DUK) vraća međusobnu vezu kaskadnih razvodnika na prvobitno stanje, ciklus je završen i sve je spremno za početak. Poslednji impuls je otišao i na brojač ciklusa da bi se registrovao još jedan izvršeni ciklus.

Instalacija je snabdevena komprimiranim vazduhom koji je prolazi kroz pripremnu grupu (filter, regul. pritiska i zauljivač) osposobljen za rad. Slavina za vazduh iza pripreme grupe služi da ostvari vezu između izvora pritiska i instalacije.

Ako se pažljivo prati odvijanje ciklusa od pritiska tastera START do kraja, vidi se da u instalaciji se ne javljaju mirujućim impulsima čine su otklonjeni eventualni problemi i instalacija je sposobna da izvršava automatski rad, a cilindri svoju tehnološku funkciju. Tok ciklusa se može pratiti tekotom u cilju kontrole, ali je kraće i preglednije ako se to izvede usvojenim simbolima i terminologijom.

$LA \longrightarrow M_1 y \dots\dots M_1 \longrightarrow PA \longleftarrow BS \dots\dots C_1^-$   
 $G_2^A \longrightarrow M_3 z \dots\dots M_3 \longrightarrow PB \longleftarrow AR \dots\dots C_3^+$   
 $G_5^A \longrightarrow K_1 z \dots\dots K_1 \longrightarrow PA \longleftarrow BS \dots\dots II \text{ DUK}$   
 $II \text{ DUK} \longrightarrow M_3 y \dots\dots M_3 \longrightarrow PA \longleftarrow BS \dots\dots C_3^-$   
 $G_6^A \longrightarrow M_4 z \dots\dots M_4 \longrightarrow PB \longleftarrow AR \dots\dots C_4^+$   
 $G_7^A \longrightarrow K_2 z \dots\dots K_2 \longrightarrow PA \longleftarrow BS \dots\dots III \text{ DUK}$   
 $III \text{ DUK} \longrightarrow M_4 y \dots\dots M_4 \longrightarrow PA \longleftarrow BS \dots\dots C_4^-$   
 $G_8^A \longrightarrow M_1 z \dots\dots M_1 \longrightarrow PB \longleftarrow AR \dots\dots C_1^+$   
 $G_1^A \longrightarrow K_2 y \dots\dots K_2 \longrightarrow PB \longleftarrow AS \dots\dots I \text{ DUK}$

\_\_\_\_\_ na brojač ciklusa

Kako se iz ove analize vidi, tok ciklusa se izvodi tačno po predviđenom redosledu rada cilindara (poslednja kolona).

Na vodovima između memoriskog razvodnika  $M_1$  i cilindra  $C_1$  ugrađeni su prigušno-nepovratni ventili, po funkciji regulatori protoka, pomoću kojih se reguliše brzina klipa tako što lineali koji su pričvršćeni za kraj klipnjače prelaze preko točkića ventila. Dodirna ivica lineala ima oblik izlomljene linije koja je u dodiru sa točkićem na ventilu čime se u hodu menja prigušenje izlaznog vazduha iz cilindra. S hodno prigušenju menja se i brzina kretanja klipa. Promena brzine kretanja klipa se ostvaruje kod oba hoda klipa cilindra  $C_1$ .

Da bi se obezbedila podešljivost brzine kretanja klipa cilindra  $C_3$ , ugrađeni su prigušno-nepovratni ventili. U ovom slučaju brzina klipa se može menjati, ali ne u toku jednog hoda. Za podešeno prigušenje, brzina klipa tokom celog jednog hoda ostaje konstantna.

Na taj smo način rešili zadatak redoslednog upravljanja primenom kaskadne metode pri čemu cilindri vrše kretanja koja su postavljena tehnološkim zahtevima procesa.

Ovakav postupak bi se proveo bez obzira na broj cilindara u sistemu, a prema dosadašnjem iskustvu uspešno.

#### 4.1 Ispunjenje ostalih zahteva

Okoro bez izuzetka svaka i najmanja instalacija ima dodatnih zahteva koji su postavljeni tehnologijom rada mašine ili procesa a kojim je do sada čovek rukovao ili bio izvršilac dela

tehnoloških operacija. Ono što je u takvim slučajevima bila briga rukovaoca procesa prenosi se na automatski upravljački sistem pa je otuda i potreba za posebnim zahtevima.

Kretanje cilindra  $C_1$  u "-" položaj uslovljeno je da na određenom delu puta cilindar  $C_2$  izvrši "+" hod (sl.4). Zbog toga je posle 280 mm hoda postavlja razvodnik (15) koji će se aktivirati i svoj signal uputiti na  $M_2z$  kao znak da cilindar  $C_2$  vrši "+" hod. Ako je  $C_2$  izvršio postavljeni zadatak, biće aktiviran krajnji prekidač  $G_4$  čiji će signal preko dvosmernog ventila (12) dospeti na razvodnik (17). Na taj način od daljeg kretanja cilindra  $C_1$  aktivirani razvodnik (16) ne može, signal za zaustavljanje, poslati na komandu "stoj", razvodnici 2/2 (31) i (32). Kretanje  $C_1$  se nastavlja. Da cilindar nije izvršio svoj puni hod ( $C_2$  na razvodniku ne bi bilo signala, dok bi signal od razvodnika (16) produžio do oba razvodnika (31) i (32) komande "stoj". Zbog ovoga bi se prekinula veza vazduha sa cilindrom  $C_1$  pa bi se ovaj odmah zaustavio. Posle otklanjanja uzroka zastoja, kretanje bi se produžilo. To znači cilindar bi se bez potvrde stanja od  $C_2$  zaustavio na 300 mm od početka hoda. Dostizanjem pak krajnjeg izvučenog položaja cilindra  $C_2$ , pneumatski signal dolazi do druge strane razvodnika (31) i (32) pa je prolaz vazduha do cilindra  $C_1$  slobodan.

Tako je ispunjen zadatak po kome će cilindar  $C_1$  izvesti ceo začetni hod tek ako je na bazi prethodnog signala cilindar  $C_2$  izvršio zadatak.

U povratnom hodu cilindra  $C_1$  proces se odvija obratno. Cilindar prelazi 280 mm hoda i aktivira razvodnik (14) čiji signal ide na  $M_2y$  da bi cilindar  $C_2$  izvršio "-" hod. Potvrda o izvršenju hoda je signal od krajnjeg prekidača  $G_3$  čiji signal ide preko dvosmernog ventila (12) opet na razvodnik (17). Tako je obezbeđeno dalje kretanje cilindra  $C_1$  do kraja hoda (izvučena klipnjača). Za slučaj da cilindar  $C_2$  nije izvršio  $C_2$ - hod, cilindar  $C_1$  se zaustavlja kao u prethodnom slučaju.

Iz ovog objašnjenja je jasno zašto kod izrade osnovne šeme (sl.3) cilindar  $C_2$  nije uzet u obzir.

Posle izvršenja kretanja  $C_4$  treba omogućiti cilindru  $C_5$  translatorno-oscilatorno kretanje za određeno vreme. Posle isteka toga vremena, ciklus se nastavlja ( $C_4$ -). Pneumatski impuls od  $G_8$  dolazi kao impuls 23z. Time se cilindar jednosmernog dejstva  $C_5$  snabdeva



vazduhom preko svog memoriskog razvodnika (22). Krajnji prekidači  $G_9$  i  $G_{10}$  omogućuju oscilatorno kretanje cilindra  $G_5$  sve dok u razvodniku (23) postoji definisano stanje. Postojanje vazduha u vodu ka memoriskom razvodniku (22) predstavlja signal za pneumatsko vremensko rele (26) da odbrojava podešeno vreme. Po isteku određenog vremena, izlazni signal iz vremenskog relea ide na (23y) zbog čega se prekida oscilatorno kretanje cilindra  $G_5$  i kao poslednji signal na  $K_2z$  kaskadnog razvodnika. Na taj način III DUK dobija komprimirani vazduh kako bi se normalno mogao nastaviti ciklus.

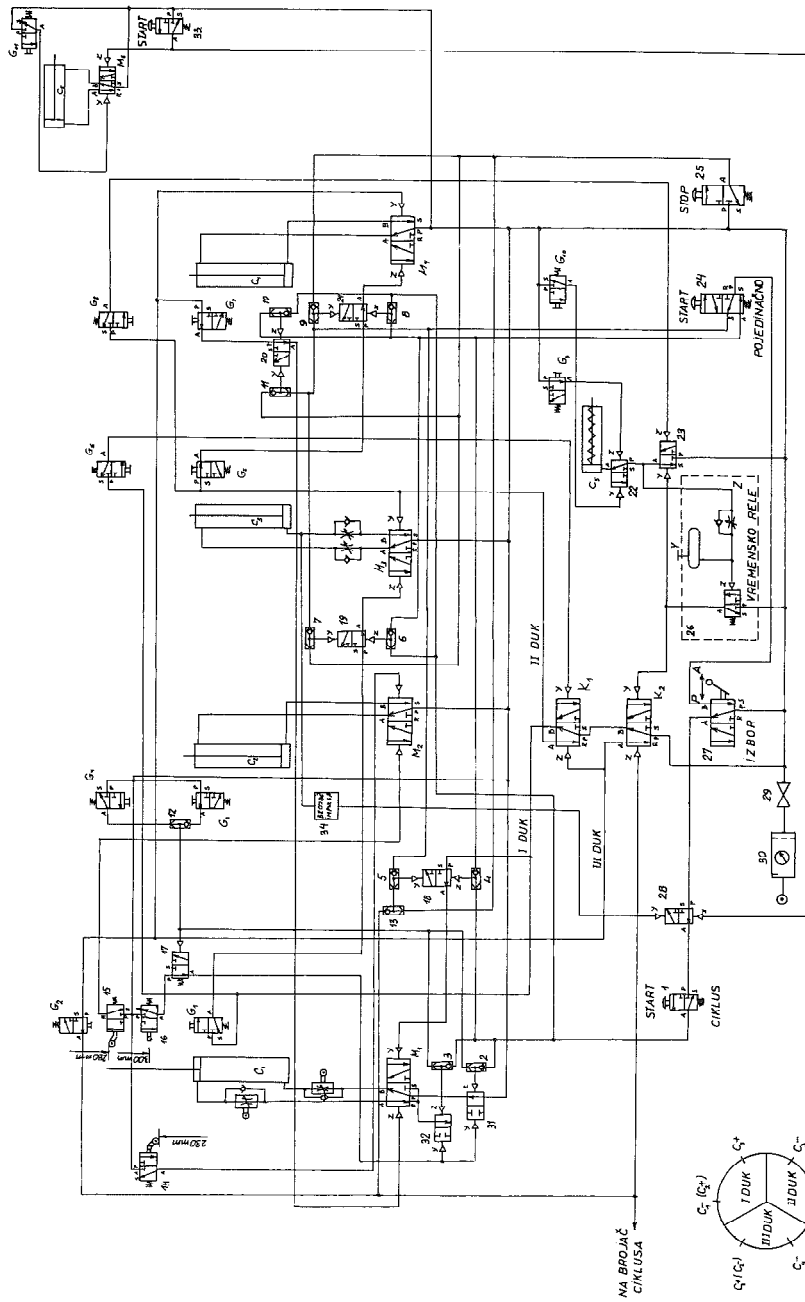
Punjenje kutije smešom postiže se pritiskom na taster START razvodnika (33). Posle  $G_6+$  (sl.5), cilindar se vraća u početni položaj dejstvom signala od krajnjeg prekidača  $G_{11}$  na memoriski razvodnik  $M_6$ . Cilindar radi nezavisno od sistema kada je reč o aktiviranju za izvođenje namenske operacije. Međutim, drugi uslovi diktiraju da se aktiviranje ponovi posle određenog broja izvršenih ciklusa. Zbog toga je postavljen lokalni brojač impulsa (34) koji memoriše podešeni broj izvršenih ciklusa, a prpušta željeni impuls do memoriskog razvodnika 28y sa zadatkom da se spreči dalje ponavljanje ciklusa kod automatskog rada. Ako bi rukovodac pokušao da nastavi sledeći ciklus pritiskom na taster START, zbog ove zabrane neće doći do izvršenja date zapovesti. Novi ciklus može početi tek kada je izvršeno punjenje smeše, a to znači tek posle pritiska START (33) za cilindar  $G_6$  i brisanja prethodne zabrane preko signala 28z.

U dosadašnjem izlaganju je bilo reči o automatskom izvršenju ciklusa. Posebnim zahtevima je traženo da se omogući i pojedinačni rad. Za tu svrhu ugrađen je jedan ručno aktivirani razvodnik 5/2 koji se po želji isti sistem prebacuje na automatski i pojedinačni režim rada. Ako je ručica razvodnika prebačena na pojedinačni rad, pritiskom na taster START (za ciklus) zapovest neće biti izvršena.

Pojedinačni rad ide preko razvodnika (24). Pritiskom na taster START (pojedinačno) ovog razvodnika (24), izvršiće se samo jedna faza celog ciklusa ( $C_1-$  ( $C_2+$ )). Da bi se olakšao rad rukovodcu, zahtev je bio da svaka faza mora biti izvedena pritiskom na isti taster START (pojedinačno). Pri svemu tome, redosled rada po fazama mora biti isti kao kod odvijanja ciklusa automatski. Treba izvršiti prvu fazu:  $C_1-$  ( $C_2+$ ). Signal od 24A ide preko dvos-

AP.4.13

REDUSLED CILINDARA:  $C_1(C_2) C_3 C_4 C_5 C_6 C_7 C_8$



FUNKCIONALNA ŠEMA PUNJEŃJA SMEŠE

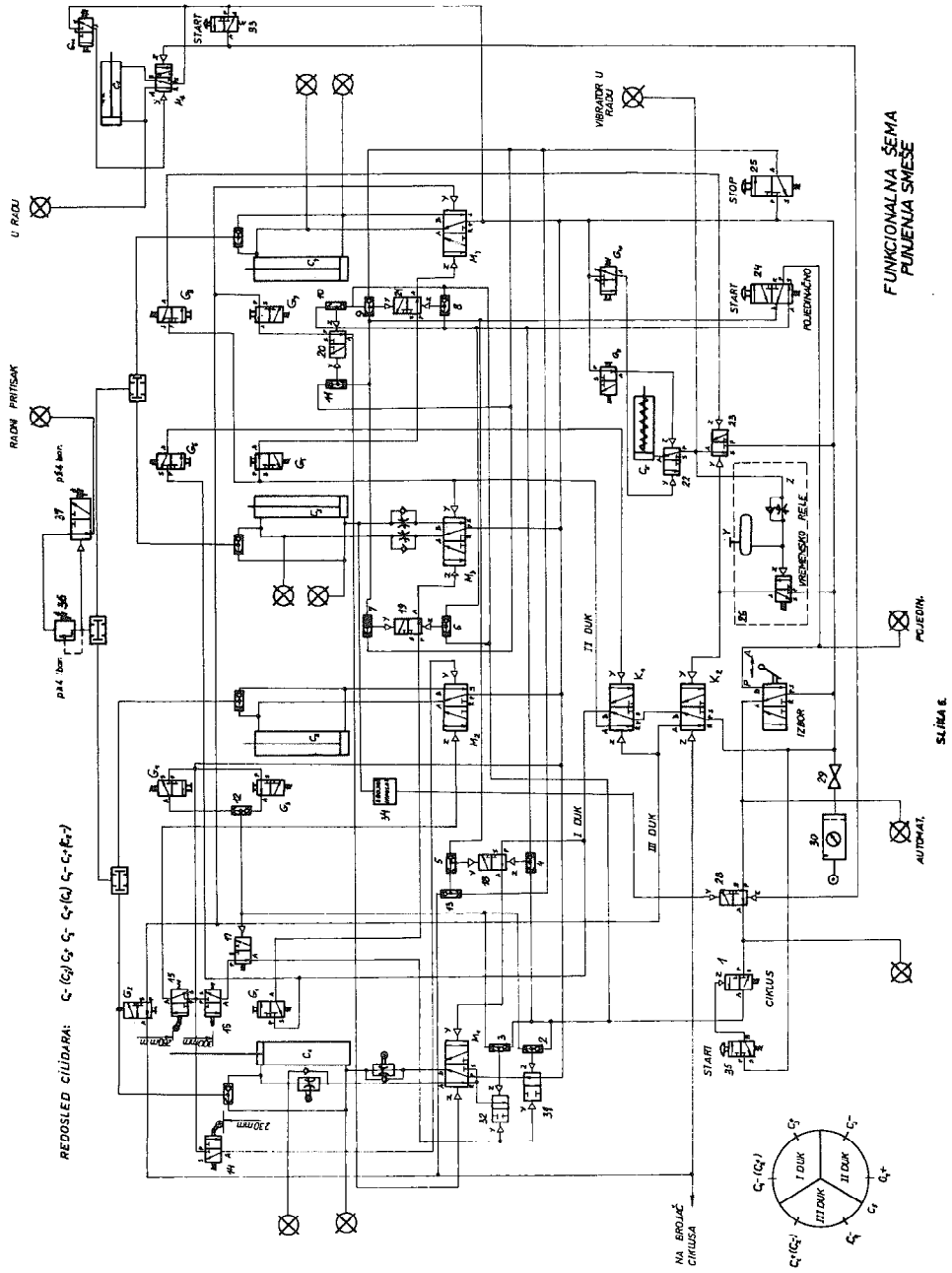
ŠIFRA 3

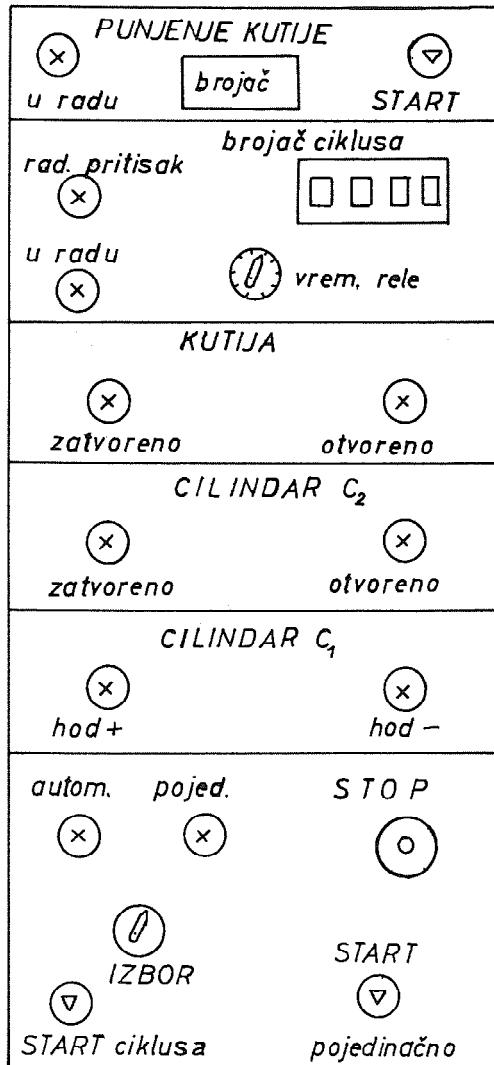
mernog ventila (4) na 18z čime je omogućen prolaz signala od I DUK ka  $M_{1y}$ . Tako cilindar  $C_1$  počinje svoj "-" hod. Pošto su sve veze ostale kao i kod automatskog rada, tok odvijanja je isti kao što je opisano napred. Po završetku faze, sledeća n neće početi, jer je razvodnik (24) razvodnik po funkciji 5/2. Posle prestanka dejstva na taster START (pojedinačno) svi memorisiki razvodnici (18, 19, 20, 20) koji vrše selekciju signala dobijaju sa druge strane pneumatski impuls što predstavlja zabranu za dalji prolaz signala. Tako se završetkom jedne faze dalji tok zaustavlja. Sa šeme je sasvim jasno da signal od krajnjeg prekidača  $G_1$  ne može proći razvodnik (19), već je zadržan ispred razvodnika. Ponovni pritiskom na taster START (pojedinačno) svi selektorski razvodnici dobijaju impuls da se oslobode prolaza pa će tako zadržani signal stići na  $M_{2z}$ . Tako počinje sledeća faza ( $C_2+$   $C_3-$ ). Stalnim daljim pritiskom na isti taster faze se ponavljaju.

Sledeći zahtev je da se pritiskom na taster STOP zaustavi pneumatski ciklus. Pritiskom na taster razvodnika (25) STOP sistem se zaustavlja, ali tek pošto završi započetu fazu. Iz šeme se jasno vidi da u tom slučaju svi razvodnici za selekciju (18, 19, 20, 21) dobijaju pneumatski signal sa strane y usled čega su prekinuti svi prolazi za nastavak ciklusa. Ponovnim pritiskom na taster START (ciklus) sistem produžava automatski rad.

Jedan od uslova je bio da se odvijanje ciklusa može vizuelno pratiti pomoću sloje šeme na komandnom pultu. U tu svrhu se pneumatski signali uzeti sa karakterističnih mesta upućuju do svetlosnih pokazivača. Pored toga, uslov je da sistem mora raditi sa pritiskom p $\approx$  4 bar-a. Da bi se ovaj zahtev ispunio na najbolji mogući način, merna mesta radnog pritiska su uzeta neposredno pre ulaska vazduha u cilindre, dakle posle prolaza vazduha kroz sve vodove i elemente gde se mogu očekivati prigušenja i padovi pritiska. Rešenje je dato tako da svi cilindri moraju imati isti pritisak. Kako se na slici 6 vidi, krajnji signal se može pojaviti samo ako se u svim cilindrima nalazi isti pritisak. Ako samo jedno mesto nema odgovarajući pritisak ne može se dobiti krajnji izlazni signal. U tom slučaju na sloj ož šemi signalna sijalica neće svetleti.







SLIKA 7.

Da bi se utvrdilo i koji pritisak vlada na nernim mestima, ugrađen je prelivni ventil (35) koji propušta signal tek kada je pritisak 4 i više bar-a. Kada pritisak opadne, <sup>signal</sup> ne ide dalje od prelivnog ventila a svetlosni pokazivač se gasi posredstvom regulisanog razvodnika (37).

Na slepoj šemi (slika 7) se nalazi još jedan svetlosni pokazivač koji pokazuje da li je nestalo smeše. Svetlosni pokazivač će svetleti sve dok "zabrana" (razvodnik 28 na šemi) nije prekinula snabdevanje razvodnika 1 (START- ciklus) vazduhom. Posle punjenja kutije smešom svetlosni pokazivač će ponovo svetleti. Ovo je bilo potrebno uvesti, jer kada je kutija prazna ciklus se ne može nastaviti pa bi moglo doći do zabune. Znači, ako se ciklus ne može nastaviti, pokazivač ne svetli, treba izvršiti punjenje kutije na način kako je ranije pokazano.

Ostala kontrolna mesta su samo regulatori određenog stanja.

## 5. Zaključak

Kada prema projektnom zahtevu sa više cilindara treba izraditi redosledno upravljanje, primena kaskadne metode omogućuje izradu odgovarajućeg projektnog rešavanja. Kako je već naglašeno, kaskadnom metodom se uklanjaju mirujući (blokirajući) impulsi čije postojanje sprečava odvijanje automatskog rada nekog upravljačkog sistema. Primer koji je urađen treba da pokaže način korišćenja kaskadne metode u rešavanju konkretnih zadataka. Obrađeni primer treba da istakne kako određene tehnološke operacije pneumatskih cilindara uvek prate i posebni zahtevi koji se u sistemu javljaju kao razne vrste zabrana. Ove zabrane zamenjuju kontrolu čoveka koji je bez ovog sistema bio rukovodilac, kontrolor ili izvršilac procesa. Ako se posmatraju rešenja koja su data radi izvršenja određenih zabrana, može se videti da je to izvedeno sa pneumatskim elementima koje sadrže u sebi logičke funkcije. Ove logičke funkcije postavljene u određenim međusobnim odnosima omogućuju izvršenje postavljenih zadataka. Ipak ove logičke funkcije nisu bile interretirane na uobičajeni način. To se često praktikuje kada je broj ulaznih informacija za zabranu srazmerno mali u odnosu na broj funkcija celog sistema

Ako je broj zahteva za obradu informacija znatno veći od broja ostalih funkcija u sistemu, onda je preporučljivo da se one posebno izdvoje na uobičajeni način interpretiraju kao sistem za obradu informacija.

Do skoro je sistem za obradu informacija koristio vazduh niskog ili veoma niskog pritiska (mm VS), dok su poslednji rezultati razvoja pokazali da se logičke funkcije mogu izvesti sa elementima normalnog pritiska nešto izmenjene konstrukcije. U obratnom primeru u celom sistemu je korišćen vazduh istog pritiska pa nije bilo potrebno ubacivati pretvarače (E-P i P-P) koji nekad mogu biti uzrok zastoja. Treba očekivati da će logički elementi normalnog pritiska naći puno opravdanje kod primene u složenijim upravljačkim sistemima. Svakako da će još neizmerno veliki broj instalacija biti sasvim zadovoljavajuće rešen na ovaj način ili nekim drugim postupkom.

#### Literatura:

- V. Zrnić           Memorijski razvodnici i njihova primena, saopštenje na V savetovanju proizvodnog mašinstva
- V. Zrnić           Knjiga "PNEUMATIKA", izdanje Techn. knjiga 1967 godine
- V. Zrnić           Pneumatski upravljački sistemi, predavanja na seminaru ~~u knjizi~~ štampana u knjizi sa seminara u organizaciji SMEITS-a, 1970 god.
- D. Nikolić       Projektovanje pneumatskih instalacija pomoću kaskadne metode, časopis H + P, br.8 i 9, 1969 god.
- V. Zrnić           Sopstvena rešenja automatskih upravljačkih sistema i projekata.

Rezime:

V. Zrnić

AUTOMATISATION DES BETRIEBS DER GERÄTE FÜR DAS DOSIEREN DER  
MISCHUNG MIT SONDERFORDERUNGEN DURCH VERWENDUNG VON KASKADEN-  
METHODE

Bearbeiteter Beispi~~el~~ durch Kaskaden-methode stellt die ver-  
wendungsweise der Regelung für der konkreten Zufall dar.  
Nebst Grundforderungen, sind in dem Artikel Sonderanspruchen  
bearbeitet werden. Die Lösungen sind besonders interessant,  
da die Elemente des Normaldrucks mit logischen Funktionen  
verwendet worden sind.

## IX. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NIŠ, 1974.

B. DŽIGURSKI\*

IZBOR PRIRUČNIH PNEUMATSKIH ČEKIĆA\*\*

### Uvod

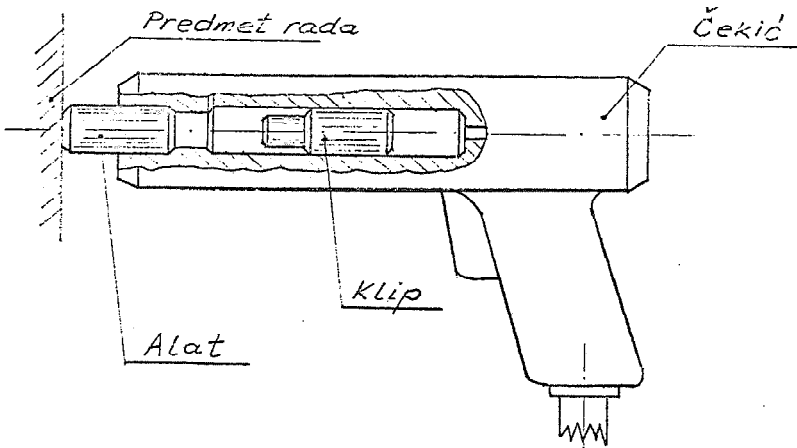
- Razvoj ručnih mehaniziranih alata je kompromis između mehanizacije i automatizacije, sa jedne strane, i potrebe da se mnoge radne operacije još uvek ostvaruju neposrednim učešćem radnika.
- Ovi alati su značajna sredstva u borbi za veću produktivnost, rentabilnost i zaštitu čoveka.
- Kao i kod mnogih drugih novina i ovde je dolazilo do izbora neadekvatnih alata, što je stvaralo gubitke i umanjivalo popularnost kod nekih korisnika.
- Ovde je izložen jedan prilaz, pri izboru priručnih pneumatskih čekića, koji pripadaju brojnoj porodici ručnih mehaniziranih alata.
- Priručni pneumatski čekići se mogu upotrebljavati svugde gde i običan bravarski čekić, kojim zamahuje čovek (zakivanje, zabijanje, izbijanje, smicanje, podvijanje, nabijanje, iskivanje, ravnanje, itd.).
- Brojni su domaći i strani specijalizovani proizvođači ovakvih čekića.
- Spoljni izgled konstrukcije je, obično, u vidu pištolja ili nekog drugog oblika pogodnog za upotrebu i držanje u rukama, Na odgovarajućem postolju, koga takodje nude proizvođači kao standardizovan dodatak, ovakav čekić se može koristiti i kao stabilan, na nekom stelu, bravarskoj tezgi ili slično.

---

\* Branko Džigurski, dipl.ing., asistent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu.

\*\*Metoda primenjena u projektima za potrebe privrede, pri Zavodu za alatne mašine i alate u Novom Sadu.

- Uprošćen izgled čekića dat je na slici 1.



- Sl. 1. -

- U čekiću je klip, koji translatorno osciluje sa velikom učestalošću hodova.
- Dolaskom u spoljnu mrtvu tačku, klip ostvaruje udar na alat a on te prenosi na predmet rada.
- U prospektima proizvođača se, uglavnom, daju ovi podaci:
  - $d$  (cm) - prečnik klipa
  - $S$  (cm) - hod klipa
  - $Z_0$  ( $\text{min}^{-1}$ ) - broj udaraca u minuti
  - $Q_0$  ( $\text{m}^3/\text{min}$ ) - potrošnja vazduha
  - $(p'_0 \div p_0)$  (atm) - interval radnog pritiska vazduha
- Za korisnike je, često, problem kako iz ovih karakteristika oceniti pogodnost čekića za određenu operaciju.
- Još veći problem je kada korisnik ne poseduje ni ove podatke a ima čekić.

## 2. PRITISAK VAZDUHA

- Veličina pritiska vazduha je jedan od najvažnijih a isto tako i najnepouzdanijih podataka. On varira i u instalaciji proizvođača, prilikom testiranja čekića, i u instalaciji koris-

nika prilikom upotrebe čekića. Zato proizvođač daje taj podatak u vidu intervala:

$$(p'_0 \div p''_0)$$

- Prilikom testiranja, u instalaciji proizvođača je ta veličina varirala oko neke prosečne vrednosti -  $p_0$  (atm).
- Pri ovoj situaciji, proizvođač je dobio karakteristike  $(Q_0, Z_0)$  koje prezentuje i koje preporučuje kao optimalne.
- Između potrošnje vazduha i broja hodova (udaraca), u jedinici vremena, postoji veza:

$$Q_0 = 9,42 \cdot Z_0 \cdot d^2 \cdot s (p_0+1) 10^{-7} \quad /1/$$

- Koristeći podatke  $Q_0$  i  $Z_0$ , može se odrediti  $p_0$ :

$$p_0 = \frac{10^7 \cdot Q_0}{9,42 \cdot Z_0 \cdot d^2 \cdot s} - 1 \text{ (atm)} \quad /2/$$

- Srednji indikatorski pritisak je:

$$B_0 = 0,7(p_0+1)^{-1,15} \text{ (kp/cm}^2\text{)} \quad /3/$$

### 3. ENERGIJA UDARA

- Energija koju nosi klip, u jednom hodu je:

$$E_0 = 0,00785 \cdot d^2 \cdot B_0 \cdot s \text{ (kpm)} \quad /4/$$

- Prilikom udara klipa u alat, i alata u predmet rada, nastaje gubitak dela ove energije. Time se na predmet rada prenosi energija:

$$A_0 = E_0 \cdot \eta_u \text{ odnosno}$$

$$A_0 = 0,00785 \cdot d^2 \cdot B_0 \cdot s \cdot \eta_u \text{ (kpm)} \quad /5/$$



- $\eta_u$  je koeficijent udara. On zavisi od vrste materijala i mase sva tri učesnika u sudaru. Za izvedene konstrukcije pneumatskih čekića, i za metalne predmete rada uobičajenih veličina, on se kreće od 0,85 - 0,98. Za mekše predmete rada važe niže vrednosti.

#### 4. PRIMER ODREĐIVANJA OPTIMALNIH VELIČINA

- Željezara "Ravne" proizvodi familiju pneumatskih čekića i za njih daje karakteristike navedene u tablici 1.

TABLICA 1.

Tip	RS5	RS6,2	RS7,5	RS10	RZ17	RZ22	RZ25
d (cm)	2,8	2,8	2,8	2,8	3	3	3
s (cm)	5	6,2	7,5	10	17	22	25
$Z_o$ (min <sup>-1</sup> )	2600	2050	1900	1750	950	850	720
$Q_o$ (m <sup>3</sup> /min)	0,40	0,45	0,55	0,60	0,60	0,75	0,80

- Ako se na njih primene relacije: /2/, /3/ i /5/ a usvajajući  $\eta_u = 0,9$ , dobiće se veličine date u tablici 2.

TABLICA 2.

Tip	RS5	RS6,2	RS7,5	RS10	RZ17	RZ22	RZ25
$p_o$ (atm)	3,2	3,8	4,25	3,65	3,37	3,72	4,25
$B_o$ (kp/cm <sup>2</sup> )	1,79	2,21	2,52	2,11	1,91	2,15	2,52
$A_o$ (kpm)	0,495 ~0,5	0,755 ~0,75	1,045 ~1	1,17 ~1,2	2,06 2	3,00 3	4,00 4

- U prospektima se navodi da je radni pritisak:  $p = (3\pm 5)$  atm. Iz tablice 2 se vidi koliki je optimalni pritisak ( $p_o$ ).
- Familija ovih čekića je stvorena po nekom redu, što pokazuje niz veličina  $A_o$ , iz tablice 2. Logično je što je familija razvijena po gradaciji veličine  $A_o$ , jer je energija udarca jedna od najvažnijih karakteristika pneumatskog čekića.

## 5. STVARNI RADNI PRITISAK

- Pri oceni pogodnosti jednog čekića, korisnik mora znati koliki je stvarni pritisak vazduha ( $p$ ), na mestu korišćenja čekića. Dovoljan je stepen tačnosti od  $\pm 10\%$ .
- Nekad to korisnici imaju kao ranije poznat podatak. Obično je to interval u kome veličina ( $p$ ) varira i u kome se može podešavati (redukcijom ili intenziviranjem dotura vazduha)
- Ukoliko ne postoji taj podatak može se organizovati merenje.
- Monometrom se izmeri pritisak ( $p_m$ ) u vodu, u blizini mesta vezivanja voda za čekić, a pri uslovima rada opterećenog čekića.
- Radni pritisak ( $p$ ) u cilindru čekića je nešto manji, zbog lokalnih otpora u telu čekića:

$$P < P_m$$

$$P = P_m \cdot \eta_m$$

/6/

$$\eta_m < 1$$

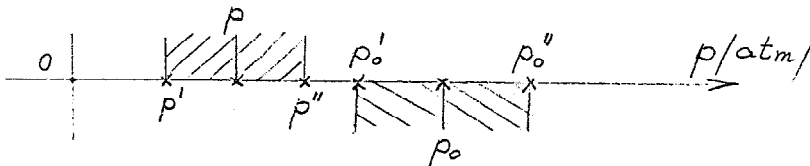
$\eta_m$  - koeficijent lokalnih otpora. On se kreće u intervalu (0,92 - 0,97) kod čekića priznatih proizvođača.

- Ponavljanjem istih merenja, nekoliko puta u toku radnog dana, može se dobiti interval kretanja veličine stvarnog pritiska:

$$(p' \div p'')$$

## 6. PRVI KRAK PRI IZBORU

- Ukoliko se interval stvarnog radnog pritiska ne poklapa, ni jednim svojim delom, sa intervalom koga je dao proizvođač, onda primena posmatranog čekića ne dolazi u obzir na tom radnom mestu (slika 2)

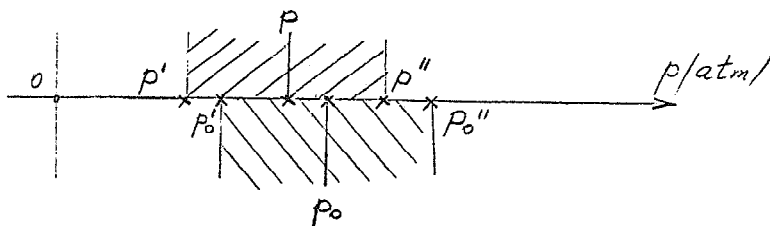


- Sl. 2 -

- Za slučaj dat na slici 2 postoji mogućnost rada čekića u zoni elastičnih deformacija predmeta rada, čime se gubi efekat primene čekića.
- Za obrnut slučaj postoji mogućnost ugrožavanja otpornosti konstrukcije čekića, čime se skraćuje vek trajanja čekića ili čak ugrožava bezbednost rada.

#### 7. DRUGI KORAK PRI IZBORU

- Ukoliko se interval stvarnog radnog pritiska poklapa sa intervalom koga je dao proizvođač, mogućnost primene posmatranog čekića se dalje analizira (slika 3).



- sl. 3. -

- Optimalne veličine ( $Z_0$ ,  $Q_0$ ) se već znaju.
- Odrede se i ostale optimalne veličine ( $p_0$ ,  $B_0$ ,  $A_0$ ) prema formulama /2/, /3/ i /5/.
- Iz intervala stvarnog radnog pritiska oceni se predstavnička vrednost stvarnog pritiska ( $p$ ), za koju se veruje da će se najveći broj puta pojavljivati.
- Prema veličini ( $p$ ) odredjuju se ostale stvarne veličine

$$B = 0,7(p+1) - 1,15 \text{ (kp/cm}^2\text{)} \quad /7/$$

- Uzimajući istu vrednost za  $\eta_u$ , kao i kod određivanja  $A_o$ , određi se:

$$A = 0,00785 \cdot d^2 \cdot B \cdot S \cdot \eta_u \text{ (kpm)} \quad /8/$$

- Stvaran broj udaraca je:

$$Z = 530d \sqrt{\frac{B}{S \cdot G}} \text{ /min}^{-1}/ \quad /9/$$

- G je težina klipa. Ukoliko ovaj podatak nije dat, demontira se čekić i klip izmeri:  $G/kp/$ .

- Stvarna potrošnja vazduha je:

$$Q = 9,42 \cdot Z \cdot d^2 \cdot S(p+1)10^{-7} \text{ (m}^3/\text{min)} \quad /10/$$

- Snaga čekića je vrednost proporcionalna proizvodu energije udara i broja udaraca, u minuti:

$$N = K \cdot A \cdot Z \quad /11/$$

- Sa optimalnim veličinama ( $A_o$ ,  $Z_o$ ) dobija se optimalna veličin snage ( $N_o$ ).
- Proizvodjač je ostvario konstrukciju koja, u uslovima rada sa optimalnom veličinom snage, ima najbolje performanse.
- Svako odstupanje veličine snage, od optimalne, znači neracionalno korišćenje čekića.
- Zato se odstupanje stvarne veličine snage, od optimalne, ograničava:

$$0,8 \leq \frac{N}{N_o} \leq 1,2$$

$$0,8 \leq \frac{K \cdot A \cdot Z}{K \cdot A_o \cdot Z_o} \leq 1,2$$

$$0,8 \leq \frac{A \cdot Z}{A_o \cdot Z_o} \leq 1,2 \quad /12/$$

- Ukoliko postojeće vrednosti ( $A$ ,  $Z$ ,  $A_o$ ,  $Z_o$ ) ne zadovoljavaju ovaj kriterijum, primena posmatranog čekića nije racionalna.

### 8. TREĆI KORAK PRI IZBORU

- Ukoliko je stvarni pritiska (p) zadovoljavajući i obezbeđuje racionalno korišćenje snage posmatranog čekića, mogućnost njegove primene se dalje analizira.
- Predmet rada pruža otpor prema trajnim deformacijama koje stvara oslobodjena energija udara.
- Prema vrsti operacije, javlja se i određena vrsta otpora.
- Kod operacije plastičnom deformacijom, određuje se potreban deformacioni rad W (kpm), kojim će se ostvariti konačan oblik predmeta rada.
- Potreban broj udaraca je tada:

$$n = \frac{W}{A} \quad /13/$$

- Kod operacija prodiranja alata kroz predmet rada (sečenje, izbijanje i sl.) određuje se put tog prodora pri jednom udaru:

$$h = \frac{A}{F} \text{ (cm)}$$

A (kpcm) \_\_\_\_\_ energija udara  
F (kp) \_\_\_\_\_ otpor prodiranju

- Otpor prodiranju (F) se određuje ili kao otpor smicanju, ili kao otpor rastavljanju presovanog sklopa ili na neki drugi način a već prema tome koja je operacija u pitanju i kakva je vrsta predmeta rada.
- Potreban broj udaraca je tada:

$$n = \frac{l}{h} = \frac{l \cdot F}{A} \quad /14/$$

l (cm) \_\_\_\_\_ dužina ukupnog prodiranja alata kroz predmet rada, u jednoj operaciji.

- Određeni broj udaraca (n) pokazuje koliko je posmatrani čekić snažan u odnosu na operaciju koju treba da ostvari.
- Ukoliko je  $n < 1$ , čekić je suviše snažan. Preporučljivo je da bude:  $n_{\min} = 30$ .

- Čekić sa  $n < 30$ , nije pogodan za primenu jer je snažniji i teži nego što je potrebno.

#### 9. ČETVRTI KORAK PRI IZBORU

- Ukoliko čekić nije predimenzionisan, njegova pogodnost se dalje analizira.
- Vreme, koje je potrebno da se jedna operacija izvrši je:

$$t = \frac{n}{Z} \text{ (min)}$$

- Za pojedine operacije postoje iskustvene norme, One određuju  $t_n$ , kao gornju granicu trajanja operacije.
- Ukoliko je  $t > t_n$ , obrada predugo traje. Uzrok je prevelik broj ( $n$ ) a on nastaje kao rezultat rada čekića koji nije dovoljno snažan za operaciju.
- Čekić sa karakteristikom:

$$\frac{n}{Z} > t_n \text{ (min)} \quad /15/$$

nije pogodan za posmatranu operaciju.

- Čekić sa karakteristikom:

$$\frac{n}{Z} \leq t_n \text{ (min)} \quad /16/$$

se može prihvatiti kao povoljan.

#### 10. NEDOSTATAK PODATAKA

U slučaju nemanja podataka, čekić se demontira i izmere veličine ( $d$ ,  $S$ ,  $G$ ).

- Većina proizvođača, u svetu, daje interval pritiska od  $p'_0 = 3 \text{ atm}$ , do  $p''_0 = 5 \text{ atm}$ .
- Za posmatrani čekić može se, uz neki rizik, pretpostaviti da i za njega to važi.
- Uz novi rizik, može se optimalna veličina radnog pritiska uzet kao aritmetička sredina ovog intervala, tj.  $p_0 = 4 \text{ atm}$ .

- Uz pomoć formula /3/, /5/ i /9/ se mogu zatim odrediti i verovatne optimalne veličine ( $B_0$ ,  $A_0$ ,  $Z_0$ ).
- Posle ovoga nema smetnje u sprovođenju sva četiri koraka ocenjivanja pogodnosti čekića za određenu namenu, uz respektovanje mogućnosti neke greške.

#### 11. Z A K L J U Č A K

- Korišćenjem literature došlo se do navedenih zakonitosti iz mehanike fluida i mehanike čvrstih tela.
- Literatura je dala i nekoliko empirijskih kriterijuma.
- Sopstveno iskustvo je ocenilo ostale empirijske veličine.
- Na osnovu svega toga je zamišljena i koncipirana prikazana metoda izbora priručnih pneumatskih čekića.
- Praktična primena ove metode dala je zadovoljavajuće rezultate.
- Specijalizovani proizvođač nudi čekić korisniku i navodi precizno za šta ga može koristiti. Taj domen primene je, obično, uzan. Proizvođač navodi i mnogo širi domen primene svojih čekića ali ih ne precizira. Proizvođač to i ne može jer ne zna elemente operacija svih potencijalnih korisnika.
- Ova metoda i specijalno oblikovani udarni alati na čekiću, omogućavaju korisniku da obezbedi racionalno korišćenje čekića u mnogo širem domenu njegove konkretne problematike.
- Metoda se može pouzdano sprovesti proračunski i sa malim ili nikakvim merenjima i eksperimentisanjima u pogonu.
- Odstupanje proračuna od stvarnog stanja je onog reda kakav se u praksi smatra prihvatljivim za naprave sa kretanjem fluida, pojavama sudara, pojavama trenja itd.

#### 12. L I T E R A T U R A

- 1/ D.Sudakovič i G.Bernadskij: "Spravočnik po mehanizirovannomu ručnomu instrumentu", Lenjingrad, 1959.
- 2/ M.P.Novikov: "Mehanizirovanij montažnij instrument", Moskva, (iz knjige: "Spravočnik tehnologa mašinostroitelja"), 1965.
3. V.N. Jakovljev: "Remont oborudovanija mašinostroiteljnih zavodov", Moskva, 1963.
4. Robert Golloway, USA: "Održavanje ručnih pneumatskih alata" (članak u časopisu "Machinery"), 1965.

## IX. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NIŠ, 1974.

D. NIKOLIĆ, <sup>+</sup>)

PROJEKAT PNEUMATIČKE INSTALACIJE ZA STEGU<sup>++)</sup>

### 1. Uvod

Ovde će biti opisana pneumatička instalacija ugrađena na stegu, koja čini sastavni deo horizontalne viševretene bušilice. Pneumatička instalacija predstavlja na mašini jednu celinu za sebe. Osim pneumatskog, za rad mašine postoji i električni deo instalacije, koji ovde neće biti opisan. Projektni zadatak postavljen od naručioca ove instalacije "FAMOS"-a ( fabrika motora iz Sarajeva ) definisan je na sledeći način:

Radni predmet ( glava šestocilindričnog motora ) se preko transportera ( rolganga ) dovede u položaj za stezanje. Pritiskom na taster START počinje da se odvija radni ciklus: stezanje, brzo primicanje bušaćih glava, radni hod, povratak bušaćih glava, pomeranje poprečnog suporta u drugu stanicu zajedno sa radnim predmetom, brzo primicanje bušaćih glava, radni hod, povratak bušaćih glava u početni položaj, otpuštanje radnog predmeta, njegovo izbacivanje iz stege na rolgang i vraćanje poprečnog suporta sa otvorenom i praznom stegom u prvu stanicu. Ovo je normalan postupak pri automatskom radu.

---

<sup>+</sup>) Dušan Nikolić, dipl. maš. ing. Industrija hidraulike i pneumatike Prva retoletka iz Trstenika, Beograd Knez Mihailova br. 23/ III

<sup>++)</sup> Projektovanje i delimična izrada delova izvršena je u Institutu "Mihailo Pupin" iz Beograda, a montaža i puštanje u rad izvršeno je u FAMOS-u.



Uzimajući toga, zahteva se još i sledeće:

1. Pritiskom na taster STOP moraju se zaustaviti sva kretanja pa i poprečni suport, ukoliko je bio u kretanju, mora stati.
2. Omogućiti otpuštanje radnog predmeta u prvoj stanici.
3. Zadržavanje poprečnog suporta u prvoj stanici.
4. Zadržavanje stegnutog predmeta u drugoj stanici.

Svi ovi uslovi su obezbedjeni datom funkcionalnom šemom koja je dalje detaljno opisana.

Pre puštanja u automatski rad, mora postojati mogućnost i da se svaki od ovih opisanih kretanja vrše pojedinačno. To je obezbedjeno na taj način što se postavlja ručica električnog birača u položaj R ( ručni rad ). U tom slučaju svako kretanje bušačkih glava aktivira se pojedinačnim tasterima i služi samo za podešavanje hodova. Kada je to sve podešeno za obe bušaće glave i to u obe stanice, prebacuje se ručica birača u položaj A (automatski rad ). Dalje će se rad odvijati od prve pa do poslednje operacije automatski posle pritiska na taster START.

Četiri naknadno navedena zahteva služe samo za slučaj nekog neregularnog rada, kada ciklus treba prekinuti da bi se izbeglo oštećenje alata, radnog predmeta ili čak nekog dela mašine.

Na slici 1 je šematski prikazano kretanje bušačkih glava u prvoj i drugoj stanici. Posmatranjem smerova strelica vidi se sledeće: leva i desna bušaća glava brzim hodom ( isprekidane linije ) prilaze radnom predmetu ( u prvoj stanici ), a ostali deo puta prelaze radnim hodom koji je na slici 1 obeležen punom linijom. Povratni hod je na celoj dužini puta brz ( isprekidane linije ). Posle toga, suport prelazi u drugu stanicu. Bušaće glave brzo prilaze radnom predmetu, a dalje nastavljaju radnim hodom. Ovde je interesantno uočiti da se desna bušaća glava, u delu povrat

nog hoda kreće brzinom radnog hoda, a tek drugi deo puta prela-  
zi brzim hodom do početnog položaja. To je moralo na taj način  
da se reši jer desna bušača glava u drugoj stanici u nekoliko  
pripremljenih rupa urezuje navoj. Zato se na kraju radnog hoda  
menja i smer okretanja navojnih burgija i iz radnog predmeta  
izlaze radnim hodom.

## 2. Pneumatički deo instalacije

### 2.1. Postavljanje redosleda rada cilindara

Da bi se ostvarila tražena funkcija, potrebna su pet pneumatska  
cilindra. Tri cilindra služe za stezanje radnog predmeta. U še-  
mi, slika 3. obeležena su sa  $C_1$ ,  $C_2$  i  $C_3$ . Cilindar  $C_3$  je u  
stvari kombinacija pneumohidrauličkog multiplikatora, koja se  
sastoji od pneumatskog cilindra jednosmernog dejstva iz koga  
se potiskuje ulje u hidraulički cilindar manjeg prečnika. Na  
taj način se u hidrauličkom cilindru dobija veća sila. Među-  
tim, za izradu funkcionalne šeme, bilo je dovoljno ceo multi-  
plikator posmatrati kao cilindar jednosmernog dejstva. Za kre-  
tanje suporta koji nosi stegu sa radnim predmetom upotrebljen  
je cilindar  $C_4$ , a za izbacivanje obradjenog radnog predmeta  
upotrebljen je cilindar  $C_5$ .

kada se pritisne taster START, počinje da se odvija ciklus:

$C_1 + C_2 + C_3 + (T_1) C_4 + (T_2) C_1 - C_2 - C_3 - C_5 + C_5 -$   
 $C_4 -$

što znači da su cilindri  $C_1$ ,  $C_2$  i  $C_3$  izvršili pozicioniranje  
i stezanje radnog predmeta i tada počinje obrada. To je obele-  
ženo sa  $T_1$ . Mora prvo da se završi obrada u prvoj stanici, pa  
kada obe bušače glave budu u svom početnom položaju, cilindar  
 $C_4$  dobija impuls za kretanje u drugu stanicu ( $C_4 +$ ). I u  
drugoju stanici se vrši obrada te pneumatski cilindri ne mogu

da se kreću. To čekanje obeleženo je sa  $t_2$ . Posle završene obrade i povratka bušaćih glava u početni položaj, cilindri  $C_1$ ,  $C_2$  i  $C_3$  redom dobijaju impuls da se vrate u početni položaj. Stega je otvorena, radni predmet je slobodan. U tom trenutku cilindar  $C_5$  počinje svoje kretanje u " + " položaj, izgurava radni predmet iz stege, na rolgang, i vrati se u krajnji " - " položaj kada dobija impuls cilindar  $C_4$  te vraća guport u prvu stanicu. Sve je spremno za početak novog ciklusa.

## 2.2. Izrada funkcionalne šeme

Prema postavljenim uslovima potrebno je pet pneumatskih cilindara. Iz redosleda koji je naveden, vidi se da se javljaju mirujućii impulsi. Da bi se obezbedila funkcija celog sistema, projektovanje je izvršeno na bazi kaskadne metode. Ovde neće biti tumačena sama metoda jer bi to bilo van okvira ove teme. Na slici 2. je predstavljen krug sa upisanim cilindrima onim redom kako se pojavljuju u jednom celom ciklusu. Podelom kruga na delove tako da se ni u jednom delu ne pojavi jedan isti cilindar sa kretanjem u " + " i " - " položaj dobijamo t.z.v. delimična upravljačka kola (D.U.K. ), . u ovom slučaju dobijena su dva D.U.K.-a i za to je potrebno upotrebiti jedan kaskadni razvodnik. To je razvodnik 5/2, memorijskog tipa, pneumatski aktiviran.

Na funkcionalnoj šemi, slika 3. svi pneumatski elementi su nacrtani i medjusobno povezani tako da zadovoljavaju traženu funkciju. Na slici 3. pokazano je još i sledeće:

(1) - izvor vazduha

(S) - slavina za vazduh

(10) - pripremna grupa za vazduh

(K<sub>1</sub>R) - elektro pneumatsko rele koje ima zadatak da isključii

AP.6.4 sav električni pogon na mašini u slučaju da pritisak



D.U.K. I - G <sub>2</sub> P	D.U.K. II - G <sub>1</sub> P
- G <sub>4</sub> P	- G <sub>3</sub> P
- G <sub>6</sub> P	- G <sub>5</sub> P
- G <sub>7</sub> P	- G <sub>8</sub> P
- G <sub>9</sub> P	- G <sub>10</sub> P
- M <sub>5</sub> Y	- M <sub>4</sub> Z

Poslednji granični prekidač koji se aktivira u jednom DUK -u ne uključuje sledeći radni cilindar, već sledeći D.U.K. zbog uslova rada mašine, funkcionalna šema je morala da bude složenija nego što bi to bio slučaj da se kretanje ovih cilindara odvija jednostavno po datom redosledu.

Prema usvojenim simbolima, opisivanje šeme išlo bi na sledeći način:

1A — M<sub>1</sub> Z ... M<sub>1</sub> → PA ← BS ... C<sub>1</sub> +  
 G<sub>2</sub> A — M<sub>2</sub> Z ... M<sub>2</sub> → PA ..... C<sub>2</sub> +  
 G<sub>4</sub> A — M<sub>3</sub> Z ... M<sub>3</sub> → PA ← BS .. C<sub>3</sub> +  
 G<sub>6</sub> A — 3 P

Sa ovime je završeno stezanje radnog predmeta. Prema redosledu sada treba cilindar C<sub>4</sub> da se pomeri u " + " položaj. To se međutim ne može dopustiti jer radni predmet mora da ostane u prvoj stanici da bi bio obradjen. Zbog toga je impuls iz graničnog prekidača G<sub>6</sub> zaustavljen u memorijskom razvodniku 3/2 ( 3 ) i tu će ostati sve dok od elektromagnetski aktiviranog razvodnika 3/2 ( 2 ) ne bude stigao impuls na stranu Z razvodnika ( 3 ) pa impuls može da dospe na stranu Z kaskadnog razvodnika K.

Posle izvršenog hoda C<sub>3</sub> + , ciklus se posle završene obrade u prvoj stanici nastavlja kako sledi:

2P — 3Z ... 3 → PA — KZ ... K → PA ← BS ... II DUK —

$M_4 Z \dots M_4 \rightarrow PA \leftarrow BS \dots C_4 +$

$G_8 A \text{ --- } 5 P$

Sa završetkom hoda  $C_4 +$  poprečni suport sa stegom i radnim predmetom dospeo je u drugu stanicu gde treba na radnom predmetu izvršiti sledeće radne operacije. Zbog toga je dalji ciklus prekinut i impuls iz graničnog prekidača  $G_8$  dospeo je samo do memorijskog razvodnika (5). Tu će ostati sve dok se ne završi obrada u drugoj stanici. Da je obrada završena pokazaće impuls na elektromagnet razvodnika 3,2 (4) koji će dati pneumatski impuls na memorijski razvodnik (5) pa će ciklus da se nastavi. Elektromagnet razvodnika (4) biće aktiviran kada se obe bušaće glave vrate u početni položaj.

Ciklus se nastavlja na sledeći način:

$4A \text{ --- } 5Z \dots 5 \rightarrow PA \text{ --- } M_1 Y \dots M_1 \rightarrow PB \leftarrow AR \dots C_1 -$

$G_1 A \text{ --- } M_2 Y \dots M_2 \leftarrow AR \dots C_2 -$

$G_3 A \text{ --- } M_3 Y \dots M_3 \rightarrow PB \leftarrow AR \dots C_3 -$

$G_5 A \text{ --- } M_5 Z \dots M_5 \rightarrow PA \leftarrow BS \dots C_5 +$

$G_{10} A \text{ --- } KY \dots K \rightarrow PB \leftarrow AR \dots I \text{ DUK --- } M_5 Y \dots M_5 \rightarrow$

$PB \leftarrow AR \dots C_5 -$

$G_9 A \text{ --- } M_4 Y \dots M_4 \rightarrow PB \leftarrow AR \dots C_4 -$

$G_7 A \text{ --- } 1 P$

Kao što se vidi, poslednji impuls završio se u razvodniku (1) odakle je ceo ciklus i počeo. Ponovnim aktiviranjem razvodnika (1), ceo ciklus će se ponoviti na opisani način.

### 3.0. Realizacija posebnih zahteva

#### 3.1. Total- STOP

Kao što je već naglašeno, bilo je potrebno omogućiti zaustavljanje svih kretanja pritiskom na taster STOP. Taj taster je električni prekidač ali je njegovim aktiviranjem potrebno zaustavi-

ti eventualno kretanje pneumatskog cilindra  $C_4$  ma u kom smeru se kretao.

Taj zahtev je realizovan dodavanjem jednog elektromagnetskog razvodnika 3/2 ( 11 ) ispred memorijskog razvodnika  $M_4$ . Razvodnik ( 11 ) je normalno otvoren i u regularnom radu nema nikakvu funkciju. kroz njega vazduh struji i kroz priključak P na razvodniku  $M_4$  snabdeva cilindar  $C_4$  vazduhom. U trenutku kada se pritisne na taster STOP, daje se električni impuls na elektromagnet razvodnika ( 11 ) i on zatvara prolaz vazduha iz mreže ka razvodniku  $M_4$ . Sav vazduh koji je bio u cilindru  $C_4$  ističe kroz razvodnik ( 11 ) u atmosferu. To znači da će cilindar  $C_4$  prestati da se kreće praktično u istom trenutku kada je aktiviran STOP.

Kada se opet uključi električni napon, razvodnik ( 11 ) zauzima svoj neaktiviran položaj i propušta vazduh u razvodnik  $M_4$  a kroz njega i u cilindar  $C_4$ . Ponovo kretanje cilindra  $C_4$  biće u smeru u kome se kretao pre zaustavljanja.

Dalje se ciklus normalno odvija.

### 3.2. Otpuštanje radnog predmeta u prvoj stanici

U slučaju da iz bilo kojih razloga već fiksiran radni predmet treba otpustiti iz stega, moraju se aktivirati elektromagnetski razvodnici 3/2 ( 6 ) i ( 10 ). Aktiviranje se vrši sa komandnog pulta na koji su smeštene i sve ostale komande.

Razvodnik ( 10 ) je normalno otvoren. U neaktiviranom stanju propušta vazduh iz kaskadnog razvodnika K u I DUK. kada se pak aktivira, prekida dovod vazduha, a iz I DUK ispušta vazduh u atmosferu. Na taj način su impulsi na strani Z razvodnika  $M_2$  i  $M_3$  nestali, te nov impuls od razvodnika ( 6 ) može da dejstvuje na stranu Y razvodnika  $M_1$ ,  $M_2$  i  $M_3$ .

Razvodnik ( 6 ) je normalno zatvoren i kada se aktivira, propušta vazduh do tri duplonepovratna ventila ( 7 ), ( 8 ) i ( 9 ). kroz njih impulsi dospevaju na stranu Y memorijskih razvodnika 5/2 ( M<sub>1</sub> ), ( M<sub>2</sub> ) i ( M<sub>3</sub> ) i cilindri po redu C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> i C<sub>3</sub> zauzimaju " - " položaj. Radni predmet je slobodan, i ako je potrebno može se i izvaditi iz stege u cilju neke kontrole ili druge intervencije.

vraćanjem prekidača kojim su aktivirani elektromagnetni razvodnici ( 6 ) i ( 10 ) u neutralni položaj, razvodnici zauzimaju prvobitni položaj te se vodovi koji idu na stranu Y razvodnika M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> i M<sub>3</sub> prazne. Ponovo je uspostavljeno stanje da se može dejstvovati na taster START i pustiti da se ciklus dalje odvija automatski.

### 3.3. Zadržavanje obradjenog predmeta u drugoj stanici

normalan ciklus rada predvidja da cilindar C<sub>5</sub> izgura obradjen radni predmet iz stege odmah posle završene obrade u drugoj stanici. Poseban zahtev je da obradjen predmet ostane u stezi.

Da bi se to ostvarilo dovoljno je da el. magnet ( 4 ) ne dobije impuls. To je ostvareno ugradnjom ručnog prekidača na komandnom pultu. kada razvodnik 3,2 ( 4 ) ne dobije električni impuls razvodnik ostane neaktiviran, te i memorijski razvodnik 3,2 ( 5 ) ne dobije impuls na stranu Z, tako kroz njega nema prolaza, a to znači da impuls od G<sub>8</sub> ne može da dospe do M<sub>1</sub> i što bi dovelo do kretanja C<sub>1</sub> - i dalje C<sub>2</sub> - i C<sub>3</sub> -, t.j. radni predmet bi bio otpušten.

Na taj način je obradjen radni predmet ostao stegnut u drugoj stanici.

### 3.4. Zadržavanje poprečnog suporta u prvoj stanici

iz datog redosleda rada cilindara vidi se da posle C<sub>3</sub> ide



to znači posle završenog stezanja radnog predmeta poprečni suport koji nosi stegu sa radnim predmetom treba da ide u drugu stanicu (  $U_4 +$  ). Međutim uslovi rada mašine zahtevaju da radni predmet ostane u prvoj stanici da bi bio obradjen. To sa druge strane znači da impuls iz  $G_6 A$  ne može neposredno da bude pušten dalje i da aktivira cilindar  $C_4$  za kretanje u "+" položaj. Kao što je već naglašeno, taj impuls je zadržan u memorijskom razvodniku 3/2 ( 3 ). Odatle će biti pušten dalje tek na završetku obrade. Znak da je obrada u prvoj stanici završena je da su se obe bušaće glave vratile u svoj početni položaj a to ima za posledicu aktiviranje elektromagneta ( 2 ). Pošto se postavlja naknadni zahtev da poprečni suport treba da ostane u prvoj stanici, jasno je da taj elektromagnet ( 2 ) ne sme da dobije impuls. To je rešeno ugradnjom ručnog prekidača na komandnom pultu. Na taj način, i ako je obrada završena, i obe bušaće glave se vratile u početni položaj, neće poći električni impuls na elektromagnet ( 2 ) te ni pneumatski impuls ne može da stigne dalje od memorijskog razvodnika 3/2 ( 3 ). Tako poprečni suport ostaje u prvoj stanici.

Naknadni zahtevi su na taj način rešeni.

#### 4.3. Zaključak

Iz funkcionalne šeme ( slika 3 ): tekstualnog opisa može se videti kako je rešena cela instalacija koja ispunjava postavljene uslove.

Identična pneumatička instalacija montirana je na dve horizontalne viševretene bušilice koje čine jednu celinu u tehnološkom lancu obrade glava motora.

Posle neophodnih doterivanja i intervencija na licu mesta obe mašine su puštene u rad. Postignuti rezultati su u potpunosti

zadovoljavajući. Da bi se dobila barem približna predstava o samom obliku i veličini stege, ona je pokazana na slici 4. u nešto pojednostavljenom vidu.

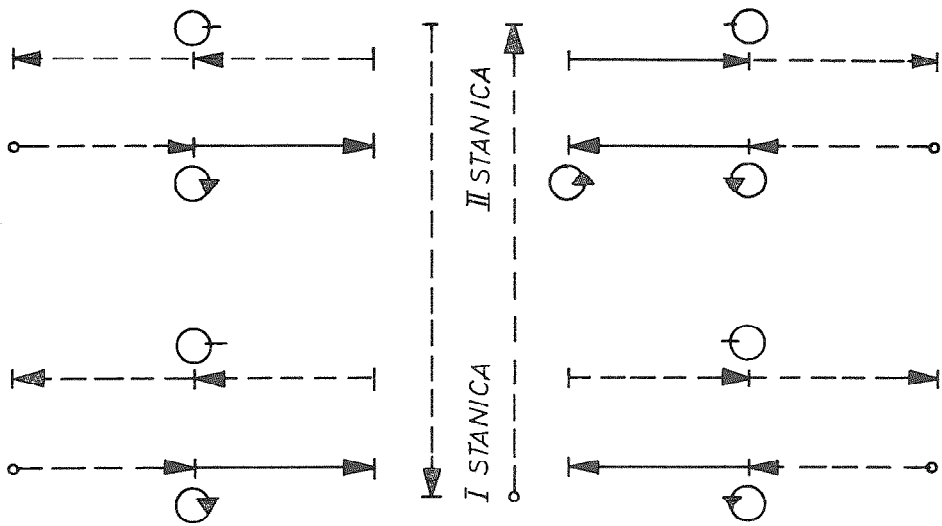
Električna instalacija nije identična za obe mašine jer se i obrada na tim mašinama razlikuje. Bez obzira što su rešenja električne instalacije vrlo interesantna o njima ne može ovde da se govori jer to je posebna oblast koja je van okvira predviđjenih za ovo savetovanje.

#### Literatura:

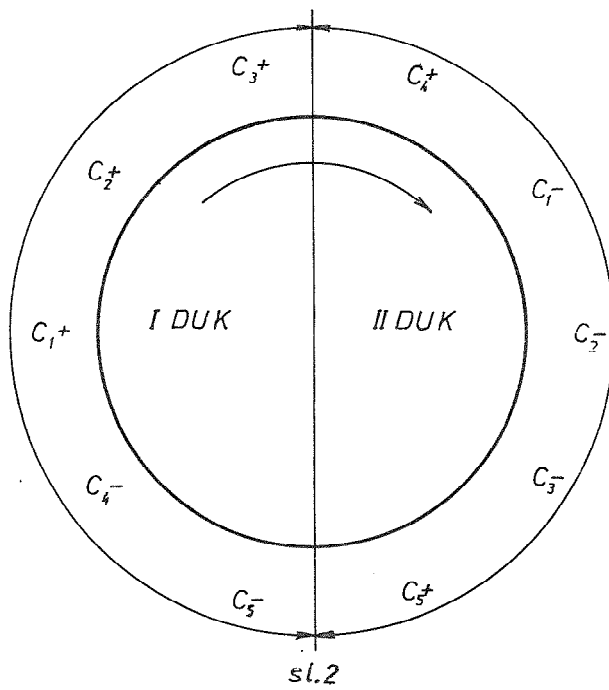
- Nikolić D. Projektovanje pneumatskih instalacija pomoću kaskadnog sistema ( časopis P+H br. 8 i 9, 1969 )
- Nikolić D. Redosledno upravljanje pneumatskim cilindrima u složenijim sistemima ( časopis Tehnika, 2/74 )
- Nikolić D. Uspoređenje Mecman-ove metode i kaskadne metode ( časopis Tehnika 4/74 )
- Nikolić D. Uspoređenje Mecman-ove i kaskadne metode ( Zbornik radova Mašinskog fakulteta , decembar 1973 )
- Nikolić D. i Zrnić V. Materijali za seminare iz oblasti " Mala automatizacija" i projektovanja pneumatskih sistema sa redoslednim upravljanjem cilindrima. (Izdavanje SMEITS, 1967, 1969, 1970 )

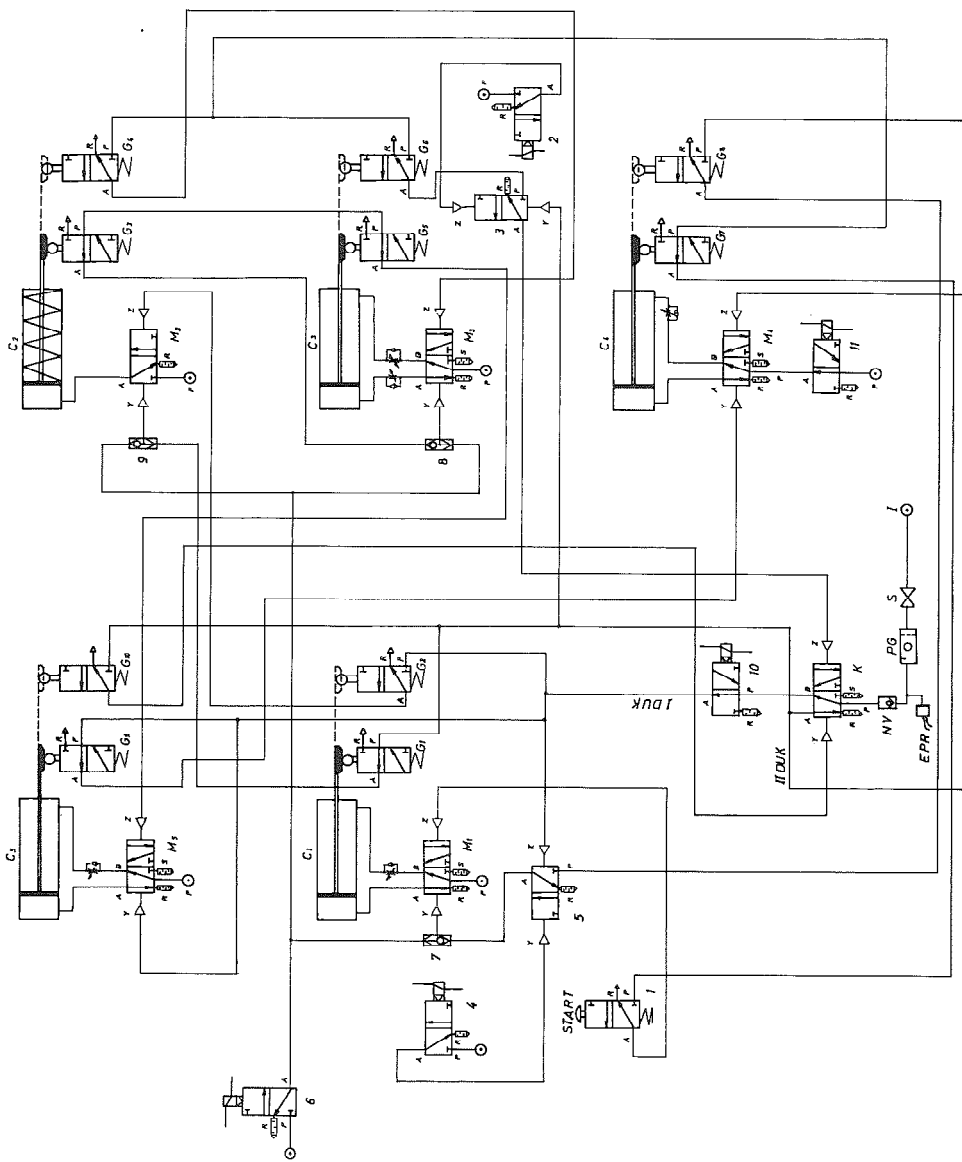
#### ZUSAMMENFASSUNG

Im Artikel wird eine pneumatische Anlage für eine Spannvorrichtung beschrieben. Der Entwurf wird auf Grund von einer Forderung gemacht und musste die im voraus gegebenen Arbeitsbedingungen gewährleisten. Ausführlich werden der die anlagefunktion selbst betreffende Teil, sowie der bei dem Entwurf angewandte Verfahren dargestellt.



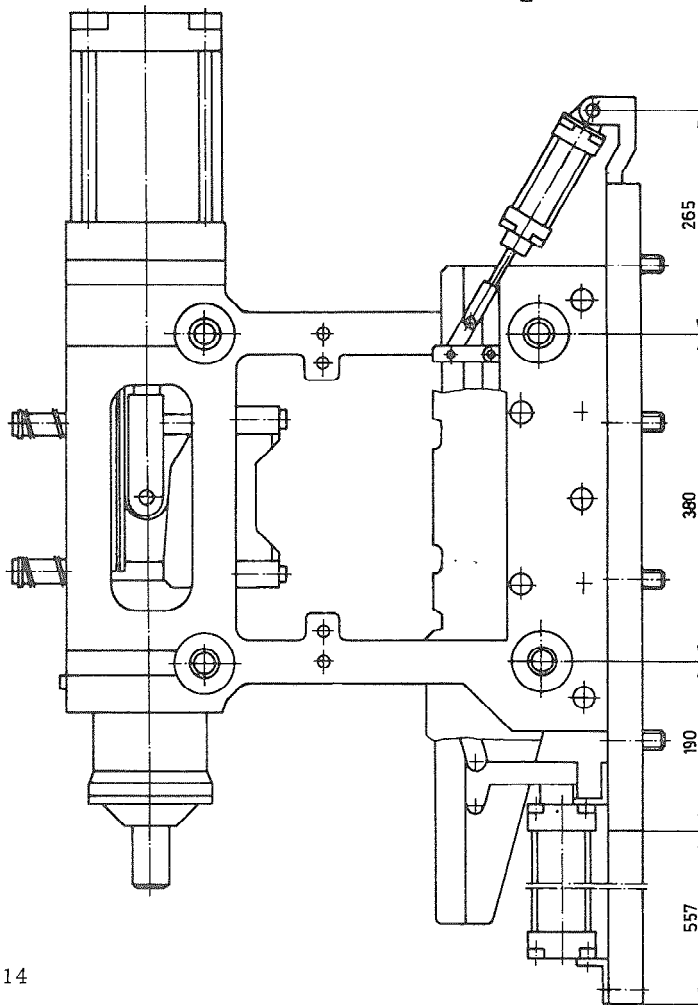
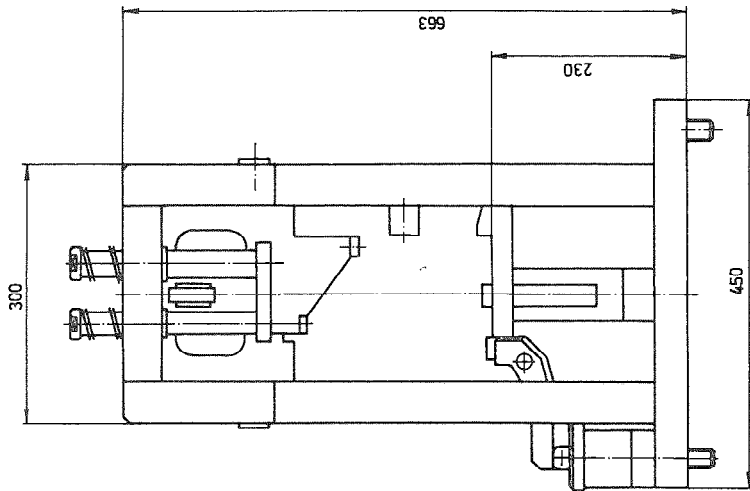
sl.1





2.1.1.1

5.1.7



AP.6.14

Sl. 4

## IX. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NIŠ, 1974.

V. TEODORČVIĆ<sup>x</sup>

O IZBORU VRSTE POGONSKE ENERGIJE ZA RUČNE ALATE  
NA MOTORNI POGON

O. UVOD

U pojedinim pogonima proizvodnja i proizvodnost zavise od ručnih alata na motorni pogon. Takve su montažne linije raznih proizvoda (sitni elektromotori i artikli široke potrošnje, pisaće mašine, automobili), proizvodnja na bazi limova i profila (izrada karoserije, ventilacija i grejanje), površinska obrada na zavari- ma i obrada odlivaka i otkovaka. U ovakvim slučajevima je od posebnog interesa izbor pogonske energije, jer od njega zavise direktno i indirektno investicije, tehnološka svojstva primenjenih alata, kvarovi, trajnost, održavanje, ugrožavanje radnika, cena radne snage i energije, zaštitna sredstva i komfor.

### 1. VRSTE POGONSKE ENERGIJE

Danas se pojavljuju u krajnjem tri vrste energije, koje dolaze u obzir za pogon ručnih alata na motorni pogon. To su:

- komprimovani vazduh,
- električna energija:
  - jednofazna mrežne frekvencije,
  - trofazna povišene frekvencije.

Umesto jednofazne mrežne frekvencije (40 do 60 Hz) dolazi u obzir i jednofazna snižene frekvencije (na primer 25 i 16 <sup>2/3</sup> Hz) kao i jednosmerna. Pri tome ostaju u suštini ista svojstva alata, pa se ovo, zbog izuzetno retke mogućnosti primene, u ovom radu više ne pominje.

<sup>x</sup>Vladislav Teodorović, dipl.inž., docent  
Mašinskog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu

Termin "povišene" odnosi se na frekvencije iznad uobičajenih mrežnih pa do oko 1000 Hz. U ovom radu to označava prvenstveno frekvencije od 200 do 400 Hz. Komercijalni govor radije se služi terminima "visoka" i "brza" frekvencija (Hochfrequenz, Schnellfrequenz).

Ovde se ne govori o brusilicama i eventualno drugim alatima za čiji pogon se primenjuju srednje i visoke frekvencije (do i preko 10 kHz).

## 2. OSNOVNI USLOV ZA MOTORE. VRSTE ELEKTROMOTORA

Da bi neki motor mogao da se primeni u ručnom alatu mora da ima ograničenu masu zajedno sa reduktorom (redje multiplikatorom) tako da težina čitave alatke ne prelazi određene vrednosti, koje se kreću do nekoliko kiloponda i smeju biti veće za alate koji se intenzivno pritiskuju na obradivani komad, odnosno kod kojih se ne zahteva naročito precizno rukovanje.

Snaga motora je jednaka produktu obrtnog momenta i brzine obrtanja:

$$P = M \times \omega .$$

Here, pa i masu motora određuje prvenstveno obrtni moment i specifična težina materijala. Kod elektromotora to su čelik zbog povoljnih magnetnih svojstava i bakar zbog dobre električne provodnosti.

Za istu snagu povećanjem brzine obrtanja smanjuje se obrtni moment i masa, težeći ka nuli kada brzina raste ka beskonačnoj. Međutim, izlazna brzina iz alata ima sasvim ograničene vrednosti koje se obično kreću između nekoliko stotina i više hiljada obrtaja po minutu odnosno do desetak puta manje radijana po sekundu.

Današnja rešenja predstavljaju kompromis pomoću primene reduktora za sniženje brzine motora od oko 10, 20 pa i 30 hiljada obrtaja po minutu na znatno manje izlazne brzine alata.

Reduktori su daleko najčešće zupčanički. Njihova masa je praktič-

AP.7.2

ki proporcionalna prenosnom odnosu, to jest, raste linearno sa ulaznom brzinom elektromotora pri istoj izlaznoj brzini alata. Zbog toga je potrebno da se postigne optimum, to jest minimalna masa motor-reduktora za određenu snagu i izlaznu brzinu (ili za određene izlazne veličine: obrtni moment i brzina). Za današnje elektromotorne alate optimum se postiže za brzine motora od oko 10 pa do 25 hiljada obrtaja [1].

Brzina elektromotora je zavisna od frekvencije (i broja polova) kod beskomutatorskih izvedbi, a nije zavisna (u principu) kod komutatorskih. (Umesto naziva komutator upotrebljava se vrlo često i kolektor).

U vezi sa rečenim primenjuju se dve vrste elektromotora u ručnim alatima:

- takozvani univerzalni motor za jednofazni priključak na uobičajenu mrežu (50 Hz) i
- trofazni kavezni motor za priključak na posebnu mrežu povišene frekvencije (200 ... 400 Hz).

Univerzalni motor kao komutatorski (kolektorski) postiže bilokoju brzinu obrtanja (vrlo zavisnu od napona i opterećenosti), a kavezni povišene frekvencije brzinu malo nižu od takozvane sinhronne, koja je proporcionalna sa frekvencijom. Za takozvane dvopolne izvedbe te brzine se vide u tablici:

f(Hz)	42	50	60	200	300	400
$n_{sin}$ (o/min)	2520	3000	3600	12000	18000	24000

Asinhroni motori mrežne frekvencije (40 ... 60 Hz) praktički ne dolaze uopšte u obzir za primenu u ručnim alatima, osim za kategoriju prenosivih alata, dakle onih koje radnik ne drži u ruci nego eventualno samo pridržava.

Motorni jednosmerne struje (različiti od univerzalnog) mogu da dodju u obzir samo za specijalne slučajeve kao što bi bio rad sa određenim različitim programiranim brzinama.



### 3. TAKOZVANI UNIVERZALNI ELEKTROMOTOR

Univerzalni elektromotor je komutatorskog tipa, sa normalno dva pola na statoru, sa namotima rotora i statora spojenim u seriju, bez komutacijskih (pomoćnih) polova sa lameliranim feromagnetnim kosturom statora za priključak na jednosmernu i naizmjeničnu (jednofaznu) struju. Zbog mogućnosti rada pomoću jednosmerne ili pomoću naizmjenične (odnosno jednofazne) struje naziva se univerzalni.

Veza između rotirajućih i mirujućih namota ostvaruje se četkicama koje se nalaze u držačima a klize po komutatoru.

Primena komutatora i četkica obezbeđuje nezavisnost brzine obrtanja od frekvencije (i broja polova). Serijska povezanost namota i lamelirani kostur statora obezbeđuju jednostavnu mogućnost rada priključenjem na naizmjenični jednofazni napon. Serijska povezanost prouzrokuje takozvanu mekašu momentnu karakteristiku. To znači da motor pri rasterećenju postiže skoro dva puta veće brzine od onih pri nominalnom opterećenju, dok pri preopterećenju razvija obrtne momente koji idu čak na višekratnu vrednost nominalnog pri zakočenju. Uopšteno gledano, momentna karakteristika u radnom području univerzalnog motora kvalitativno se poklapa sa karakteristikom pneumatskog motora sa krilcima.

Komutator (kolektor) i četkice se nalaze u sklopu sa namotom rotora koji je izradjen od izolovane žice i smešten u žlebove takođe izolovane. Komutator se sastoji od obično 12 do 36 bakarnih segmenata (lamela) koji su izolovani međusobno (komutatorski mikaniti) i u odnosu na glavčinu odnosno osovinu.

Svaki segment je povezan sa jednim izvodom iz rotorskog namota (dovod-odvod) koji je "zatvoren", to jest bez početka i svršetka. Spajanje se obavlja mehaničkim ili termičkim uklanjanjem izolacije žice (danas praktično samo lak) koja se zapresuje u segment i "tupo zavari" ili se zalemi sa segmentom.

Četkice su od uglja, grafita i elektrografita, a za male napone (24 i 42 V) sa velikom primesom metalnog praha.

Opisana kombinacija rotorskog namota sa komutatorom i četkicama prisilno menja smer struje u provodnicima tog namota kada prelaze iz područja jednog pola statora u područje drugog. To je takozvana komutacija (presmeravanje), kojoj se struja i njen fluks protive i prouzrokuju varničenje na četkicama. Kod primene naizmjenične struje dolazi do varničenja i zbog takozvanog napona transformacije u navojcima rotora. O tome zainteresovani treba detaljnije da vide u specijalizovanoj literaturi (na primer [1 do 4]).

Klizanje četkica po komutatoru izaziva njihovo habanje kao i habanje komutatora. Čestice četkica i komutatora talože se po unutrašnjosti motora. Zbog toga takvi motori, odnosno alati čiji su sastavni deo, moraju sistematski češće da se čiste, da im se menjaju četkice i doteruje komutator. Ovo se naročito odnosi na slučajeve četkica sa metalnim prahom (za male napone). Neblagovremeno zamenjena četkica odnosno njeni ostaci mogu da prouzrokuju teška oštećenja komutatora, pa i rotorskog namota. Neodstranjene vodljive čestice izazivaju proboje na svim izolovanim delovima u unutrašnjosti elektromotora.

Komutator je mehanički osetljiv, a izložen je mehaničkim naprezanjima, zbog centrifugalnih sila, i termičkim, zbog trenja četkica i varničenja, koje izaziva i eroziju.

Napominje se da varničenje osim navedenih elektromagnetnih razloga zavisi i od centričnosti i okruglosti komutatora, uravnoteženosti rotora i spoljnih vibracija, od vrste četkica i njihovog pritiska, od njihovog položaja u odnosu na rotorski namot i statorske polove, od brzine i opterećenosti, od vrste struje, od atmosfere.

Uravnoteženost može da se poremeti kod loše impregnisanih namota, u kojima je izolacija žice izložena starenju [2] i centrifugalnim silama. Posebno su osetljiva spojna mesta na komutatoru, koja se često odleme. Odlemljivanje kojiput predstavlja svojevrsnu zaštitu od težih posledica usled neozvoljenih preopterećenja.

Varničenje izaziva radiotelevizijske smetnje koje se moraju ograničiti primenom kondenzatora i, eventualno, prigušnica (RSC = radio - smetnje otklonjene).

Osnovna prednost univerzalnih motora, odnosno alata gonjenih takvim motorima je u tome da se mogu priključiti pomoću svog gajtana i utikača na svaku jednofaznu utičnicu 220 V (sa ili bez zaštitnog kontakta). Iz toga, međutim, proizlazi i određena tendencija ka pozajmljivanju ovakvih alata, koje može biti i "zauvek".

Detaljnije o univerzalnim motorima i svemu rečenom o njima videti u specijalizovanoj literaturi [1 do 4].

Razvoj poluprovodničke tehnike (tiristori) omogućuje podešavanje momentne karakteristike, to jest rad sa manjim ili većim brzinama i ograničavanje jačine struje opterećenja.

#### 4. KAVEZNI MOTORI POVIŠENE FREKVIENCIJE

Brzina obrtanja kaveznih motora je za iznos takozvanog klizanja manja od već pomenute sinhronne brzine. Klizanje zavisi od opterećenosti i raste otprilike linearno sa momentom opterećenja, tako, da je pri nominalnom opterećenju oko nekoliko procenata od sinhronne brzine. Dakle, (dvopolni) motor priključen na 50 Hz ( $n_{sin} = 3000$  o/min) obrtaće se pri opterećenju sa oko 2850 o/min, a pri 300 Hz ( $n_{sin} = \frac{300}{50} 3000 = 18\ 000$  o/min) sa oko 17 000 o/min. Prema tome, izbor brzine pri određenoj frekvenciji praktički se svodi na jednu, koja se vrlo malo menja pri opterećenju i varijacijama napona, kao bitnoj razlici ponašanja u odnosu na univerzalni motor.

Pri nominalnom naponu motori podnose povremena preopterećenja i preko 100% od nominalnog. Kod preteranih preopterećenja motor se zaustavlja razvijajući obrtni moment koji je manji od nominalnog.

Kavezni motori povišene frekvencije za ručne alate izrađuju se kao trofazni. Pri tome je poenta na krajnje jednostavnom rotoru bez izolacije, impregnacije, bez tankih izolovanih žica i njihovih spojeva, bez komutatora. Takav motor nema ni četkica pa ni varničenja, niti izolovani namot izložen centrifugalnim silama. Habaju se samo ležaji. Nema bitne razlike između motora različitih napona (24 V do 300 V).

Motor za 200 V i 300 Hz može da se primeni i za proporcionalno niži napon i frekvenciju: 133 V i 200 Hz (ili 100 V i 150 Hz). Proporcionalna sa frekvencijom menja se broj obrtaja i mehanička snaga, a sa naponom električna.

Glavna mana ovih motora, to jest alata gonjenih takvim motorima, jeste potreba postojanja posebnog izvora i instalacije povišene frekvencije.

Detaljnije videti u literaturi [1] i u materijalima proizvođača alata povišene frekvencije [5 do 8].

## 5. IZVOR I INSTALACIJA ELEKTRIČNE ENERGIJE POVIŠENE FREKVENCIJE

Može se reći da je klasičan izvor povišene frekvencije za ručne alate relativno jednostavan, jer se sastoji od trofaznog kavez-nog motora i trofazne kliznokolutne asinhronne mašine, koja ima ulogu i kovertora frekvencije (ciklokonvertora) i generatora električne energije povišene frekvencije. Obično dvopolni kavezni motor obrće kliznokolutnu mašinu brzinom od skoro 3000 o/min (u mreži od 50 Hz). Kliznokolutna mašina je 10-polna (za 200 i 300 Hz). Njen statorski namot je priključen na mrežu 50 Hz iz koje povlači pobudu, a rotorski služi kao izvor povišene frekvencije (uloge rotorskog i statorskog namota mogu da se zamene).

U desetpolnom primarnom namotu (statora) priključenom na mrežu frekvencije 50 Hz obrazuje se Teslino obrtno polje brzine  $3000 \frac{2}{10} = 600$  o/min prouzrokujući trofazni sistem iste frekvencije u sekundarnom namotu (rotora) za vreme mirovanja. Ako se obrtna polje i sekundarni namot obrću u istom smeru, onda će frekvencija u sekundarnom pasti na nulu pri 600 o/min, a potom će da poraste za po 50 Hz za svako dalje povećanje od po 600 o/min. Pri 3000 o/min biće u sekundarnom namotu kliznokolutne mašine frekvencija od  $\frac{3000-600}{600} \cdot 50 = 200$  Hz.

Ako se rotor, odnosno sekundarni namot bude obrtao u suprotnom smeru od Teslinog obrtnog polja onda će frekvencija od 50 Hz u mirovanju da raste za po 50 Hz za svakih 600 o/min, pa će se iz-

lazna frekvencija povisiti na  $\frac{3000 + 600}{600} \cdot 50 = 300$  Hz.

Sasvim uopšteno, za konvertor povišene frekvencije koji se sastoji od kavezne i kliznokolutne mašine važi za izlaznu frekvenciju:

$$f_{\text{izl}} = f_{\text{mr}} \frac{2p_{\text{gen}} \pm 2}{2p_{\text{mot}}},$$

gde je  $f_{\text{mr}}$  = mrežna frekvencija (50 Hz),  $2p_{\text{gen}}$  = broj polova kliznokolutne mašine a  $2p_{\text{mot}}$  = broj polova kaveznog motora. Predznak + važi za suprotne smerove obrtanja sekundarnog namota i Teslinog polja, a - za podudarne.

Proporcionalno sa frekvencijom menja se i napon. Na primer: 200 Hz i 133 V prema 300 Hz i 200 V.

Kliznokolutna mašina jedan deo energije dobija preko vratila, a drugi deo direktno iz mreže, koji je utoliko manji, ukoliko je veći odnos ulazne i izlazne frekvencije.

Normalno se rotor izvodi sa 4 klizna koluta (obruča, karike, prstena) na rotoru po kojima klize četkice. Četvrti kolut odn. četkica služi za izvod zvezdišta (neutralne tačke) trofaznog sistema povišene frekvencije.

Kod dobro odmerenih i izabranih četkica i odgovarajućih kliznih kolutova dovoljno je kvartalno ili polugodišnje izduvavanje i dvo-godišnja zamena četkica i podmazivanje ležaja odnosno zamena.

U zavisnosti od opterećenosti konvertora menjaju se izlazni napon i frekvencija za po nekoliko procenata od praznog hoda do nominalnog opterećenja.

Izlazni napon je proporcionalno zavisao od ulaznog i na njega se ne može uticati.

Postoje i kombinacije sa sinhronim generatorima povišene frekvencije teranim dvopolnim kaveznim motorima. To su sinhroni generatori konstantnog napona bez četkica. 8-polni za 200 Hz, a 12-polni AP.7.8

za 300 Hz.

Ovakav agregat (asinhroni - sinhroni) za oko 20% je skuplji nego klasični. Osnovna mu je prednost da nema četkica i kliznih koluto-va (smanjeno održavanje) i da mu izlazni napon ne zavisi od ulaznog (pogodan za mreže sa velikim varijacijama napona:  $\pm 10\%$  i više). Izlazni napon se može i podesiti na željenu vrednost.

Za male snage generatora, prvenstveno za jednu alatku dolazi u obzir i primena sinhronog generatora sa permanentnim magnetima. Može da se izradi i sa jednofaznim motorom. Varijacije napona su 10 do 15% od praznog hoda do opterećenja, ali ne zavise od ulaznog napona. Izlazni napon se ne može podešavati.

Tendencije su ka statičkim (poluprovodničkim, tiristorskim) pretvaračima koji su zasada oko 5 puta skuplji od klasičnog rotacijskog konvertora. Nominalna (trajna) snaga statičkog konvertora dva puta je veća od nominalne snage rotacijskog za iste uslove, jer električne mašine podnose kratkotrajna preopterećenja, a moderni poluprovodnici su krajnje osetljivi i na vrlo kratkotrajna preopterećenja. Zbog skupoće statički dolaze u obzir zasada samo tamo gde su od posebnog značaja svojstva statičke naprave u odnosu na rotacijsku (manji gubici, nikakvo habanje, minimalno održavanje, odsutnost buke, trešnje i strujanja rashladnog sredstva).

Instalacija električne energije povišene frekvencije identična je sa instalacijom mrežne frekvencije. Vodovi su isti (PP OO-Y), to jest tri fazna voda i jedan zaštitni (zeleno/žute boje). Ista je i oprema za osiguranje i sklopne naprave, s tim da zaštitna strujna sklopka za mreže 50 Hz reaguje pri nešto većim strujama odvoda.

Utični pribor povišene frekvencije normalno je tako rešen da ne postoji mogućnost zamene u odnosu na odgovarajući pribor mrežne frekvencije. Ranije su se primenjivala različita rešenja, jer je svaka firma imala svoje, ali sada je to internacionalno standardizovano (CEE). Međutim našeg nacionalnog standarda još nema.

Ovakve instalacije normalno ne zahtevaju nikakvo održavanje, pod

uslovom da su na početku solidno izradjene.

Gubici energije u instalaciji su praktički zanemarivi. Zavise od udaljenosti od izvora.

Gubici energije u izvoru zavise od njihove veličine i opterećenosti. S obzirom da se pretvaranje obavlja sa dve mašine, mogu se oceniti sa 30% za opterećenja od oko 50% do 150%  $P_n$ .

## 6. PNEUMATSKI MOTORI

Za pogon ručnih alata, koji se tretiraju u ovom radu, primenjuju se prvenstveno rotacijski pneumatski motori sa krilcima, a znatno manje sa vazдушnim turbinama zbog njihove osetljivosti i manje pogodne momentne karakteristike. Turbinski motori se više ovde ne pominju.

Motori sa krilcima (perajima, pločicama, lamelama) su rotacijska varijanta klipnih motora. U skladu sa tim je i njihova momentna karakteristika. Pritisak komprimovanog vazduha za pogon pneumatskih motora ručnih alata iznosi 6 atn (atp), s tim da motori mogu da rade i sa znatno sniženim pritiskom i odgovarajuće manjom snagom.

Radi obezbedjenja funkcije krilca moraju da se taru. To dovodi do habanja i potrebe za stalnim održavanjem. Motor, sa manje ili više ishabanim krilcima smanjuje svoju snagu, pa je za istu obradu istim alatom potrebno više vremena i energije. Habanje je naročito izraženo u pogonima sa prašinom (livnice), jer motor pri zaustavljanju uvlači okolni vazduh kroz izlazne otvore.

Brzina pri nominalnom opterećenju manja je do 40% od brzine praznog hoda. Moguć je rad i sa znatno manjim brzinama (pri sniženju pritiska) ili sa preopterećenjem sve do zaustavljanja. Ne postoji nikakva opasnost za alat i kada je trajno zakočen. U vezi sa tim, mogu pneumatski alati da se primene za dotezanje zavrtnjeva određenim momentom pri mirujućem stanju motora.

Menjanje brzine i obrtnog momenta postiže se krajnje jednostavno AP.7.10

pomoću ventila. Pneumatski alati su vrlo bučni. Osim toga, velika količina hladnog izlaznog vazduha može da izaziva smetnje, odnosno da iziskuje specijalne zaštitne mere.

Pneumatski motori sa krilcima (neishabanim) imaju oko dva puta veće procentualne gubitke nego elektromotori.

Razvoj sintetičkih masa polako osporava prednost pneumatskih alata kao robustnijih i mehanički otpornijih.

## 8. IZVOR I INSTALACIJA KOMPRIMOVANOG VAZDUHA

Kao izvor komprimovanog vazduha služi normalno kompresorski agregat koji se sastoji od pogonskog motora i kompresora. Pogonski motor je, po pravilu, trofazni asinhroni ili sinhroni. Uz agregat je potreban rezervoar i dodatna oprema za kondicioniranje vazduha.

Kompresor zahteva nadzor i održavanje. Održavanje elektromotora je toliko kao i konvertora frekvencije ili čak i više, jer se za isti učin na izlazu iz alata mora postaviti barem pet puta veći motor za kompresor nego za konvertor, zbog relativno velikih gubitaka agregata (oko 50%), cevovoda (15%) i samih alata (iznad 50%).

Instalacija se mora takodje stalno nadzirati i održavati. Gubitak energije od oko 15% nastaje zbog smanjenja pritiska od kompresora do alatke. Nezavisno od toga nastaju gubici vazduha na sastavima, armaturi i nepotpuno zatvorenim ventilima, koji dostižu i količinu iskorišćenog vazduha, (mala količina, ali stalno i na mnogo mesta).

## 9. UPOREDJENJA

### 9.1. Alati sa univerzalnim elektromotorima

Kao uvodnu činjenicu treba konstatovati, da kada je u pitanju pogon u kojem proizvodnja i proizvodnost zavise od ručnih alata, da onda ne dolazi u obzir primena električnih alata sa univerzalnim motorima (komutatorskim) priključenim na mrežu normalne frek-



vencije (40 ... 60 Hz), jer su nedovoljno pouzdani zbog potrebe održavanja, smetnji i kvarova.


Nedovoljna pogonska pouzdanost ne može da se nadoknađi:

- manjim investicijama zbog nepostojanja agregata povišene frekvencije, jer će njegova cena biti brzo nadoknadjena nabavkom rezervnih rotora, četkica i njihovih držača za univerzalne motore, odnosno većeg broja kompletnih alatki,
- manjim gubicima energije (nema gubitaka konvertora frekvencije), jer će biti mnogo više zastoja.

Osim toga alat sa univerzalnim motorima je teži za istu odatu snagu, brusna ploča ne može da radi sa maksimalnom brzinom nego normalno sa 30% manjom, a 50% manjom pri preopterećenju, koja pogoršavaju komutaciju i sve povezano sa njom. Univerzalni motori izazivaju radiotelevizijske smetnje. Alati sa univerzalnim motorima se "pozajaljuju."

Medjutim, alati sa univerzalnim motorima ostaju kao nužni za ređju i pojedinačnu upotrebu praktično svuda tamo gde je izvedena elektrifikacija u bilokojem stupnju. Brzina zavisna od opterećenosti je prednost za bušilice koja radi sa raznim prečnicima burigije, pa se brže obrće uz manji obrtni moment za manje prečnike i sporije uz veći moment pri većim prečnicima. Zbog takve karakteristike dolazi, medjutim, do čupanja iz ruku većih bušilica pri zaglavljivanju svrdla (ili druge alatke). Primenom tiristora može da se reguliše brzina i obrtni moment.

S obzirom na nužnost hlađenja rotorskog namota, komutatora i četkica moraju univerzalni motori da budu prođuvani, pa su nepogodni za prašnjave pogone i za brusilice.

Relativno česti kvarovi na rotorskom namotu i široka pojedinačna i povremena primena alata sa univerzalnim motorima na mestima gde su dodatne zaštitne mere (DZM) problematične (ili čak ni ne postoje) prouzrokovala je zaštitno izolovane konstrukcije (  ) bez zaštitnog voda. Zaštitno izolovanje predstavlja, kao što je poz-

nato, povoljniju zaštitnu meru nego primena zaštitnog voda ("voda za uzemljenje"), koja je brzo prodrila i "odomaćila" se zahvaljujući razvoju i primeni sintetičkih masa.

## 9.2. Pneumatski alati

U našoj zemlji su pneumatski alati relativno rasprostranjeni, zbog nekoliko razloga (izuzimajući onda kada su jedva zamenjivi):

- izbegavanje električne energije zbog opasnosti,
- korišćenje postojećih instalacija komprimovanog vazduha nužnog zbog drugih uzroka,
- nepouzdanost opštepoznatog električnog alata sa univerzalnim motorima,
- nepoznavanje svojstava, pa i postojanja električnog alata povišene frekvencije.

Opasno dejstvo električne energije je neosporivo i na njega je ukazano u uvođu. Međutim, takodje je nesporno da ni naša tehnička regulativa nije u skladu sa savremenim dostignućima na području zaštite od električne energije, a ne postoji u dovoljnoj meri ni propisna zaštitna oprema. Od posebnog je značaja neproduzimanje zaštitnih mera na propisani način kod novih proizvoda i instalacija, njihovo nepravilno održavanje zbog nemarnosti i nestručnosti sve do javne prodaje artiklova za izbegavanje propisanih i postojećih zaštitnih mera.

"Bezopasnost" instalacije komprimovanog vazduha dovodi do toga da se sistematski nedovoljno i nemarno održavaju, tako da nastaju toliki nepotrebni gubici vazduha koliki odgovaraju količini stvarno upotrebljenog.

Smatra se da se ne može postići komprimovanim vazduhom bolja prosečna korisnost od 15% za energiju uzetu iz električne mreže u odnosu na onu odatu na izlazu iz alata. Dakle, radi se u principu o 3,5 puta manjoj korisnosti nego u primeni alata povišene frekvencije. Konkretno je taj odnos najčešće između 5 i 10. Manji odnos (5) vredi za nepohabane alate i relativno dobro održavanu mrežu. Ovo je vrlo značajno za alate velike snage i dugim trajanja-

njem ciklusa rada (brusilice).

Za 40% manja nominalna brzina od maksimalne smanjuje za toliko procenata učinak brusilice sa pločom odredjenog prečnika. Osim toga ishabani motor razvija manju snagu, pa je za isti rad potrebno više vremena i energije. Povećanje količine energije neposredno povećava troškove, a višak vremena povećava troškove pri plaćanju radniku po jedinici vremena ili smanjuje zaradu radnika pri plaćanju po učinku.

Od posebnog značaja je da se ukaže da buka pneumatskog alata (80 fona) predstavlja kompleksan problem zbog potrebne nabavke zaštitnih sredstava, koja se danas više ne mogu izbeći, a koja kvare konfor (čitaj produktivnost) radnika. Otežano je i sporazumevanje.

Znatne količine hladnog vazduha visoke brzine strujanja predstavljaju svojevrsan problem, koji takodje zahteva u većini slučajeva zaštitna sredstva. Osim toga kovitla prašinu.

Upotrebljivost pneumatskih alata je ometana relativno debelim crevima za dovod komprimovanog vazduha.

Pneumatski alati će se upotrebiti svakako tamo, gde je od presudnog značaja:

- minimalna masa odnosno prostor (sklop više alatki),
- jednostavna regulacija broja obrtaja i obrtnog momenta,
- pneumatski čekići (postoje već i električki),
- dotezanje pri mirujućem rotoru motora,
- dozvoljavanje preopterećenja do zakočenja,
- neosetljivost na vlagu,
- opasnost od eksplozije (metan),
- ugroženost električnih vodova (brodogradnja),
- pojedinačna upotreba kod već postojeće instalacije komprimovanog vazduha.

### 9.3. Alati sa motorima povišene frekvencije

Ovi alati su po specifičnoj težini (kp/l) u sredini između onih sa univerzalnim motorima i lakših pneumatskih. Odnos cena po alatu je obrnut. Na cenu alata vrlo mnogo utiče veličina serije.

Alati povišene frekvencije zahtevaju nešto više energije (oko 40%) od univerzalnih, ali ipak nekoliko puta manje od pneumatskih (barem 3,5 puta). To je naročita prednost kod alata velike snage i skoro trajnog rada.

Brzina im je praktički konstantna, smanjuje se svega za nekoliko procenata od praznog hoda do preopterećenja koje može da bude i za 50% do 100% veće od nominalnog. Za kratkotrajne radove je to vrlo važno za iskorišćenje alata i vremena.

Medjutim, kod preteranih preopterećenja brzina se naglo smanjuje i alatka se zaustavi bez tendencije čupanja iz ruku.

Imaju se samo ležaji. "Neuralgična" brzina za njih leži između 12 i 18 hiljada obrtaja. To znači da će ležaji u alatki za 200 Hz (12 000 o/min) izdržati znatno veći ukupan broj obrtaja, nego u istoj toj alatki primenjenoj na 300 Hz (i odgovarajućem više naponu - 133 : 200 V). Pri tome ne treba izgubiti iz vida, da je učin jednog te istog alata za 50% veći kod 300 Hz (i 200 V), nego kod 200 Hz (i 133 V).

Valja naglasiti da je problem ležaja podjednak kod svih vrsta alata.

Priključni vod - gajtan elektromotornog alata izložen je oštećenjima, a sklopka istrošenjima i kvaru u približno istoj meri kao crevo i priključna armatura kod pneumatskog alata.

Sa svojih 50 fona alat povišene frekvencije je za desetak fona tiši od univerzalnog (a za 30 ! od pneumatskog).

Opasnost od električne energije je smanjena, jer se, po pravilu, radi sa naponom od 266 V ili 133 V kod 200 Hz ili sa 200 V kod

300 Hz. To znači da su naponi prema zemlji, ako se zvezdište uzemlji  $\sqrt{3}$  puta manji od navedenih "linijskih" vrednosti. Dakle: 154 V, 77 V i 115 V. To su znatno manji iznosi od uobičajene vrednosti od 220 V kod 50 Hz odnosno bliže su dozvoljenoj graničnoj vrednosti od 65 V. Biološko dejstvo električne energije povišene frekvencije treba smatrati podjednako opasnim kao mrežne frekvencije pri istom naponu.

Motori povišene frekvencije mogu da se proizvode i za male napone (42 V), bez poteškoća koje postoje kod univerzalnih motora. Međutim, zbog ograničenog dometa instalacije malog napona, to se sada primenjuje samo izuzetno, jer je dozvoljeno galvansko odvajanje jednog trošila.

Normalan sistem hladjenja je produvavanjem, a za prašnjave pogone (brusilice) spoljno hladjenje, pri čemu rashladno sredstvo struji preko paketa statora, jer temperature kaveznog namota rotora nisu nikakav limitirajući faktor kod ovih motora.

kvarovi na motorima povišene frekvencije svode se na povremena, odnosno veoma retka stradanja statorskih namota, jer nema izolovanog namota rotora izloženog centrifugalnim silama kao kod univerzalnog. Statorski namoti stradaju prvenstveno pri obučavanju nove radne snage ili zbog ostajanja "na dve faze".

Relativno vrlo retki kvarovi električnog dela, primena u industriji i rad sa naponom znatno nižim od 220 V prema zemlji ne iziskuju potrebu zaštitno izolovane konstrukcije (kao kod univerzalnog). Verovatno da je to uslovljeno i nekim konstrukcijskim poteškoćama odnosno poskupljenjem.

Alat povišene frekvencije ne proizvodi radiotelevizijske smetnje i nije podložan "pozajmljivanju" zbog potrebe povišene frekvencije.

#### 9.4. O cenama i troškovima

Alati sa univerzalnim elektromotorima iziskuju svoj udeo u izvoru električne energije 50 Hz, koji je za oko 40% veći od odate snage na izlazu iz alata. Kod alata povišene frekvencije je to angažovanje za oko 100% veće i zahteva primenu odgovarajućeg konvert-

AP.7.16

ra frekvencije. Kompresorski agregat zahteva za barem 500% veću snagu u izvoru električne energije od one odate na izlazu iz alata.

Nabavka konvertora frekvencije za veći broj alata (preko 20) povećava cenu alata za oko 70%, s tim da je nabavka rezervnih alata i namotanih statora minimalna, to jest zanemariva u odnosu na rotore sa univerzalnim motorima i alate sa njima.

Cena kompresorskog agregata je otprilike toliko puta viša od cene konvertora frekvencije, koliko puta veću snagu angažuje. Minimalno pet puta. To povećava cenu nešto već skupljih pneumatskih alata za skoro 300%!

Cene utrošene električne energije 50 Hz za istu odatu mehaničku energiju odnose se:

$$\text{univ. : pov. fr. : pneum.} = 1,4 : (5 \dots 10) .$$

Godišnji troškovi održavanja postrojenja su zanemarivi kod univerzalnih motora, manji od 1% od nabavne cene kod motora povišene frekvencije, a oko 3% kod komprimovanog vazduha. To znači, uvažavajući da je postrojenje komprimovanog vazduha barem 3,5 puta skuplje od postrojenja povišene frekvencije, da će odnos troškova održavanja biti:

$$\text{pov. fr. : pneum.} = 1\% : (3\% \cdot 3,5) = 1 : 10 .$$

Plate za isti učinak bitno će se razlikovati u korist alata povišene frekvencije i to naročito:

- za brusilice, jer im se pri opterećenju jedva smanjuje brzina,
- za povremena odsecanja ili za bušilice učvršćene u posebne naprave, jer se snaga može praktično udvostručiti (dvostruki moment pri istoj brzini),
- za alate u malo dužoj upotrebi, jer snaga elektromotornih alata tokom upotrebe ne opada (nema habanja kao kod pneumatskog sa krilcima),

- osim toga produktivnost radnika je veća uz ista naprezanja, jer nema buke, mlaza hladnog vazduha, debelog priključnog creva.

Cena održavanja alata sa univerzalnim motorima bitno je veća (na- ročito za brusilice) nego za alate povišene frekvencije i pneumat- ske.

Za pneumatske alate potrebna je briga i nabavka za zaštitu od bu- ke i struje hladnog vazduha.

Troškovi nabavke rezervnih rotora za univerzalne motore i zastoji usled smetnji sigurno nadoknadjuju povećane investicije zbog kon- vertora frekvencije i veću potrošnju električne energije.

## 10. ZAKLJUČAK

Današnji stupanj jugoslovenske tehničko-tehnološke razvijenosti i nužnost konkurentnosti na svetskom tržištu zahtevaju sve širu me- hanizaciju raznih operacija, koje zasada važe kao ručne. To izis- kuje uvođenje raznih vrsta ručnih alata na motorni pogon. Osim toga postojeća postrojenja se proširuju, modernizuju ili zamenjuju.

Prilikom izbora vrste alata nameću se kao optimalni, kod nas ne- dovoljno poznati, alati povišene frekvencije za serijsku proizvod- nju sa trajnim opterećenjima ili sa povremenim preopterećenjima (do  $2.P_n$ ), praktički bez smetnji i zastoja. Takvi su pogoni: mon- tažne trake precizne mehanike do proizvodnih traka motornih vozi- la, proizvodnja limenih karoserija i klima uređjaja do čišćenja odlivaka i odsecanje ulivaka u livnicama.

Troškovi proizvodnje sa alatima povišene frekvencije znatno su manji uz bolji komfor radnika nego sa pneumatskim alatima, koji su, međjutim potrebni tamo gde su odlučujući mali prostor, laka regulacija, opasnost od eksplozije, neosetljivost na vlagu.

Nepostojanje obrtnih izolovanih namota, komutatora i četkica kod alata povišene sigurnosti obezbedjena je vrlo visoka pouzdanost u pogonu uz potpuno zadovoljavajuću zaštitu od napona dodira pomoću AP.7.18

zaštitnog voda u odnosu na zaštitno izolovane alate sa univerzalnim motorima, koji ostaju zasada nenadoknadivi za pojedinačnu i povremenu upotrebu u raznim uslovima na svakom mestu do kojeg je stigla opšta elektrifikacija. Ipak, razvijeni su i nude se kompleti za službe održavanja, koji se sastoje od mobilne tege (na točkovima) u čijem donjem delu je ugrađen konvertor frekvencije, a primena tiristora vodi eliminaciji komutatora sa četkicama.

## 11. LITERATURA

1. V. Teodorović, Električne pogonske mašine, Naučna knjiga, Beograd, 1967
2. V. Teodorović, Izabrana poglavlja elektroenergetike (skripta), Viša tehnička škola, Novi Sad, 1972
3. A. Dolenc, B. Jurković, Kolektorski strojevi, Sveučilište u Zagrebu
4. B. Mitraković, Komutatorni motori, Naučna Knjiga, Beograd
5. C. & E. FEIN, 7 Stuttgart 1, Leuschner str. 41 ... 47
6. Robert BOSCH GmbH, Elektrowerkzeugbau, 7022 Leinfelden, SR Nemačka
7. Otto SUHNER GmbH, Säckingen / Baden, Švajcarska
8. AEG - Telefunken

## ZUSAMMENFASSUNG

### ÜBER DER AUSWAHL DES ENERGIEARTES FÜR MOTORISCHE HANDWERKZEUGE

Die motorische Handwerkzeuge können mit Pneumatik - Schieber - Motoren oder mit Universal - Motoren (Allstrom - Motoren) oder mit Drehstrom - Käfigmotoren erhöhter Frequenz ("Hochfrequenz", "Schnellfrequenz") ausgerüstet sein. Die erste und die letzte müssen eine besondere Energiequelle und Netz haben. Die Handwerkzeuge mit Universal - Motoren können nicht in solchen Betrieben eingesetzt sein, wo Produktion und Produktivität von Handwerkzeugen abhängig ist, weil diese Motoren wegen gewickelten Rotor,

AP.7.19



Bürsten und Kommutator stören zu oft. Pneumatik - Motoren mit Ausnahme von einigen speziellen Fällen, haben eine schlechtere Drehmoment - Charakteristik, kleinere Überlastbarkeit, vielmal grösseren Energieverbrauch, und sind weniger gerauscharm als Handwerkzeuge erhöhter Frequenz. Wegen Verschleiss wird die Leistung der Pneumatik - Motoren vermindert. Es gibt noch einige Ursachen welche die mehr und mehr grössere Inbetriebsetzung der Handwerkzeuge erhöhter Frequenz zur Folge haben besonders in Giessereien, Karosseriebau, bei Montage - Fließbänder usw.

## IX. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NIŠ, 1974.

M. STOJILJKOVIĆ<sup>x</sup>

PROGRAMSKO - REDOSLEDNO UPRAVLJANJE RADNIM CIKLUSOM RAZVODNICIMA 3/2<sup>xx</sup>

### Uvod

Veoma je čest slučaj da iznalaženje pravilnih rešenja za ugradnju pojedinih delova upravljačkog sistema u sklop mašine, uređaja ili čitave proizvodne linije predstavlja težak problem. U ovom radu objašnjen je jedan od načina upravljanja radnim ciklusom kao mogućnost njegove primene prilikom projektovanja upravljačkih sistema.

Poznato je da se kod programsko-redoslednog upravljanja tok svakog radnog takta obavlja prema programu, pri čemu svaki sledeći takt počinje tek kada se prethodni završi. U praksi primene "male automatizacije" ovaj sistem upravljanja danas se sve više koristi zbog kompaktnosti pneumatske instalacije i sigurnosti u radu.

U želji da prikažemo sve bitne faze pri projektovanju ovakvih sistema, detaljno ćemo se upoznati sa ovim upravljanjem na osnovu priložene funkcionalne šeme. U daljem izlaganju biće dato projektno rešenje navedenog primera upravljanja sa svojim karakteristikama, opis funkcionisanja, kao i osnovne tehničke karakteristike.

Potrebno je još naglasiti da upotrebljeni termin programsko - redosledno upravljanje podrazumeva programiranje redoslednog upravljanja. Zato ga treba razlikovati od onog sa kojim se srećemo u literaturi, gde je početak jedne radne operacije uvek uslovljen signalom iz programatora i signalom iz prethodno završene operacije.

---

x Miodrag Stojiljković, dipl.ing., projektant Fabrike mašina i opreme - EI u Nišu.

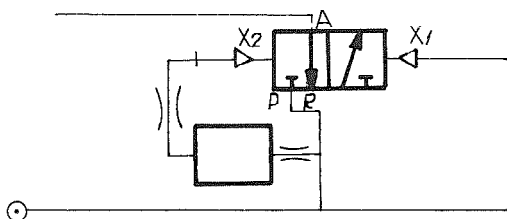
xx Materijal korišćen u ovom radu je deo urađenog projekta u EI - FMO, kao rešenje problema automatizacije jednog broja strugova po ugledu na strug 102 TL-HP švajcarske firme "SCHAUBLIN".

## Projektno rešenje navedenog primera upravljanja

Kao kod svakog pneumatskog upravljanja radnim ciklusom proizvodnih mašina ili uređaja, mogu se i ovde izdvojiti dve osnovne grupe elemenata: upravljački i izvršni ili radni elementi.

Upravljački sistem se sastoji od niza pneumatskih razvodnika 3/2, međusobno tako povezanih da mogu na izvršne elemente dejstvovati prema željenom upravljačkom programu. Oni predstavljaju jednu celinu, PROGRAMATOR.

Funkcionisanje programatora zasniva se na principu korišćenja razvodnika 3/2 sa diferencijalnim klipom i vremenskim kašnjenjem, simbolički prikazano na slici 1.



S. 1

Dejstvom pritiska na stranu razvodnika 3/2-označenu sa  $x_1$  - uspostavlja se prolaz vazduha P-A. Istovremeno vazduh struji kroz prigušivač u rezervoar. U rezervoaru pritisak sporo raste dok ne dostigne potrebnu vrednost za aktiviranje strane  $x_2$  razvodnika 3/2. Prema tome potreban pritisak vazduha za aktiviranje strane  $x_2$  postiže se sa izvesnim zakašnjenjem. Na taj način komandovanje razvodnikom se izvodi samo sa jedne strane što smanjuje broj komandi, pošto se jedan položaj razvodnog klipa automatski uspostavlja.

U ovom slučaju programator se sastoji od sedam razvodnika 3/2, tako da se na šest razvodnika zavisno od radnog ciklusa mogu priključiti jedan ili dva utikača. Svaka od sedam ulaznih strana je po određenom rasporedu priključena na izlaznu stranu ručnog razvodnika za puštanje u rad (5) i graničnih ventila za

naknadno uključivanje, koji se aktiviraju na kraju hoda pneumohidrauličnih jedinica. Isto tako svaki upravljački razvodnik programatora ima po dva brzorastavna priključka za vazduh, tako da je moguće uključivati jedan ili dva utikača i na taj način upravljati sa jednim ili dva istovremena kretanja. Priključci su tako izvedeni da su otvoreni samo kada su uključeni utikači. Na pneumatskoj principijelnoj šemi svako kretanje je označeno svojim slovom. Slovo se nalazi na:

1. utikaču i odgovara vrsti kretanja;
2. razvodnicima programatora, odnosno na prednjoj strani birača i odgovara kraju kretanja.

#### 1. o p i s u t i k a č a

Utikač "a" upravlja kretanjem "A"

Utikač "b" upravlja kretanjem "B"

Utikač "c" upravlja kretanjem "C"

Utikač "d" upravlja kretanjem "D"

Utikač "e" upravlja kretanjem "E"

Utikač "f" upravlja kretanjem "F"

Utikač "o" ima dve funkcije:

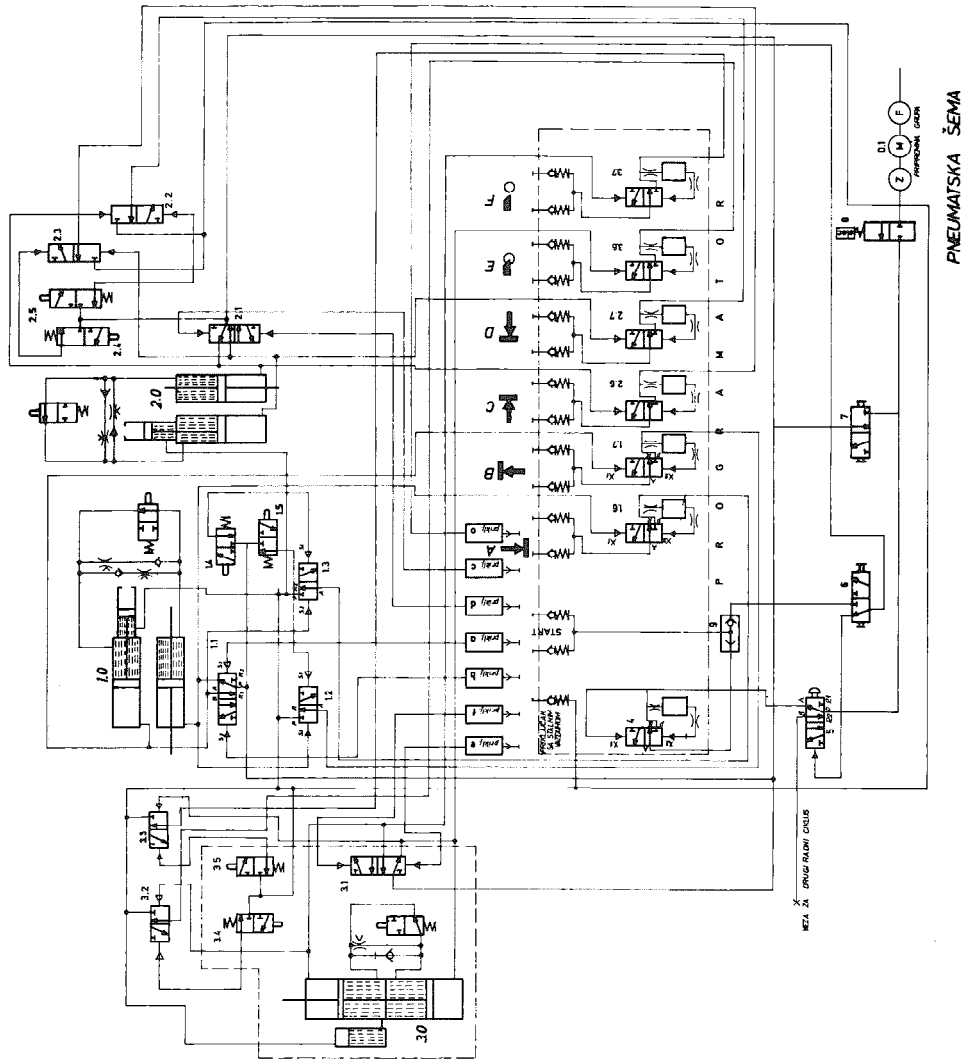
- označava kraj radnog ciklusa kada se klip ručnog razvodnika (6) gurne s desna u levo
- omogućava automatsko ponavljanje radnog ciklusa kada se klip razvodnika (6) gurne s leva u desno.

#### 2. o p i s p l o č i c e n a b i r a č u

START: zavisno od položaja razvodnika (6) imamo pojedinačni ili automatski rad.

- A - označava kraj radnog hoda kretanja jedinice 1.0 koje se pobuđuje razvodnikom 1.4
- B - kraj povratnog hoda jedinice 1.0 pobuđeno razvodnikom 1.5
- C - kraj radnog hoda jedinice 2.0 pobuđeno razvodnikom 2.4
- D - kraj povratnog hoda jedinice 2.0 pobuđeno razvodnikom 2.5
- E - kraj radnog hoda jedinice 3.0 pobuđeno razvodnikom 3.4
- F - kraj povratnog hoda jedinice 3.0 pobuđeno razvodnikom 3.5

Prilikom puštanja sistema u rad potrebno je sve elemente upravljačkog sistema dovesti u početno stanje. Zato pre uvođenja



AP. 8.4

utikača u položaj radnog ciklusa isti treba da se uvedu u ne-  
blokirana mesta, za oslobađanje vazduha - gore desno na biraču-  
kako bi se izvršila kontrola i pomeranje izvršnih elemenata u njihov  
pravilan početni položaj.

### P r o g r a m i r a n j e

Programiranje se vrši na sledeći način: na biraču u položaj  
START uključiti odgovarajući utikač za prvu operaciju; na bira-  
ču u položaj kraja hoda iste operacije uključiti sledeći uti-  
kač za izvođenje narednog kretanja, itd. do položaja kraja hoda  
poslednje operacije kada se uključuje utikač "o".

Radi objašnjenja poslužićemo se primerima.

Primer 1. izvršiti programiranje za sledeće operacije:

- I operacija kretanje A
- II operacija kretanje B
- III operacija kretanje C
- IV operacija kretanje D
- V operacija kretanje E
- VI operacija kretanje F

Programiranje za navedene operacije ima redosled:

- Utikač "a" u položaj "start"
- Utikač "b" u položaj "A"
- Utikač "c" u položaj "B"
- Utikač "d" u položaj "C"
- Utikač "e" u položaj "D"
- Utikač "f" u položaj "E"
- Utikač "o" u položaj "F"

Primer 2. izvršiti programiranje za sledeće operacije:

- I operacija kretanje A
- II operacija kretanje C
- III operacija kretanje B + D - istovremeno

Programiranje za navedene operacije ima redosled:

- Utikač "a" u položaj "start"
- Utikač "c" u položaj "A"
- Utikač "b" u položaj "C"
- Utikač "d" u položaj "C"

Utikač "o" u položaj B ili D pošto se kretanja B i D vrše istovremeno.

### Opis funkcionisanja

Na osnovu prethodnog primera 1, posmatrajmo sada radni ciklus u trenutku davanja impulsa pritiskom ruke na taster razvodnika (5). Aktiviranjem razvodnika (5) daje se impuls koji prolazi kroz razvodnik (4), obostrano-nepovratni ventil (9) i priključak START - a do strane  $S_1$  razvodnika 5/2 (1.1). Pod uticajem ovog impulsa, klip razvodnika menja svoj položaj i uspostavlja se veze P-A i B-R<sub>1</sub>. Kroz kanal P-A upušta se vazduh u pneumohidrauličnu jedinicu 1.0, a kroz kanal B-C vazduh odlazi u atmosferu.

Kada klipnjača jedinice 1.0 u krajnjem položaju aktivira razvodnik 3/2 (1.4), daje se impuls na stranu  $S_1$  razvodnika 3/2 (1.3). Ovaj uspostavlja vezu P-A kroz koju vazduh struji do razvodnika 3/2 (1.6) čija je strana  $x_1$  već pod pritiskom. To omogućava da impuls preko priključka A-b aktivira razvodnik 5/2 (1.1) na stranu  $S_2$  i dovede ga u drugi položaj. U ovom slučaju imamo suprotno kretanje - povratni hod - pneumohidraulične jedinice 1.0. Klipnjača u krajnjem uvučenom položaju aktivira razvodnik 3/2 (1.5), čijim posredstvom biva aktiviran razvodnik 3/2 (1.2). Preko razvodnika (1.2) dejstvuje vazduh na razvodnik 3/2 (1.7), čija je sada strana  $x_1$  pod pritiskom. Uspostavljeni prolazi P-A i B-C omogućuju aktiviranje upravljačkog razvodnika 5/2 (2.1) pneumo-hidraulične jedinice 2.0. Redosled aktiviranja identičnih razvodnika je isti kao za jedinicu 1.0, a to važi i za jedinicu 3.0.

Završni impuls iz razvodnika 3/2 (3.7) preko priključka F - o prolazi kroz razvodnik 3/2 (6) i aktivira razvodnik 5/2 (5), te on zauzima prvobitni krajnji položaj, da bi se pri novom aktiviranju ponovio već opisani ciklus.

Prebacivanjem razvodnika 3/2 (6) u drugi položaj, završni impuls preko uspostavljenog prolaza obostrano-nepovratnog ventila odlazi direktno na START. U tom slučaju radni ciklus se obavlja automatski.

Smatramo da nema nikakvog smisla dalje navoditi primere sa različitim kombinacijama, jer ako je shvaćena osnovna funkcionalna AP.8.6

šema sa prethodnim programom, nije teško vršiti nove kombinacije, kako na datoj funkcionalnoj šemi, tako i u smislu proširenja za više jedinica.

### Zaključak

Prikazani primer programske-redoslednog upravljanja, omogućuje izbor redosleda rada pneumohidrauličnih jedinica, a time i redosled operacija rada mašine ili isključivanje iz ciklusa rada neke od navedenih jedinica.

Jasno je da se ovoj funkcionalnoj šemi mogu naknadno dodavati još i drugi elementi za sprovođenje posebnih zahteva pri čemu bi se i oni upravljali na opisani način. Isto tako zahvaljujući svojim karakteristikama vrlo dobro se dopunjuje sa drugim radnim ciklusima, npr. stezanja, doziranja materijala itd.

Inače, ceo upravljački sistem se može ugraditi u komandnu kutiju. Na taj način pneumatska radna kretanja uređaja ili mašine mogu da se upravljaju sa jednog centralnog mesta uz prethodno programiranje.

Isto tako iz gornjeg opisa se vidi da ovako automatizovan uređaj predstavlja poluautomat. Posluživanje mašine u toku rada svodi se na zamenu obrađenog komada novim i na davanje signala za početak nove obrade. Sve ostale operacije mašina obavlja bez učešća čoveka. Međutim, upravljački sistem takođe omogućuje prelazak na automatski rad - prebacivanjem razvodnika (5) u drugi položaj.

Cilj ovog izlaganja je da prikaže mogućnost primene ovakvog načina upravljanja na alatnim mašinama kao i u drugim oblastima mašinstva, gde je poželjna "mala automatizacija". Opisani način upravljanja poseduje veoma dobre eksploatacione osobine: veoma je pouzdan u radu, ne zahteva stalnu brigu oko održavanja, neosetljiv je na potrese, zatim na povećanu temperaturu, prašinu, a osim toga je i dugotrajan.

Mada su ovde date samo osnovne informacije, nadamo se da će one ipak korisno poslužiti i naći razumevanje na polju konstrukcije i primene, kao i u drugim važnim problemima proizvodnih mašina i uređaja i pomoći u njihovoj pravilnoj i efikasnoj upotrebi.



## Literatura

1. Osnove pneumatskog upravljanja  
Zagreb, JUREMA - 1969.g.
  2. Pneumatika u maloj automatizaciji, prev.sa nem.ing.D.Nikolić  
Beograd, Savez mašinskih i elektro inženjera - 1969.g.
  3. Pneumatski sistemi upravljanja  
Beograd, Savez mašinskih i elektro inženjera - 1970.g.
  4. MARTONAIR mécanisation pneumatique - KATALOG  
(Druckluftsteuerungen GmbH 4234 Alpen/Niederrhein - 1969.g.)
  5. SCHAUBLIN 102 TL-HP, prospektni materijal  
(Fabrique de Machines SCHAUBLIN S.A. Bèvilard - Suisse)
- 

M. Stojiljković dipl.ing.

### ARBEITSZYKLUS WIRD PROGRAMMATISCH - REIENFOLG DURCH DAS VENTIL 3/2 GESTEUERT

Automatisierung der Werkmaschinen ermöglicht auffallende Kapazitätvergrößerung, wie auch Verbesserung der Arbeitsbedingungen. Dazu kommt noch wichtige Qualitätsverbesserung.

Der Zweck der Erörterung liegt darin, eine Möglichkeit der Anwendung dieser Steuerung bei den Werkmaschinen zu zeigen.

Diese Möglichkeit ist auch nicht ohne Wert für die andere Maschinengebieten, wo eine geringe Automatisierung gewünscht ist.

Steuersystem ist auf dem pneumatischen Schema sichtbar, wo eine Reihe der Pneumatischen Ventile 3/2 gezeigt sind. Die Ventile sind miteinander so gebunden, dass diegleiche einen Einfluss auf die Elemente nach dem gewünschten Steuerprogramm ausüben.

## IX. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NIŠ, 1974.

M. DUMANČIĆ<sup>x</sup>

J. TURK<sup>x</sup>

PRISTUP UVOĐENJU AUTOMATIZACIJE KOD MONTAŽNIH RADOVA<sup>xx</sup>

### UVOD

Razvojem masovne proizvodnje došlo je i do naglog porasta primjene automatskog rada. U metaloprerađivačkoj industriji automati i specijalni strojevi sve više zamjenjuju klasične strojeve, pa i klasični strojevi dodavanjem nekih automatskih pokreta dobivaju karakteristike automata. U efikasnost uvođenja automatizacije nitko ne sumnja. Ne rijetko se smatra da je dovoljno da količina nekog proizvoda prijeđe određeni broj pa da se uvede automatizacija. Kod ovako jednostranog pristupa uvođenju automatizacije polazi se od činjenice da automatska proizvodnja povećava količinu proizvedenih dijelova u jedinici vremena, a smanjuje broj radne snage po određenom broju proizvedenih komada. Kod donošenja odluke o uvođenju automatizacije trebalo bi ipak voditi računa o još mnogo faktora koji utječu na efikasnost i ekonomičnost proizvodnje. Ovdje će o tim elementima biti riječ. Na jednom primjeru iz automatizacije sastavljanja dijelova pokušat će se analizirati ekonomičnost prijelaza sa manuelnog na automatsko sastavljanje.

### 1. TEHNOLOŠKI PROCES SASTAVA ŠTAMPANIH VODOVA

#### 1.1. Opis sastavnih dijelova štampanog voda

Treba sastaviti temeljnu ploču, nosač, kutnik i zalemiti diode. Materijal temeljne ploče je pertinaks. Oblik i otvori za ulaz ušica dobiju se štančanjem. Elektrokemijski se nanose štampani vodovi.

---

<sup>x</sup>Marijan Dumančić, dipl.ing., samostalni konstruktor u odjelu male automatizacije tvornice "Nikola Tesla" Zagreb.

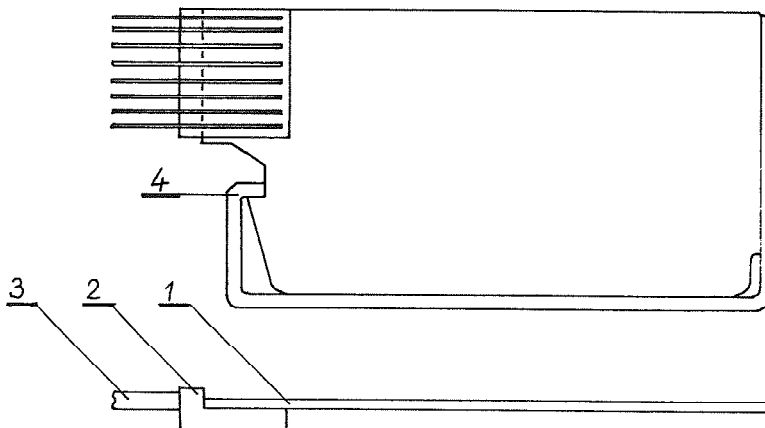
Josip Turk, dipl.ing., šef Odjela male automatizacije Tvornice telekomunikacionih uređaja "Nikola Tesla" Zagreb

<sup>xx</sup>Saopćenje iz "Prvomajska"- Institut za alatne strojeve Zagreb.

Materijal nosača je poliamid. Dobiva se tlačnim lijevanjem. Materijal ušice je mesing. Galvanizacijom se nanosi srebrni sloj. Debljina ušice je 0,4 mm. Materijal kutnika je čelični lim. Oblikuje se i savija u alatu.

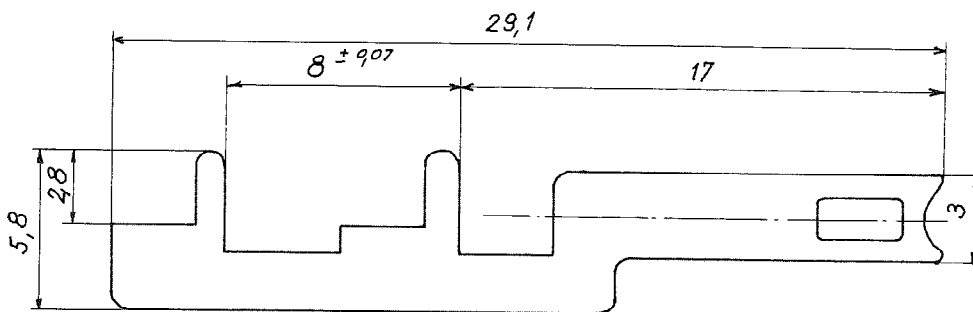
Na sl. 1. prikazan je sastav dijelova.

Na sl. 2. prikazana je ušica.



sl.1 sastav dijelova

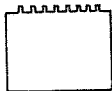
1. Temeljna ploča
2. Nosač
3. Ušica
4. Kutnik



sl.2 Ušica

## 1.2. Ručni sastav

Rukom se uzme temeljna ploča i nosač. Naslone se jedno na drugo. Rukom se uguraju ušice. Ovako sastavljeni dijelovi stave se na na- pravu prikazanu na slici 3.



Sl. 3

U ruku se uzme oblikovana čelična šipka i savinu se vrhovi ušica. Zaleme se diode i sastav stavi u kutnik.

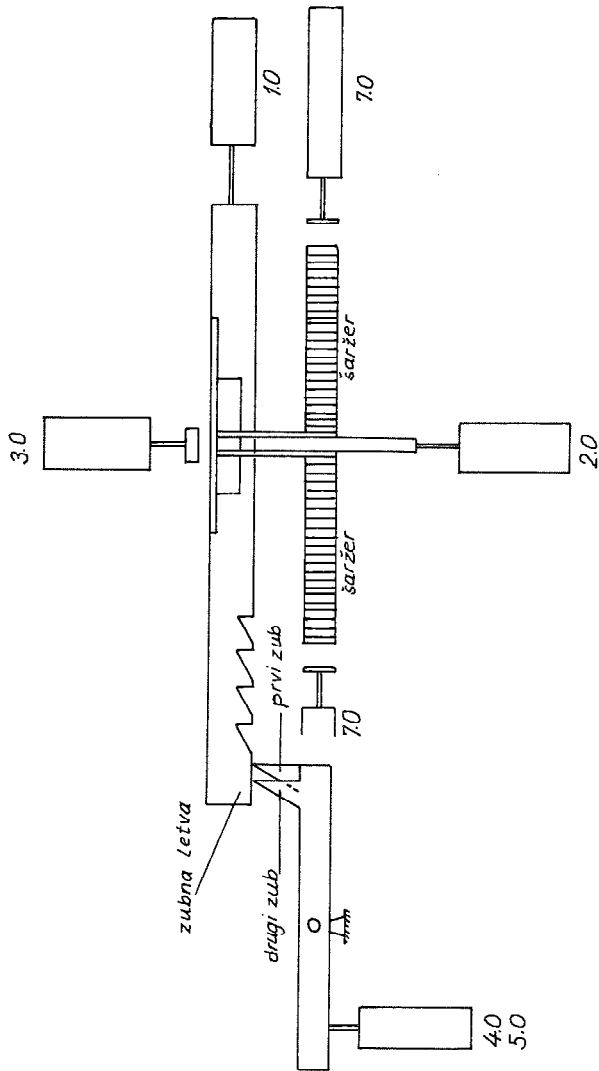
## 1.3. Automatski sastav

Ubacivanje ušica u otvore temeljne ploče vrši pneumatski cilindar. Ušice pritječu iz šaržera, koji se puni u vibratoru. Ubačene ušice u temeljnu ploču stisnu se drugim cilindrom i savinu. Ušice se uba- cuju dvije po dvije.

Na sl. 4. prikazan je princip rada automata, a na sl. 5. graf vre- mena. Iz slike 5. se vidi da je upravljanje automata slijedno.

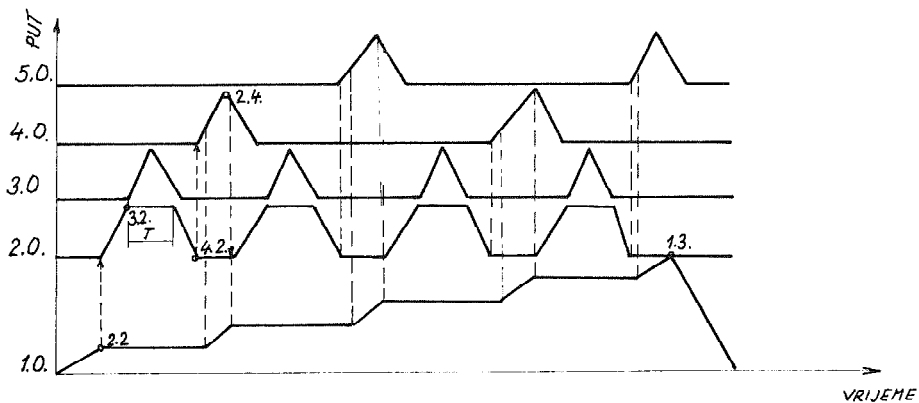
Na slici 6. prikazana je shema upravljanja. Upravljački elementi su električki, a izvršni organi su pneumatski. Tasterom za start daje se impuls elektromagnetskom razvodniku 1.1. koji dovede zrak u cilindar 1.0. Hod cilindra 1.0. određen je zapornim zubom što se vidi na sl. 4. Mikroprekidač 2.2. se aktivira na kraju prvog dije- la hoda cilindra 1.0. i on aktivira elektromagnetski razvodnik 2.1. koji pusti zrak u cilindar 2.0. Cilindar 2.0. transportira dvije ušice u temeljnu ploču i nosač. Na kraju svoga hoda cilindar 2.0. aktivira mikroprekidač 3.2. koji aktivira elektromagnetski razvodnik 3.1. Taj razvodnik dovede zrak u cilindar 3.0. a ovaj cilindar izvrši savijanje vrhova ušica i na taj način učvrsti uši- ce u temeljnoj ploči. Preko zakašnjavajućeg releja vrati se cilin- dar 2.0. i 3.0. u prvobitni položaj. Vrijeme zakašnjenja je potreb- no vrijeme za savijanje ušica. Na svom povratku cilindar 2.0. akti- vira mikroprekidač 4.2., koji aktivira elektromagnetski razvodnik 4.1. Taj razvodnik dovede zrak u cilindar 4.0. koji oslobodi zapor- ni zub pa se cilindar 1.0. pomakne za jedan korak do drugog zapor-

nog zuba. Sada se ciklus ponovi samo što u slijedećem ciklusu treba osloboditi drugi zaporni zub. To izvrši cilindar 5.0. a signal njegovom razvodniku 5.1. daje opet mikroprekidač 4.2. Blok 4.5. osigurava naizmjenice signal u elektromagnetski razvodnik 4.1. i 5.1.



Sl. 4 Princip rada automata

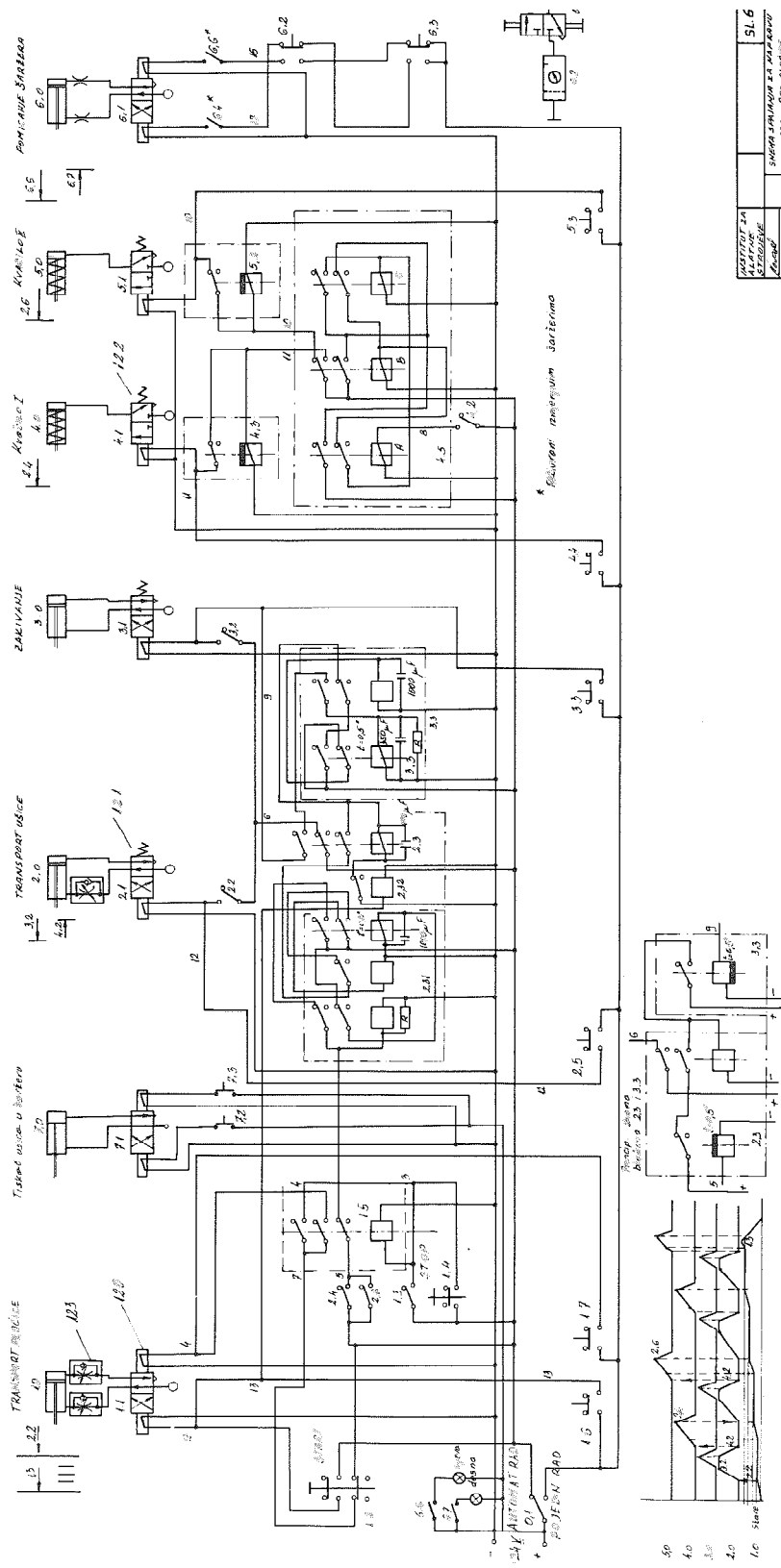
Ovakvo rješenje upravljanja diktira konstruktivno rješenje automata. Naime, zapinjanje sa dva zuba omogućilo je veći korak zubne letve. Nakon četiri koraka cilindar 1.o. dobije impuls od mikro-prekidača 1.3. i vrati se u prvobitni položaj. Sada se sklop temeljne ploče, nosača i ušica izvadi iz automata, a postavi se nova temeljna ploča i nosač. Cilindar 7.o. osigurava pritisak ušica u šaržeru. Njegov elektromagnetski razvodnik 7.1. dobiva signal od mikroprekidača 7.2. i 7.3., koji se aktiviraju ručno. Cilindar 6.o. služi za postavljanje automata u položaj za sastavljanje druge vrste temeljne ploče. Naime postoji lijeva i desna temeljna ploča, koje su sukladno simetrične. Punjenje šaržera vrši se iz vibratora. Za vrijeme izmjene šaržera u automatu, automat naravno ne radi.



Sl. 5 Graf vremena

U toku konstrukcije automata izvršena je analiza ekonomičnosti o čemu se govori u slijedećem odsjeku. Ta je analiza, naravno, pokazala opravdanost uvođenja automatskog procesa sastava, dakle prijelaza sa ručnog na automatski postupak izrade opisanog sklopa štampanog voda.

AP. 9.6



PROJEKSI 2D	51.6
MAKIN	
KIRI	
DI BANGUNAN 2D	
DI BANGUNAN 3D	
DI BANGUNAN 4D	
DI BANGUNAN 5D	
DI BANGUNAN 6D	
DI BANGUNAN 7D	
DI BANGUNAN 8D	
DI BANGUNAN 9D	
DI BANGUNAN 10D	

## 2. ANALIZA EKONOMIČNOSTI AUTOMATA ZA SASTAV ŠTAMPANIH VODOVA

### 2.1. Utjecaj kvalitete dijelova na troškove sastava

Poznato je, da nivo kvalitete dijelova u procesu sastava /montažnih radova/ ima presudni utjecaj kako na prihvaćanje koncepcije montažnog automata, tako i na rentabilnost rada takvog uređaja. Kod proučavanja ekonomičnosti montažnih automata treba, prije svega, analizirati pitanje ušteda u troškovima sastava u odnosu na nužnost povećanja kvalitete sastavnih dijelova sklopa, koji se montira.

Totalna cijena dobrog sklopa, koji je izrađen na montažnom stroju dobiva se iz sume cijena pojedinih dijelova  $C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$  i cijene rada stroja po jednom sklopu  $C_a$ .

Prema tome je:

$$C_t = C_a + C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n = M_t / P_a + C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n \quad /2.1/$$

Ovdje  $M_t$  predstavlja ukupnu cijenu rada stroja za jednu minutu, a sadrži troškove za plaćanje radnika, poreze i ostala davanja, troškove pogona stroja, popravaka i gubitke zbog loših sastava. Broj dobro sastavljenih sklopova može se izračunati ovako:

$$P_a = \frac{60 [N - (1-m) x n N / 100]}{N t + m N x n T / 100} = \frac{60 [100 - (1-m) x n]}{100 t + m x n T} \quad [\text{kom/min}] \quad /2.2/$$

U ovom su izrazu pojedini parametri za naš konkretni primjer:

$N$  = broj sklopova, koje treba izraditi,

$n$  = 1, broj automatskih radnih jedinki,

$x$  = 2, postotak loših dijelova,

$t$  = 8s, radni /automatski + ručno/ ciklus stroja,

$T$  = 30s, vrijeme potrebno za otklanjanje kvara ili zastoja,

$m$  = 1, faktor utjecaja loših dijelova na zastoje stroja

/svaki loši dio uzrokuje zastoj automata/pa imamo:

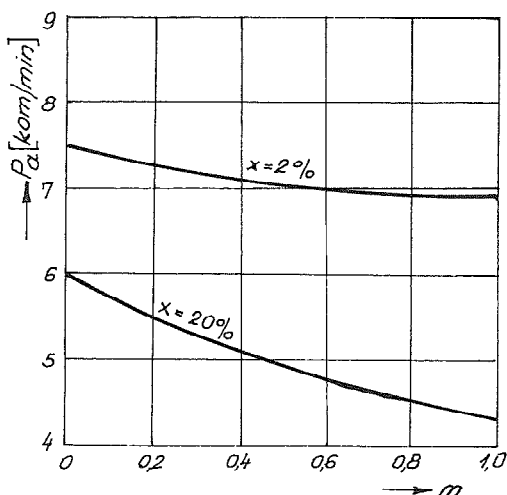
$$P_a = \frac{60 [100 - (1-1) 2 \cdot 1]}{100 \cdot 8 + 1 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 30} = 7 \quad [\text{sklopova u minuti}] \quad /2.3/$$



Za svaki  $m$  možemo izračunati odgovarajući  $P_a$  i nacrtati dijagram promjene  $P_a$  u ovisnosti o  $m$  / $m$  se kreće od 0 do 1/. Kod  $m = 0$  svi loši dijelovi prolaze kroz automat bez zastoja, a kod  $m = 1$  svaki loši sastavni dio zaustavi ga. Iz dijagrama /2.1/ lako se može uočiti, da se maksimalni broj dobrih sastava postiže kod minimalnog  $m$ .

Drugim riječima, kod konstruiranja automatskih stanica za mehanizirani sastav, ako se želi postići velika produktivnost, bolje je da se loši sastavni dijelovi propuste kroz stroj i pokvari sastavljeni komad, nego da se dozvoli, da on prouzrokuje zastoj stroja.

Naš dijagram ipak pokazuje i to da se  $P_a$  neznatno mijenja s promjenom  $m$ , što znači da loši dijelovi / $x = 2\%$ / ne utječu **signifikantno** na broj proizvedenih sastava.



Slika 2.1 Utjecaj loših dijelova na broj dobrih sastava

Ukupna cijena rada stroja:

$$M_t = M + P_u T_c W$$

/2.4/

Ovdje je:

$M$  = cijena rada stroja po minuti [NDin/min]

$P_u$  = utjecaj loših sklopova na zaustavljanje stroja /loši sklopovi/

$$P_u = \frac{60(1-m)xn}{100t+mxnT} = \frac{60(1-1)2 \cdot 1}{100 \cdot 8 + 1 \cdot 2 \cdot 30} = 0 \quad [\text{kom/min}] \quad /2.5/$$

$T_c$  = vrijeme potrebno da se odstrane loši dijelovi,

$W$  = cijena radne snage /brutto osobni dohodak/,

Cijena pojedinog sastavnog dijela sastoji se od osnovne cijene

$A_b$  bez obzira na nivo kvalitete i cijene povećanja kvalitete,

gdje  $B$  predstavlja faktor povišenja kvalitete. Prema tome imamo:

$$C = A_b + B/x \quad /2.6/$$

Sa već izračunatim  $P_u = 0$  /2.5/ za  $m = 1$  izraz za totalnu cijenu dobiva formu:

$$C_t = M(100t + xnT)6000 + \sum A_b + nB/x \quad /2.7/$$

Ako se ova jednadžba derivira po  $x$  i izjednači s nulom dobiva se optimalna vrijednost za  $x$ :

$$x_{opt} = 10 (60 B/MT)^{\frac{1}{2}} \quad /2.8/$$

Uvrštavanjem jednadžbe /2.8/ u /2.7/ dobivamo:

$$C_{t(\min)} = M \cdot t / 60 + 2n(MBT/60)^{\frac{1}{2}}/10 + \sum A_b \quad /2.9/$$

što predstavlja izraz za minimalnu cijenu sastava. Iz jednadžbe /2.8/ vidi se, da na  $x_{opt}$  djeluje samo  $T$ , a to znači samo vrijeme potrebno za oslobađanje stroja od defektnog dijela uzimajući pri tome, da su  $B$  i  $M$  konstantni.

Za izračunavanje izraza /2.7/ odnosno /2.9/ treba naći vrijednost rada stroja  $M$  [NDin/min]. Ova se cijena može izračunati iz slijedećih parametara:

- vrijednost automata /cijena izrade/ = 95.000 NDin,
- amortizacija prema stopi od 30% godišnje:
 
$$A_g = 95.000 \cdot 0,3 = 28.500 \text{ NDin/god.},$$
- potrošak energije /pneumatska + električka/ za instaliranu snagu od ukupno 0,5 kW:
 
$$E = 0,5 \cdot 0,4 = 0,2 \text{ NDin/h} = 134 \text{ NDin/god.},$$
- brutto osobni dohodak radnika: 15,00 NDin/h = 10.000 NDin/god.,
- troškovi tekućeg održavanja /2% na nabavnu vrijednost/:
 
$$O = 95.000 \cdot 0,02 = 1.900 \text{ NDin/god.},$$
- troškovi za rezervne dijelove /2%/: 1.900 NDin/god.,
- planirani radni sati na napravi za godišnju seriju od 300.000 sastavljenih sklopova i vrijeme izrade od 8s/kom.:
 
$$S_g = 300.000 \cdot 8 / 3600 = 670 \text{ h/god.} = 40.200 \text{ min/god.},$$

Prema tome je:

$$M = \frac{28.500 + 134 + 10.000 + 1900 + 1900}{40.200} = 1,06 \text{ NDin/min.}$$

Uvrstimo li sve zadane i izračunate podatke u jednadžbu /2.8/ dobivamo:

$$x_{opt} = 10(60 B / MT)^{\frac{1}{2}} = 10(60 \cdot 2,5 / 1,06 \cdot 30)^{\frac{1}{2}} = 21,7\%$$

Prema ovom rezultatu je očigledno B, pretpostavljen prevelik. Ako se uzme  $x_{opt} = 2\%$ , što je kod nas normalno za ovaj proizvod, a to znači, da će stroj raditi u optimalnim uvjetima upravo kod ove vrijednosti kvalitete tada dobivamo iz /2.8/:

$$B = \frac{x_{opt}^2 MT}{6000} = \frac{4 \cdot 1,06 \cdot 30}{6000} = 0,021 \text{ NDin}$$

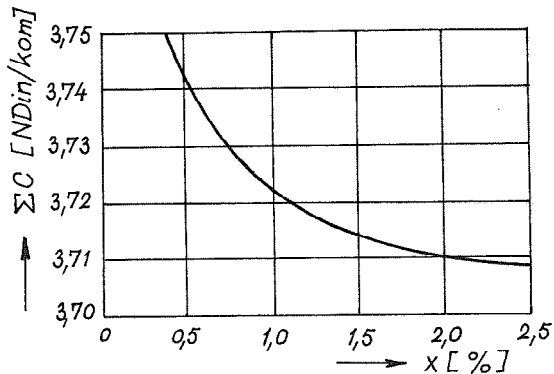
B predstavlja zapravo povećanje cijene sastavnih dijelova po 1% povećanja nivoa kvalitete dijelova. Ovdje je ovako mali iznos B ispravan jer se radi o dijelovima s velikim serijama, a sredstva za njihovu proizvodnju /alati i naprave/, učešće materijala kod kojih se izrađuju i postupci obrade u cijeni proizvoda zauzimaju relativno male stavke. Za korektno izračunavanje B trebalo bi

odrediti poskupljenje sredstava za njihovu izradu, materijala i postupaka izrade za svaki postotak nivoa kvalitete. No, budući, da je za uobičajenu vrijednost  $x = 2\%$  /kakva je i u našem konkretnom slučaju/ iznos  $B = 0,021$  Din-% vrlo malen, on i malo utječe na konačnu cijenu proizvoda u odnosu na ostale parametre pa se on može stoga smatrati konstantnim. To tim više što je karakter alata i postupaka takav, da povećanje kvalitete zaista ne bi iziskivalo njihovo enormno poskupljenje.

Budući, da je cijena opisanog štampanog voda  $\sum A_p = 3,7$  NDin a  $B = 0,021$  NDin, to će cijena svih sastavnih dijelova biti:

$$\sum C = \sum A_p + nB/x = 3,7 + 1 \cdot 0,021/2 = 3,711 \text{ NDin} \quad /2.10/$$

Pomoću ovog izraza može se nacrtati dijagram promjene  $\sum C$  u ovisnosti od  $x$ .

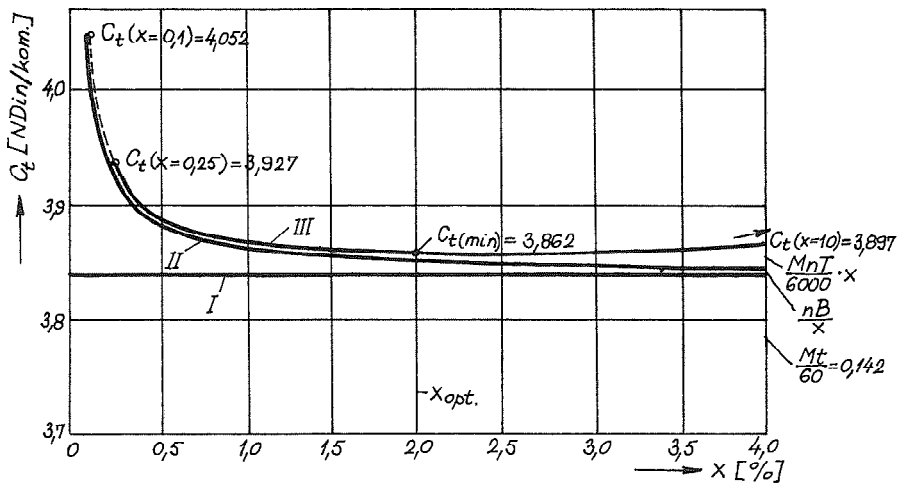


Slika 2.2 Utjecaj kvalitete sastavnih dijelova na cijenu proizv.

Sada možemo naći vrijednost  $C_{t(\min)}$  uvrštavanjem zadanih i izračunatih veličina u jednadžbu /2.9/:

$$\begin{aligned} C_{t(\min)} &= 1,06 \cdot 8 / 60 + 2 \cdot 1 \left( 1,06 \cdot 0,021 \cdot 30/60 \right)^{\frac{1}{2}} / 10 + 3,7 \\ &= 3,862 \text{ NDin/kom.} \end{aligned}$$

Optimalna vrijednost nivoa kvalitete dijelova prema tome daje minimalnu cijenu sastava  $C_t(\min)$ . To je minimum rezultantne krivulje na dijagramu slika 2.3.



Slika 2.3 Utjecaj kvalitete dijelova na cijenu sastava

Ova analiza pokazuje, da sa smanjenjem broja loših dijelova ispod  $x = 1$  cijena sastava naglo raste, a da naprotiv s povećanjem  $x$  iznad 2% cijena  $C_t$  blago raste pa tako na pr. kod  $x = 10\%$   $C_t$  se u odnosu na  $C_t(\min)$  poveća za svega 1%. Visine ordinata odnosno razlike između pojedinih krivulja predstavljaju slijedeće:

- 3,7 + I - cijena montaže,
- I ÷ II - cijena kvalitete dijelova,
- II ÷ III - cijena vremena zastoja na stroju.

## 2.2. Usporedba ručnog postupka sastava s montažom na stroju

Za vrijeme ručne izrade /bez automata za sastav/ od 60s po komadu i godišnju seriju od 300.000 kom potrebno je vrijeme:

$$S_r = \frac{300.000 \cdot 60}{3.600} = 5.000 \text{ h/god.}$$

Za brutto osobni dohodak radnika /uključivši i sve zakonske obveze/ od 15,00 NDin/h iznose troškovi po radniku:

$$W = \frac{15,00}{60} = 0,25 \text{ NDin/min}$$

Ukupna cijena po komadu za ručni sastav može se naći iz izraza:

$$C_{tr} = t_r W / 60 + \sum A_b \quad [\text{NDin/kom}] \quad /2.11/$$

Uz vrijeme sastava po komadu  $t_r = 60 \text{ s}$  i uz ranije određene podatke biti će cijena pojedinog sastavljenog komada:

$$C_{tr} = \frac{60 \cdot 0,25}{60} + 3,7 = 0,25 + 3,7 = 3,95 \text{ NDin/kom.}$$

Godišnja ušteda će za ranije navedenu seriju biti:

$$U = N(C_{tr} - C_{ts}) = 300.000(3,95 - 3,86) = 27.000 \text{ NDin.}$$

Uz pretpostavljeni godišnji porast serije od 20% ta će ušteda do amortizacije automata od 90% iznositi:

$$U_t = 1,6 U = 27.000 \cdot 1,6 = 43.200 \text{ NDin.}$$

Naravno, ne smije se zanemariti ni činjenica, da je za ručni postupak sastava potrebno  $5.000/1.500 = 3,33$  radnika, dakle tri će radnika jedva obaviti ovaj posao, ako se pretpostavi, da je godišnji fond 1.500 čistih radnih sati u jednoj smjeni. Za rad u dvije smjene za ovaj će se proces morati osigurati dva radna mjesta. Na samo jednom automatu se taj posao može obaviti za gotovo 2,5 puta manje vremena. Osim toga rad na automatu biti će u odnosu na ručnu montažu rentabilan u relativno širokom dijapazonu

kvalitete sastavnih dijelova. To se područje može odrediti uvrštavanjem cijene za ručni sastav  $C_{tr}$  u izraz /2.7/ pa je tada:

$$3,95 = 1,06(100 \cdot 8 + x \cdot 1 \cdot 30) / 6000 + 3,7 + 1 \cdot 0,021/x$$

Rješenja će zapravo biti sjecišta pravca  $C_{tr} = 3,95$  sa krivuljom  $C_t(x)$ . Nakon sređivanja dobije se:

$$3,18 x^2 - 65,2 x + 12,6 = 0,$$

pa će rješenja biti:

$$x_1 = 0,189$$

$$x_2 = 20,3 .$$

Prema tome, područje rentabilnosti za rad na automatu je vrlo široko:

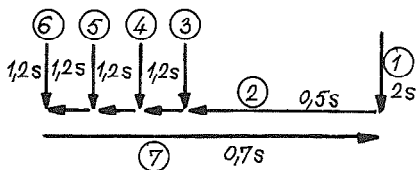
$$0,189\% < x < 20,3\%.$$

Cijena  $\sum A_b$  uzima se u ovom razmatranju također konstantna iako bi zapravo na neki način trebala uzeti u obzir i utjecaj loše sastavljenih sklopova, jer i to predstavlja dio cijene gotovog proizvoda. No, ovdje se računa cijena koštanja rada na automatu u odnosu na ručni sastav, dakle, cijenu proizvodnje, a gubici zbog loših dijelova odnosno gotovog sastava su ionako jednaki ili se mogu uzeti gotovo jednaki kako kod ručnog, tako i kod automatskog sastava. Ta je vrijednost, prema tome, konstantna, koja samo uzrokuje translaciju odgovarajućih krivulja u dijagramu  $C_t$  na slici 2.3, ali za otprilike isti iznos pomiče i pravac, koji predstavlja cijenu ručnog sastava, prema gore /u pozitivnom smjeru/.

### 2.3 Postepeno automatiziranje procesa

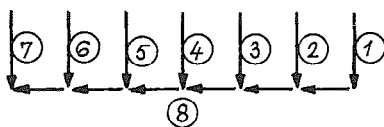
Kod indeksnih automata, kakav je i ovaj - za sastav štampanih vodova - pojedini se postupci, odnosno operacije mogu postepeno mehanizirati odnosno automatizirati. U dosadašnjim razmatranjima je za opisani automat pretpostavljeno, da ima  $n = 1$  automatsku radnu stanicu, ali se je pri tome u vremenu  $t = 8s$  obavio čitav proces sastava i to

kako ručni tako i mehanizirani dio montaže. Sada ćemo pretpostaviti, da je radni takt vrijeme između dva utiskivanja lemnih ušica pa je  $t = 2s$ , a to je ujedno vrijeme najdužeg zahvata u prethodnom razmatranju. Shema zahvata, odnosno pokreta u prethodnom slučaju bila je ovakva:



- 1-ulaganje ploč.+kutnika i vađenje,
- 2-aktiviranje naprave+primicanje maske,
- 3,4,5,6-utiskiv.i zakivanje ušica,
- 7-povratak maske.

Nova shema će biti izmijenjena, ali tako, da osnovni elementi zahvata ostanu isti kao i ranije:



- 1 - ulaganje kutnika,
- 2 - ulaganje pločice,
- 3,4,5,6 - utiskivanje i zakivanje ušica,
- 7 - izbacivanje gotovih sastava,
- 8 - transport između radnih stanica.

Prema tome, ako je  $q = 7$  ukupni broj mogućih operacija, a  $n$  je broj automatskih /mehaniziranih/ stanica to će izraz za cijenu rada linije biti:

$$M = W(q - n) + qC_T + nC_A \quad [NDin/min] \quad /2.12/$$

Ovdje je:

- $W = 0,25$  NDin/min - troškovi za radnu snagu,
- $C_T = 0,30$  NDin/min - amortizacija jedinice transfernog uređaja,
- $C_A = 0,90$  NDin/min - amortizacija automatske radne stanice.



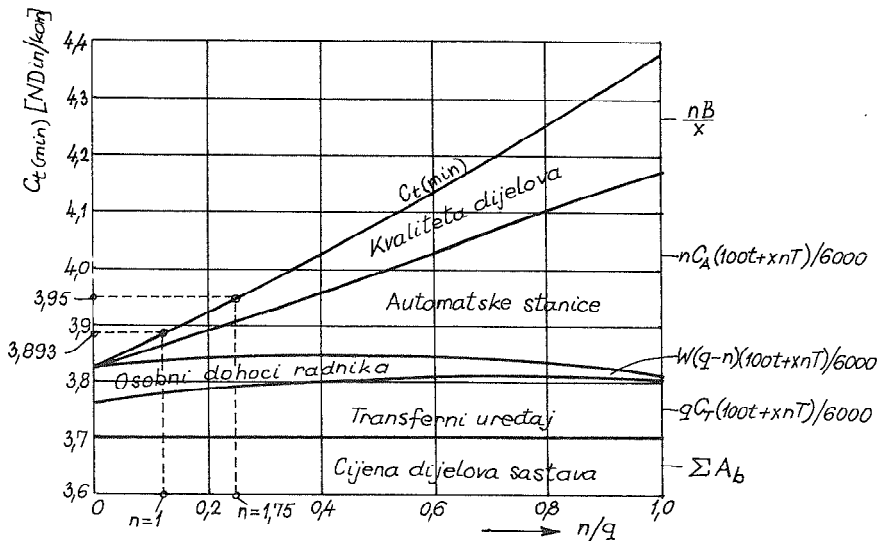
Pri tome je kao osnovica za izračunavanje amortizacije uzeto, da je cijena jedinice transfernog uređaja 10.000 NDin/7 jedinica =  $\approx 7 \cdot 10.000$  NDin/, prosječna cijena automatske radne stanice 30.000 NDin., godišnja serija 300.000 kom za što je potrebno 10.050 min/god. Ako se sada jednadžba /2.12/ uvrsti u /2.7/ dobivamo:

$$C_t = [W(q - n) + qC_T + nC_A](100t + xnT)/6000 + \sum A_b + nB/x \quad /2.13/$$

Uvrštavanjem /2.12/ u /2.8/ dobivamo optimalni nivo kvalitete dijelova:

$$x_{opt} = 10 \left\{ 60 B / [W(q - n) + qC_T + nC_A] T \right\}^{\frac{1}{2}} \quad /2.14/$$

Stupanj automatiziranosti pokazuje izraz  $(q - n)$  što zapravo predstavlja broj radnika na liniji sa  $q$  operacija. Taj se stupanj može još izraziti i odnosom  $n/q$  pa ćemo za naš konkretan slučaj nacrtati dijagram minimalnih cijena proizvoda  $C_t(\min)$  u ovisnosti o stupnju automatiziranosti  $n/q$ . Naravno, sve ovo vrijedi za slučaj kad je  $m = 1$ .



Slika 2.4 Utjecaj povećanja stupnja automatizacije na minimalne cijene montaže

Na dijagramu slika 2.4 su pored krivulje totalnih minimalnih cijena montaže ucrtane i krivulje strukture te cijene: utjecaj kvalitete dijelova, utjecaj troškova izrade automatskih stanica /prosječna cijena po jedinki/, utjecaj troškova za radnu snagu /na bazi 15,00 NDin/h/, utjecaj troškova za transferni uređaj i utjecaj osnovne cijene sastavnih dijelova proizvoda.

Za  $C_{tr} = 3,95$  iz dijagrama dobivamo  $n/q = 0,25$  pa prema tome  $n = 1,75$ . To znači, da se i na ovako komponiranom stroju mogu postaviti gotovo dvije automatske radne stanice, a da cijena proizvoda ne preraste onu iz ranijih razmatranja za čisti ručni sastav. U odsjeku 2.1 računali smo sa  $n = 1$  što znači, da je čitav uređaj predstavljao samo jednu automatsku radnu stanicu. Za  $n = 1$  se iz /2.13/ dobiva  $C_t = 3,893$  NDin/kom što znači, da se s jednom automatskom stanicom i u ovom posljednjem slučaju /slučaj postepenog automatiziranja/ postiže neznatno veća cijena sastava nego što je to dobiveno u odsjeku 2.1. To navodi na zaključak da se za zadanu seriju isplati i povećati stupanj automatiziranosti operacija opisanog sastava.

Iako cijana sastava na slici 2.4 pokazuje tendenciju naglog porasta u ovisnosti o povećanju stupnja automatizacije, treba ipak uzeti u obzir da je analiza rađena za godišnju seriju od 300.000 kom za koju bi bilo potrebno uz  $t = 2$  s/kom:

$$S_s = \frac{300.000}{1800} = 167 \text{ h rada linije.}$$

Kapacitet linije je zapravo /za 1500 h/god u jednoj smjeni/.

$$N = 1800 \cdot 1500 = 2,700.000 \text{ kom/god.}$$

Kod ovakve serije bi i učešće  $C_T$  i  $C_A$  u ukupnoj cijeni  $C_t$  bilo daleko manje te bi i kod potpune automatizacije, dakle kod  $n/q=1$  ovakav proces sastava bio rentabilan.

### 3. ZAKLJUČAK

Iznesena analiza očigledno pokazuje opravdanost uvođenja automatizacije u prikazanom konkretnom primjeru. Automatski sastav se prema njoj isplati u odnosu na ručni u relativno širokom dijapazonu kvalitete dijelova  $x = 0,189 - 20,3\%$ . U praksi će se to područje vjerojatno nešto smanjiti zbog raznih dodatnih utjecaja, koje ovdje nismo mogli uzeti u obzir /subjektivni i objektivni faktori/, no ukoliko se  $x$  drži u razumnim granicama rad na automatu mora u osnovi biti rentabilan.

Naime, indeksni su automati, kakav je i naš, po izvedbi jeftiniji od slobodnih transfera, ali se s povećanjem broja autom. stanica naglo povećava postotak zastoja pa se kod njih dozvoljava postotak zastoja i do 50%. To je, dakle, tipična uobičajena granica rentabilnosti. Ako u izraz za postotak zastoja:

$$D = \frac{\text{vrijeme zastoja} \times 100}{\text{vrijeme sastava} + \text{vrijeme zastoja}} = \frac{m \times n \times N \times T}{Nt + mxnNT/100} =$$
$$= \frac{m \times n}{0,01 \times mxn + t/T} \quad [\%] \quad /3.1/$$

uvrstimo slijedeće parametre /određene već ranije/:

- $T = 30 \text{ s}$  - tipična vrijednost vremena zastoja
- $t = 8 \text{ s/kom}$  - radni ciklus za jedan sastav
- $x = 2\%/20\%$  - srednji /prosječni/ nivo kvalitete sastavnih dijelova
- $m = 1$  - svi defektni dijelovi uzrokuju zastoje stroja
- $n = 1$  - stroj s jednom automatskom stanicom

onda za  $x = 2\%$  dobivamo  $D = 7\%$ , a za  $x = 20\%$  dobivamo  $D = 43\%$ , pa je prema tome za ranije nađeno područje  $x /0,189 \div 20,3\% /$   $D < 50\%$ .

Ako se s druge strane u jednadžbu /2.2/ uvrsti uz iste parametre i  $x = 20\%$  te varira  $m$  od 0 do 1 mogu se izračunati vrijednosti unijeti u dijagram slika 2.1. Nova krivulja će pokazati, da će se kod  $m = 0$  moći na automatu izraditi 6 dobrih, a za  $m = 1$  dobiti će se 4,3 dobra sklopa u minuti. To znači, da će se za

$x = 20\%$  i  $m = 1$  moći na automatu još uvijek izraditi četiri puta više dobrih sklopova u minuti nego kod ručnog postupka.

Sve to još jednom potvrđuje ispravnost ranije iznesenih razmatranja i zaključaka koji su u njima donešeni.

Na kraju treba napomenuti i to, da bi iz jednačbe /3.1/ za  $x=20\%$  i  $n > 1$  dobili  $D > 50\%$  što se više ne može prihvatiti. Budući, da su zastoji kod indeksnih automata u osnovi skuplji nego kod slobodnih transfera to se iz ovoga može zaključiti, da treba nastojati izvoditi indeksne automate sa što manje automatskih stanica. Stoga je i u našem primjeru izvedena samo jedna automatska radna stanica.

#### Fopis simbola

$A_b$	- osnovna cijena sastavnog dijela, [NDin/kom]
$A_g$	- godišnja amortizacija, [NDin/god]
$B$	- konstanta, koja pokazuje veličinu porasta cijene uslijed podizanja nivoa kvalitete dijelova sastava, [NDin] [NDin %]
$C$	- cijena dijela [NDin/kom]
$C_a$	- cijena rada montažnog stroja za izradu dobrog sklopa [NDin/kom]
$C_A$	- amortizacija jedinice automatske radne stanice [NDin/min]
$C_t, C_{ts}$	- totalna cijena automatskog sastava, [NDin/kom]
$C_r$	- ukupna cijena sastava za ručni proces rada, [NDin/kom]
$D$	- vrijeme zastoja stroja, [%]
$E$	- potrošak energije, [NDin/god]
$M$	- cijena rada montažnog automata za izradu dobrih sastava [NDin/min]
$M_t$	- totalna cijena rada montažnog automata, [NDin/min]
$N$	- broj proizvedenih sastava, [kom]
$O$	- troškovi tekućeg održavanja, [NDin/god]
$P_a$	- količina proizvedenih dobrih sastava, [kom/min]
$P_m$	- maksimalni kapacitet montažnog automata, [kom/min]
$P_u$	- količina proizvedenih loših sastava, [kom/min]
$S_r$	- ukupno godišnje vrijeme rada za ručni sastav, [h/god]
$S_s$	- ukupno godišnje vrijeme rada montažnog automata, [h/god]
$T$	- vrijeme potrebno da se otkloni uzrok zastoja montažnog automata, [s]

$T_c$	- vrijeme potrebno da se rastavi loši sastav, [s]
$W$	- brutto osobni dohodak radnika, [NDin/min]
$U, U_t$	- godišnja odnosno totalna ušteda kod rada na stroju NDin
$m$	- faktor utjecaja loših dijelova na zastoje stroja
$n$	- broj automatskih stanica
$q$	- broj operacija potrebnih za sastav nekog sklopa
$t$	- radni ciklus stroja, [s]
$t_r$	- vrijeme po sastavu kod ručnog postupka, [s]
$x$	- nivo kvalitete dijelova, [%]
$x_{opt}$	- vrijednost $x$ za minimalnu cijenu sastava, [%]

### Literatura

- 1/ G.Boothroyd - A.H. Redford, Mechanized Assembly, Mc Graw-Hill, London 1968.
- 2/ F.G.Moore, Planiranje i kontrola proizvodnje "Panorama", Zagreb, 1964.
- 3/ R.M. Barnes, Studij pokreta i vremena "Panorama", Zagreb, 1964.

---

J. Turk, M. Dumančić

### Analyse of Economics of Automatic Assembly Machines

It is known that the quality level of the various component parts seriously affects the concept of the design of the automatic assembly machines and also the production rates of such a machines.

To study the economy of assembly machines, it is necessary to analyse the problems of cost savings in the assembly process with respect to the need of increasing quality level of the component parts of assembly.

## IX. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NIŠ, 1974.

M. DREZGIĆ\*

STANJE I PROBLEMI DEZBEDNOG I BEZŠTETNOG RADA  
NA MAŠINAMA ALATLJIKAMA\*\*

Proces uzajamnog delovanja između čoveka i rada, praćen je pored ostalih i takvim pojavama, koje se negativno odražavaju na čovekovu prirodu i biološku egzistenciju.

Ove se pojave u doba industrijskog tehnicizma sve oštrije manifestuju u vidu masovnih profesionalnih nesreća, povreda, oštećenja i oboljenja ljudi u sferi rada i proizvodnji. One, prema podacima svetske zdravstvene organizacije danas, kao uzroci smrtnosti stoje na trećem mestu, posle raka i oboljenja srca.

Otuda smo, uprkos snažnom razvoju i napretku nauke i njenoj sve većoj primeni u tehnologiji i proizvodnji, iz godine u godinu svedoci svojevrstne drame koja se odigrava između čoveka i rada u svakoj radnoj sredini kod nas i u svetu. U njoj stotine hiljada ljudi gubi živote u toku samo jedne godine, desetine miliona biva isključeno iz proizvodnje i normalnog toka života na kraće ili duže vreme, čime se u svetu gomilaju socijalni i drugi problemi, a nacionalnoj, a time i svetskoj ekonomici nanose teški finansijski gubici koji dostižu fantastične okvire.

Ako pogledamo podatke koji govore o povredama u našoj zemlji, prema izveštaju Saveznog saveta za rad za 1969. i 1970. godinu videćemo, da je broj povreda iznosio 266.064 odnosno 278.193 u 1970. godini. U okviru ovih povreda metalna industrija (117 grana), gde je proizvodno mašinstvo najzastupljenije, po broju povreda se nalazi na prvom mestu sa 35.555 u 1969. godini odnosno 36.817 u 1970. godini /1/.

\* Miroslav Drezgić, dipl. inž., docent Fakulteta zaštite na radu Univerziteta u Nišu

\*\* Saopštenje Fakulteta zaštite na radu - Niš

Imajući u vidu činjenicu da je u metalnoj industriji zastupljen najveći broj mašina alatlika, nameće se zaključak da je potrebno sagledati i uzroke tih povreda. Njihova analiza pokazuje da je pretežan deo uzroka u tzv. subjektivnim faktorima, tj. u faktorima koji leže u ličnosti samog radnika, dok mali broj uzroka otpada na objektivne faktore tj. materijalne činioce koji su doveli do povredjivanja radnika.

Neki pokazatelji za 1970. godinu ukazuju na uzroke koji su doveli do povreda:

1. - Neispravnost mašina i drugih uređjaja	2.217
2. - Poremećaj normalnog tehnološkog procesa	1.995
3. - Neispravnost ručnog alata na mehanički pogon	2.790
4. - Neispravnost električnih uređjaja ili instalacija	456
5. - Neispravno izgrađjene odnosno oformljene ili neuredno održavane radne prostorije ili radilišta	3.533
6. - Nepravilno ili nedovoljno osvetljenje, nepravilna ventilacija, nezdrava atmosfera, buka	626
7. - Zakrčenost radilišta, naročito prolaza za ljude	2.147
8. - Neispravnost transportnih puteva za utovar i istovar	2.323
9. - Nedostatak zaštitnih naprava ili njihova neispravnost	1.040
10. - Nedostatak ili neodgovarajuća ili neispravna lična zaštitna sredstva	5.495
11. - Kršenje propisa o zaštiti na radu	30.552
12. - Neracionalan ili nesiguran način rada (kod pojedinaca)	134.995

Ovde je naznačena samo polovina uzroka povredjivanja, ali se i iz njih vidi da je najveći broj povreda koje potiču

ZA.1.2

od subjektivnih faktora (pod red.br. 12), dok se kod objektivnih faktora najveći broj nesreća dogodio iz razloga navedenih pod rednim brojem 5 i 10.

Iz napred izneženih podataka da se zaključiti da je stanje zaštite na radu u SFRJ na nivou koji se ne može smatrati zadovoljavajućim, što je posledica, između ostalog i naglog porasta industrijske proizvodnje i privrednog razvoja posle drugog svetskog rata.

Razvoj industrijske proizvodnje koji se ogleda i uvodjenjem nove tehnologije, rekonstrukcije i modernizacije starih tehnoloških procesa, osvajanjem nove proizvodnje, stalnim prilivom radne snage sa sela itd., i nadalje nameće pitanja iz oblasti zaštite na radu kao veoma aktuelna.

Ako ovome dodamo i nesumnjive gubitke koji nastaju zbog povreda na radu, onda se mora da obrati odgovarajuća pažnja kako subjektivnim tako i objektivnim faktorima.

Da do ovakvih gubitaka ne bi dolazilo može se ići dvojako:

1. Preventivnim ulaganjem, koje bi se moralo da ostvari još u fazi projektovanja i izrade orudja za rad - mašina i

2. Naknadnim ulaganjem da bi se otklonili u eksploataciji uočeni nedostaci, a koji negativno utiču na bezbedan i bezštetan rad.

Nesumnjivo je da se bolji rezultati mogu da postignu ako se preventivno deluje u fazi projektovanja.

Da preventivno ulaganje u sprečavanje povreda na radu ima svoje veliko opravdanje, ne ulazeći u humanost i socijalne posledice koje nastaju zbog povreda (da navedemo samo njih), pokazuje i podatak "da su amerikanci uspeali da do u tančina statističkom metodom razrade problematiku prosečnog koštanja jedne povrede na radu i našli su, da jedna takva povreda prosečno košta 825 %. Ali to su zapravo direktni troškovi usled pretrpljene povrede i za lečenje. Medjutim, tu treba posebno obračunati i indirektno gubitke do kojih dolazi usled



nastale povrede na radu! Ovi indirektni gubici, prema izvršenim kalkulacijama, odnose se prema direktnim gubicima kao 4:1". Ekonomsko opravdanje ulaganja u zaštitu ogleda se i kroz podatak, da "na svaki uloženi dolar u zaštitu amerikanci uštede 1,60 dolara"./2/. I ma da su podaci koji ukazuju na apsolutnu potrebu da se o zaštiti na radu, koja se između ostalog ogleda i u industrijskom oblikovanju, pouzdanosti, zatim u eksploatacionim svojstvima proizvoda, mnogo više vodi računa, susrećemo se sa činjenicom da se "konstruktori time ne bave, a tehnolozi i organizatori valjda ne uvidjaju povezanost ovog područja sa svojim"./3/.

Ova konstatacija izrečena od strane profesora Djuraševića na VI Savetovanju proizvodnog mašinstva u Opatiji 1970.godine, proizašla je iz relativno malog broja prijavljenih referata za to Savetovanje, koji bi na bilo koji način tretirali pouzdanost, industrijsko oblikovanje, eksploataciona svojstva proizvoda.

Sudeći po broju dospelih radova i za ovo Savetovanje koji tretiraju zaštitu na radu, a u uskoj su vezi sa projektovanjem, proizvodnjom i eksploatacijom, možemo još jednom konstatovati da ova oblast nije našla referenata.

Po svom karakteru zaštita na radu je vrlo kompleksna materija i zadire u sve delatnosti organizacija udruženog rada. Ona obuhvata sve mere i sredstva na stvaranje bezbednih i bezštetnih uslova rada. Ti uslovi mogu se obezbediti jedino primenom savremenih tehničkih, zdravstvenih, socijalnih i drugih mera za sprečavanje i otklanjanje uzroka povreda i ugrožavanja zdravlja radnika na radu.

Ne ulazeći dublje u analizu subjektivnih faktora koji utiču na bezbedan i bezštetan rad, možemo zaključiti da i objektivni faktori mogu, da u izvesnoj meri utiču na ove prve. Upravo ti, objektivni faktori treba da budu predmet interesovanja i konstruktora, bez obzira o kakvoj se mašini ili orudju za rad radi.

Tih objektivnih faktora kojima konstruktor može da utiče na bezbedan i bezštetan rad na orudjima za rad, u naj-

širem smislu reći, pa samim tim i na rad sa mašinama alatkama ima svakako više /4/. Tu pre svega treba razlikovati opšte uslove, koje su zajednički za sve mašine, a zatim i posebne koji su specifični za pojedine mašine u zavisnosti i od toga, da li su u pitanju mašine za obradu rezanjem ili mašine za obradu deformacijom.

Zahtevi u pogledu bezbednog i bezštetnog rada koji su opšti za sve mašine, predstavljaju pre svega predviđanje načina postavljanja mašina na pod radionice; zatim položaj i oblik elemenata upravljanja; položaj i zaštitu radne zone; preventivne mere za sprečavanje preopterećenja; zaštitu od električne struje; osvetljenje radnog mesta; buku i vibracije; način održavanja mašina, kao i njihov oblik i boju.

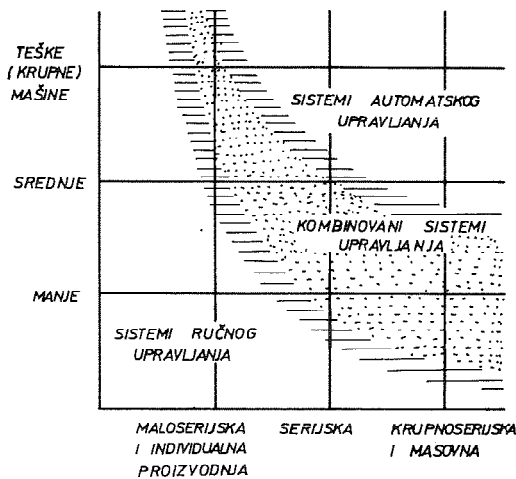
Svaki od ovih opštih zahteva koji čine subjektivne faktore predstavlja po jednu oblast, koja, svaka za sebe, pruža veliko polje rada i zahteva interesovanje i rad posebnih grupa stručnjaka. Ako bi se ovome dodali i posebni, specifični zahtevi za pojedine vrste mašina, onda se može govoriti o zaista širokom delokrugu rada koji tretira objektivne faktore, a koji iako nisu primarni u ukupnom udelu povreda na radu, zaslužuju odgovarajuću pažnju.

Kada govorimo o alatnim mašinama, svakako da treba da imamo u vidu sve objektivne faktore i da ih, koliko god je to moguće eliminišemo još u fazi projektovanja. Pri tome je svakako različit pristup kada se radi o mašinama koje zahtevaju veliki stepen angažovanosti radnika u procesu proizvodnje, dakle o mašinama univerzalnog tipa, odnosno kada su u pitanju mašine namenjene serijskoj ili masovnoj proizvodnji. Isto tako, pažnja konstruktora mora da zavisi i od veličine mašine, njenog gabarita i namene.

Van svake je sumnje, da je u sklopu opšte pažnje koju konstruktor mora da posveti pri projektovanju mašine, pored njenih osnovnih tehničkih karakteristika, i projektovanje, kao što je već rečeno, elemenata upravljanja, koji predstavljaju veoma važan deo u sklopu opšte bezbednosti rada. Ono treba da počne izborom sistema upravljanja mašinom, koji

mora da bude siguran pri radu, pogodan za opsluživanje, mora da ima optimalan broj elemenata upravljanja i da štiti mašinu od havarija, a radnika od povreda pri preopterećenju ili uključivanju pogrešnih komandi koje dovode do pogrešnog rada mašine. Pri tome pod pogodnošću opsluživanja treba podrazumovati to da sistem mora da omogućuje minimalne gubitke vremena za izvršavanje operacija upravljanja, antropometrijsko prilagodjavanje, mali utrošak fizičke snage pri manipulaciji elementima upravljanja, racionalan raspored instrumenata i elemenata upravljanja koji oslobadja radnika od suvišnog naprezanja (umnog naprezanja i pažnje).

Izbor ovog ili onog sistema upravljanja ne zavisi samo od gore rečenog, već kao što je već napomenuto i od namene mašine. Na primer, za mašinu koja obradjuje materijal rezanjem, mašina mora da se svrsta u onu ili ovu tehnološku grupu, kategoriju po težini pri čemu se poštuju i drugi faktori. Na sl.1 pokazane su oblasti korišćenja različitih sistema upravljanja pri obradi materijala rezanjem iz koje se vidi u kojim slučajevima treba upotrebiti sistem ručnog ili automatskog, odnosno kombinovanog upravljanja./5/.



Sl. 1  
Oblast korišćenja različitih sistema upravljanja mašina alat-  
ljika za obradu materijala rezanjem

Pri ovome elementi upravljanja mašinom mora da se nalaze u radnom prostoru manipulacije shodno logičnom ponašanju čoveka.

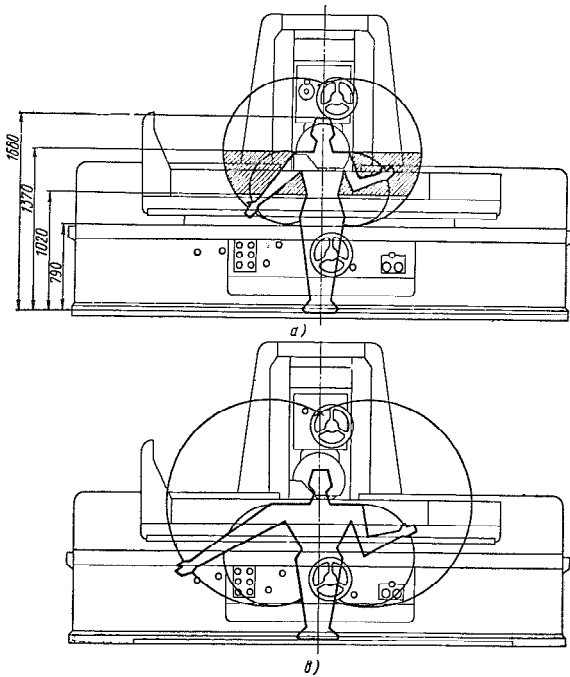
Elementi upravljanja kod mašina treba da se raspoređuju na nekoliko uočljivih različitih površina ili da predstavljaju nekoliko grupa koje se međusobno razlikuju. Ako elementi upravljanja mašine moraju da se koriste kontinuirano, onda redosled njihovog korišćenja mora da bude usaglašen sa redosledom mesta nalaženja. Prvenstvo treba dati horizontalnom (s leva ka desnom) ili vertikalnom (odozgo na niže) rasporedjivanju. U onim slučajevima, kada se elementi upravljanja raspoređuju na jednoj ravni, a indikatori na drugoj, sukcesivnost rasporedjivanja na obe ravni mora da bude ista. Ako radnik jednovremeno pazi na merne uređjaje, pokazatelje i rad mašine, celishodno je da se instrumenti rasporede u skladu sa uzajamnim rasporedom sklopova mašina.

Vreme traženja potrebnog elementa upravljanja mora da bude minimalno. Različiti oblici i veličine ručica, dugmeta, poluga, ne samo da smanjuju opasnost pojave grešaka, već i u mnogim slučajevima omogućavaju pronalaženje elementa upravljanja tačno, bez greške pa i "na slepo".

U procesu projektovanja elemenata upravljanja, u fazi kada se razmišlja o mestu gde će se oni na mašini postaviti, neophodno je da se poznaju odgovarajući antropometrijski podaci, koji podrazumevaju osnovne razmere čovekovog tela i oblasti rogućih dohvata, jer se ti podaci razlikuju za različite narode. Tako na primer, prednji rast muškaraca u SAD iznosi 176 cm, Engleskoj 173 cm, čehoslovačkoj 175 cm, Japanu 164 cm, u SSSR-u 168 cm./6/.

Medjutim, antropometrijske podatke je potrebno upotpuniti sa anatomsko-fiziološkim osobinama i biomehaničkim mogućnostima čovečijeg tela, jer uzimanje u obzir samo antropometrijskih podataka može da dovede do nepravilnih rešenja.

Na slici 2 data je šema antropometrijske analize brusilice za ravno brušenje, iz koje se vidi (sl. 2a), da su



Sl. 2

Šema antropometrijske analize brusilice za ravno brušenje

elementi upravljanja neudobno raspoređjeni. Da bi se upravljalo načinom sa ovako raspoređenim komandama, potreban bi bio čovek kakav je dat na sl. 2b, što u stvarnosti nije slučaj. Dakle, položaj komandi se mora prilagođjavati čoveku, jer se suprotno ne sme dozvoliti.

Još jedan faktor o kome treba voditi računa kada je reč o elementima upravljanja na različitim načinama je smanjivanje mogućnosti njihovog uključivanja slučajnim dodirrom. U pojedinim slučajevima, elementi za upravljanje raspoređeni su tako da može da se desi, da se slučajnim dodirrom može da uključi mašina u rad, kada radnik svojim kretanjem teži da dohvati drugi elemenat komande, ili ako se desi, da se on slučajno nasloni na neki od elemenata za upravljanje. Nepravilno (slučajno) uključivanje, bilo kog elementa upravljanja može da dovede do veoma ozbiljnih posledica koje nameću potrebu da se elementi upravljanja tako projektuju, da je

nemoguće da se slučajnim dodirnom elementi pokreću i vrše svoj zadatak.

Pri upotrebi bilo kakve fizičke zaštite elemenata upravljanja od neželjenog uključivanja, obavezno mora da se vodi računa o tome, koliko će takva vrsta zaštite da poremeti druge zahteve inženjerske psihologije (na primer, ponekad takav princip zaštite toliko poveća vreme pri manipulaciji sa njima, da rukovanje elementima upravljanja i štitnicima postaje necelishodno).

Neki od načina rešavanja zaštite elemenata upravljanja od neželjenog slučajnog uključivanja mogu da budu:

- elementi upravljanja mogu da budu montirani tako, da se nalaze UDUPLJENI na pultu ili odredjenom mestu na mašini i da budu u istom nivou s površinom mašine. Znači, elementi su van domašaja slučajnog dodira jer ne štrče van mašine. Medjutim, osnovni nedostatak ovog načina sastoji se u tome, što je za takvu vrstu fizičke zaštite potrebna velika površina na pultu na kome se nalaze elementi za upravljanje. Jedna od varijanti ovog principa je i postavljanje štitnika oko elemenata upravljanja;

- pravac kretanja elemenata upravljanja može tako da se usmeri da ono ide duž takve ose, na kojoj je pojava slučajnih sila najmanje verovatna;

- zaštitni poklopci ili štitnici mogu da se postavljaju iznad svakog elementa upravljanja. Ako se, medjutim, takav element upravljanja veoma često koristi, onda je takav način nepodesan.

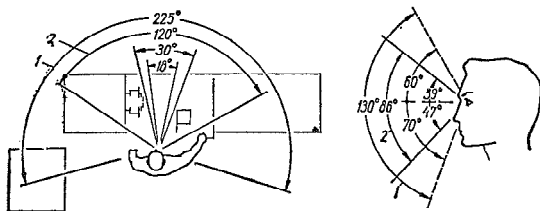
Ovim svakako nisu iscrpljene sve mogućnosti otklanjanja slučajnog uključivanja.

Kod savremenih mašina često se ostvaruje daljinsko upravljanje, i tada se elementi upravljanja nalaze na posebnom udaljenom pultu. Ovo omogućava, s jedne strane da se svedu naprezanja radnika na najmanje moguća, a sa druge strane, da se elementi upravljanja rasporede ne samo kompaktno već i na pogodnom mestu u radnoj zoni. Medjutim, u tom slučaju kod radnika nastaje slabljenje veze s mašinom, i zbog toga, na

ovakvim kultovima treba široko da se primenjuju posebni pokazivači i simbolični znaci, po kojima radnik, može da kontroliše svoj rad.

Da bi međjutim radnik mogao što lakše da uočava kako elemente upravljanja, tako i neposrednu zonu obrade, veoma je važno poznavati i fiziološke mogućnosti opažanja.

Čovek, čiji je pogled usmeren u nepokretnu tačku predneta, koja se nalazi u nivou očiju, vidi manje ili više oštro ili uočljivo i druge predmete koji se nalaze u granicama određenog prostora koji se i naziva opažanje (sl.3). U zavisnosti od jasnoće opažanja predmeta, ona se deli na tri



Sl. 3

Vidno polje

- 1 - ugao vidnog polja;
- 2 - ugao zone vidnog polja.

osnovne zone, čije se granice moraju obavezno da znaju pri projektovanju elemenata upravljanja i kontrole.

Zona centralnog vida ( $1,5-3^{\circ}$ ), to je deo vidnog polja, gde je moguće jasno opažanje predmeta. Zona trenutnog opažanja (oko  $10^{\circ}$ ), to je deo polja u čijim je granicama moguće opažanje pri ograničenom vremenskom intervalu. Zona efektivne vidljivosti (oko  $30^{\circ}$ ), to je prostor u čijim je granicama moguće dosta jasno opažanje pri skoncentrisanoj pažnji. Međjutim, pri pokretanju očne jabučice i kretanju glave, nastaje premeštanje opisanih zona i vidno polje se povećava.

Core opisane zone, svedoče o različitoj osetljivosti očiju koja se naglo menja od centra ka periferiji. Mo

Ako osetljivost vida pri uglu od  $0^{\circ}$  usvojimo za jedinicu, onda će ona pri  $20^{\circ}$  da bude  $1/4$ , a pri  $80^{\circ}$  -  $1/36$ .

Zbog toga su za konstruktora, izuzetno važne sledeće zakonomernosti:

- horizontalno pokretanje očiju vrši se daleko brže od vertikalnog, i zbog toga je prvo manje zamorno. Horizontalne veličine i proporcije ocenjuju se preciznije od vertikalnih,

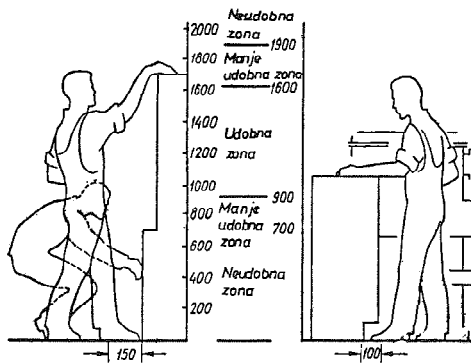
- pravolinijske konture prate se lakše od krivolinijskih, a kontinuirani kombinovani prelazi linija, lakše od prelomljenih. Neočekivani prelazi kontura izazivaju zadržavanje opažanja, privlače pažnju čoveka i zbog toga ova zakonomernost treba da bude iskorišćenja pri konstruisanju.

Imajući u vidu da radno mesto radnika mora sa mašinom da sačinjava jedinstvenu i skladnu celinu, još za vreme rada na konstruisanju mašine, mora da se obezbedi prirodan položaj tela uz mogućnost menjanja radnih položaja. Neudoban položaj tela tokom rada dovodi do izuzetnog zamaranja radnika, pojave pogurenosti, i može da bude uzrok pojavi profesionalnog oboljenja. Na taj način, u cilju smanjivanja zamaranja radno mesto ili zona rasporeda elemenata upravljanja mora da se bira tako, da položaj radnika bude udoban.

Prostor u čijim se granicama vrši radno kretanje radnika čini radnu zonu. Na osnovu podataka koje daju ergonomska ispitivanja, a koji uzimaju u obzir antropometrijske pokazatelje i karakter radnih pokreta čoveka, određene su i granice povoljnih radnih zona (sl.4).

Dugotrajan rad u granicama maksimalne zone dohvata veoma je zamoran, jer je ovakav rad vezan za dugotrajno istezanje ruku (radnik mora da dohvati element upravljanja koji se nalazi van granica mogućnosti dohvata tih komandi), pa ga treba, gde god je to moguće konstruktivno izbegavati.





Sl. 4

Radne zone i odnos veličina na radnom mestu

#### UMESTO ZAKLJUČKA

Ma da se na osnovu statističkih podataka možemo tvrditi da su subjektivni faktori ti koji najvećim delom utiču na broj povreda na radu, ne možemo biti indiferentni i prema povredama koje nastaju od objektivnih faktora. Pre svega, konstruktori su ti, koji treba da deluju u pravcu eliminisanja ovih, objektivnih faktora na taj način, što će neposredno saradjevati sa većim brojem stručnjaka različitih profila, počev od onih koji se bave industrijskim oblikovanjem, preko fizičara do psihologa. Usaglašavanje samo tehničkih zahteva u pogledu konstruisanja mašina, nije i jedino pitanje na koje mora da projektant da odgovori, a da se pri tom može sa sigurnošću tvrditi da je mašina dobra.

## Literatura

1. Izveštaj inspekcije rada za 1970.god.  
Savezni savet za rad, Beograd, juli 1971.god.
2. Dr DANILLO ŠTAMBUK: "Društveno-ekonomski značaj izostanaka s posla usled profesionalnih povreda i oboljenja"  
"Tehnika", Beograd br. 6/64
3. Zbornik saopćenja VI Savetovanja o proizvodnom strojarstvu Opatija 1970.god., knjiga III
4. Zbornik saopćenja VI Savetovanja o proizvodnom strojarstvu Opatija 1970.god., knjiga II
5. Grupa autora: "Hudožestvenoe konstruïrovanie v mašinstroenii" - "Tehnika", Kiev - 1970.
6. G.A.Tarzimanov: "Proektirovanie metalorežušćih stankov" "Mašinstroenie" Moskva 1972.g.
7. Inženernaia psihologija v primenenii k proektirovaniiu oborudovania, "Mašinstroenie" Moskva, 1971.
8. M.DREZGIĆ: "Zaštita na radu sa mašinama pri obradi materijala rezanjem", Institut jugoslovenske i inostrane dokumentacije zaštite na radu - Niš, 1973.god.

M.DREZGIĆ

### L'ETAT ET LES PROBLEMES D'UN TRAVAIL SUR ET NON NUISIBLE SUR DES MACHINES OUTILS

On représente dans ce l'oeuvre les pertes de l'économie nationale provoquées par des lésions au travail dans l'industrie métallique, dans laquelle sont le plus représentés les machines de production, o'esta à dire, les machines outils.

Vu que des causes qui provoquent les lésions au travail sont du caractère objectif et subjectif, on attire l'attention sur la nécessité d'étudier les factures du caractère objectif-technique et de leurs écartement lors de la projection.

ZA.1.13

Comme, il existe un grand nombre de ces factures  
objectifs, on fait remarque dans le travail sur un de ceux -  
sur la projection des éléments de commande qui doivent être  
adaptés aux hommes, ne perdant pas de vue les exigences  
techniques de base.

## IX. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NIŠ, 1974.

S. Kerkez<sup>x)</sup>

NEKA RAZMATRANJA MOGUĆNOSTI SMANJENJA POVREDA NA RADU U  
INDUSTRIJSKOJ PROIZVODNJI<sup>xx)</sup>

### 1. Uvod

Uzimajući u obzir da je porast industrijske proizvodnje, a samim tim i porast standarda života naših radnih ljudi, uslovio i brži tempo rada, došlo je do većeg fizičkog i psihičkog zamora radnog čoveka. Takodje, ako se sagledaju uslovi rada, sredstva koja se izdvajaju na zaštitu na radu i shvatanja značaja i uloge zaštite, krajnje je vreme da se rešavanju problema iz ove oblasti najozbiljnije pridje, bez obzira na poteškoće sa kojima se susrećemo, jer veliki broj povreda na radu na to nas primorava, kako sa materijalne ta-ko i sa humane strane.

Upravo zbog toga, u Institutu za alatne mašine i alate posvećuje se velika pažnja gde i šta treba preduzeti, da bi se broj povreda na radu smanjio, jer je to osnovni cilj svih institucija koje se bave problematikom zaštite na radu.

### 2. Karakteristični periodi kretanja povreda na radu

Kroz dugogodišnji rad Instituta za alatne mašine i alate na rešavanju problema iz oblasti zaštite na radu kao i na osnovu vođenja evidencije o uzrocima povreda, u Institutu se došlo do stanovišta da prvo treba izvršiti analizu u kom se vremenskom periodu, računajući provedene godine na radu, događa najveći broj povreda.

<sup>x)</sup> Svetko Kerkez, maš.ing., viši tehnički saradnik Instituta za alatne mašine i alate, Beograd

<sup>xx)</sup> Izneti razmatranja mogućnosti smanjenja povreda na radu odnose se na delatnost Instituta za alatne mašine i alate u oblasti zaštite na radu.

Prema evidenciji sa kojom IAMA raspolaže, na dijagramu (sl.1) dat je prikaz kretanja povreda za poslednje tri godine u jednom većem metalopreradivačkom preduzeću. Prosek povreda na radu prema broju zaposlenih kretao se od 14 - 15%.

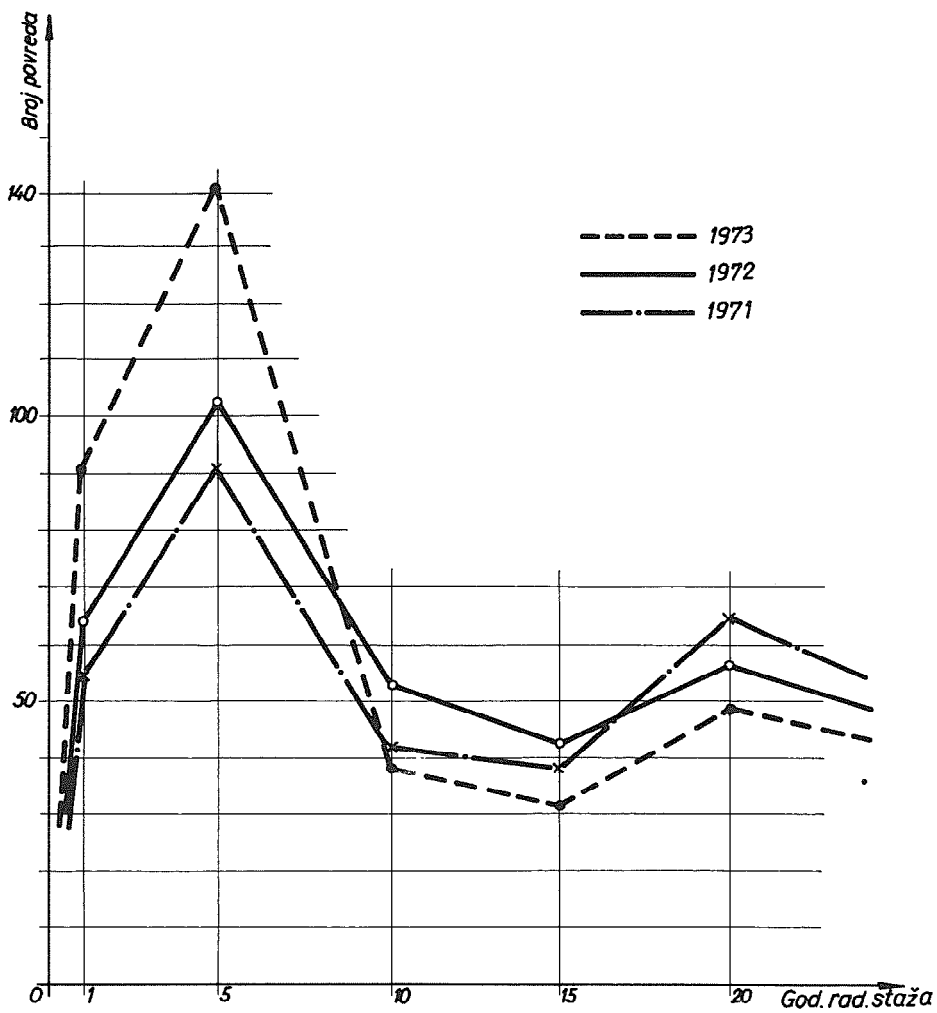
Analizirajući prikazano stanje na dijagramu, da se uočiti da postoje četiri karakteristična perioda u kojima imamo promenu kretanja broja povreda u odnosu na godine radnog staža.

1. Period do 5 godina radnog staža - karakterističan je po naglom porastu broja povreda, naročito u toku prve godine.
2. Period od 5 - 15 godina radnog staža - karakterističan je po naglom opadanju broja povreda.
3. Period od 15 - 20 godina radnog staža - karakterističan je po nešto blažem porastu broja povreda.
4. Period preko 20 godina radnog staža - karakterističan je po opadanju broja povreda.

Prema tome, dva perioda su kritična, od kojih je prvi najkritičniji.

Posledica naglog porasta povreda na radu u periodu do 5 godina radnog staža je po našem mišljenju što mladi radnici poseduju veoma oskudno znanje iz oblasti zaštite na radu kada iz stručnih škola dolaze prvi put u proizvodnju kao i to, što se svim mladim radnicima (kvalifikovanim i nekvalifikovanim), vrlo malo ukazuje na opasnosti koje ih očekuju u industrijskoj proizvodnji.

Porast povreda na radu u periodu od 15 - 20 godina radnog staža uglavnom je posledica zamora radnih ljudi, monotonije rada, slabe koncentracije na radu, jer je ovo period kada radni ljudi uglavnom rešavaju svoje životne probleme, npr. stambeno pitanje i dr.



Sl.1. Karakteristični periodi kretanja povreda u jednom većem metaloprerađivačkom preduzeću

### 3. Preventivna zaštita

Da bi se obezbedili odgovarajući preduslovi za optimalnu zaštitu u jednom industrijskom preduzeću, prvo se mora poći od faze projektovanja i konstruisanja. U ovoj fazi moraju se ispuniti zahtevi u pogledu: zaštite na radu, funkcionalnosti i efikasnosti zaštitnih naprava, sanitarno-higijenskih uslova, psihofizioloških mogućnosti čoveka i estetskog uticaja oblika i boja na čoveka.

Drugo, pri izradi tehnologije obrade moraju se sagledati i predočiti sve opasnosti koje se mogu javiti u tehnološkim postupcima obrade.

Međutim, stvarno stanje u industrijskim preduzećima, jasno nam ukazuje da se navedeni zahtevi vrlo malo ispunjavaju, jer postoji niz primera gde se nove mašine i uređaji izvode po projektima koji nisu uskladjeni sa postojećim propisima i normativima zaštite na radu. Ovaj slučaj, gotovo je uvek prisutan kod proizvoda koji se uvoze ili proizvode prema stranoj dokumentaciji.

### 4. Zaključak

Na osnovu stvarnih pokazatelja stanja zaštite na radu u industrijskim preduzećima može se zaključiti da postoje realne mogućnosti da se smanji broj povreda na radu, ako se ostvari sledeće:

- 4.1. Preventivna zaštita mora biti sprovedena u svim fazama industrijske proizvodnje.
- 4.2. Obavezno u srednjim, višim i visokim školskim ustanovama uvesti predmet-zaštita na radu, sa takvim programom da mladi ljudi u potpunosti shvate suštinu i značaj zaštite na radu.
- 4.3. Sadašnji neposredni rukovodioci u industrijskim preduzećima, trebalo bi, da kroz organizovana predavanja ili kurseve, savladaju materiju iz oblasti zaštite na radu,

radi shvatanja i davanja većeg značaja zaštiti na radu. Praksa pokazuje da u jednom pogonu čiji rukovodilac poznaje problematiku i značaj zaštite, broj povreda je znatno manji nego u drugom pogonu čiji rukovodilac nepoznaje dovoljno ili olako shvata zaštitu na radu.

- 4.4. Obavezno rešiti pitanje stručnosti kadrova u službama zaštite na radu. Da bi služba zaštite na radu mogla uspešno da izvršava zadatke, radi obezbedjenja optimalne zaštite, mora u svom sastavu da ima jednog rukovodioca sa višom ili visokom školskom spremom (poželjno inženjeri zaštite na radu), a ostali saradnici da budu najmanje sa srednjom stručnom spremom, uz obavezno poznavanje celokupne problematike zaštite na radu.
- 4.5. Rešiti pitanje podobnosti i pravilne upotrebe zaštitnih sredstava.
- 4.6. Ako se ispune navedeni predlozi i uz uslove da se reši unutrašnji transport, racionalna organizacija radnih mesta, izbor pomoćnih sredstava za radenu teškog fizičkog rada, primena odgovarajućih upozorenja na opasnost - sigurno bi se broj povreda na radu znatno smanjio.

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

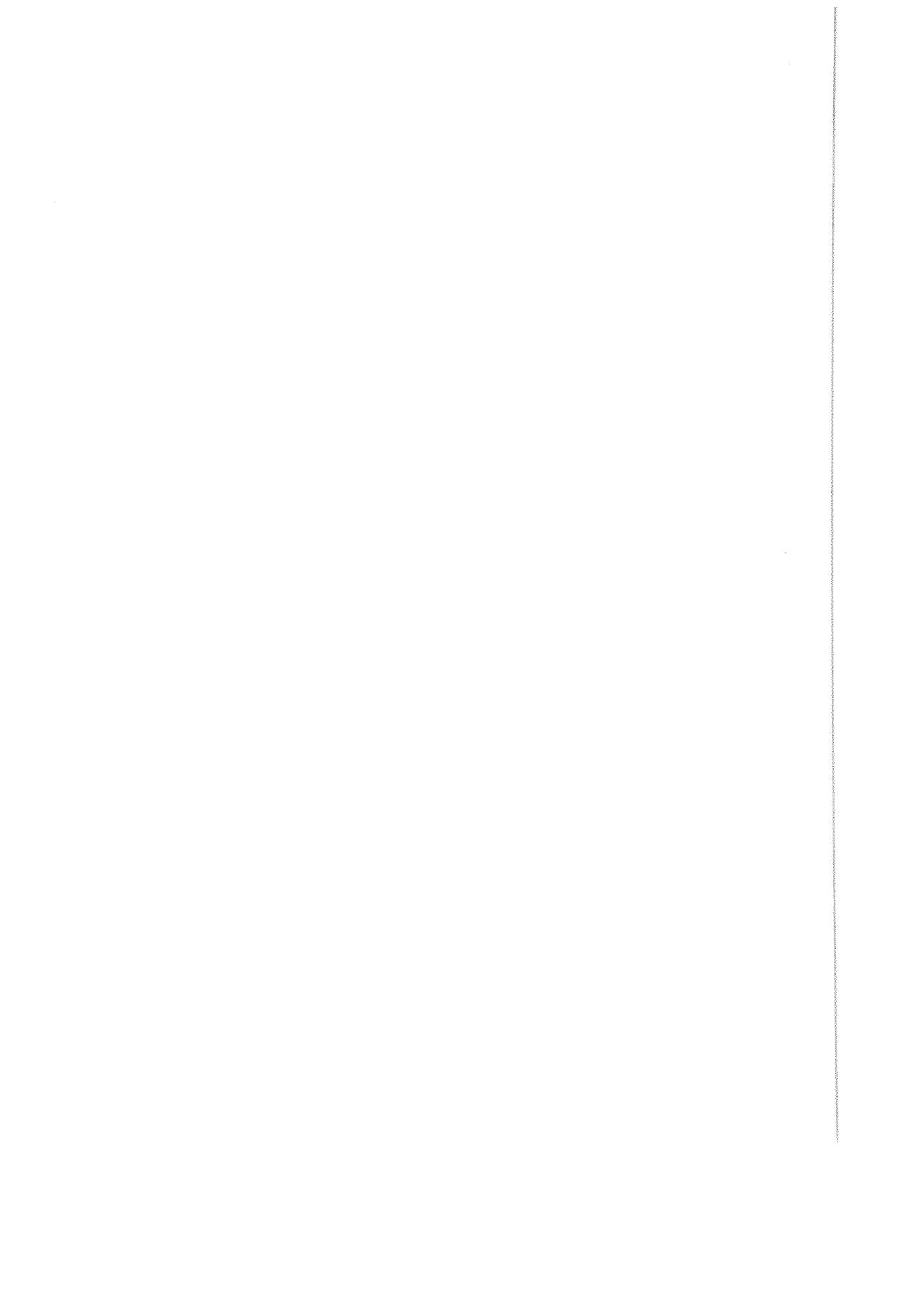
- [1] Stalna Komisija SEV-a za mašinogradnju, Preporuke tehničkih zahteva za alatne mašine u pogledu zaštite na radu, Karl-Marr-Stadt, 1965 god.
- [2] B. Mitić, Sistemi zaštite na alatnim mašinama, Niš, 1968.

S. Kerkez

SOME ASPECTS OF ACCIDENT DECREASE POSSIBILITIES IN METALWORKING INDUSTRIES

The author reviews some possibilities of accident decrease in metalworking industries with regard to the most critical periods in which the majority of accidents take place.





## IX. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NIŠ, 1974.

V. TEODOROVIĆ<sup>x</sup>

ZAŠTITA OD NAPONA DODIRA PRI UPOTREBI ALATA  
POVIŠENE FREKVENCIJE

O. UVOD

U primeni ručnih naprava u našoj industriji uobičajene su tri dopunske zaštitne mere (DZM) od nedozvoljene visokog napona dodira (NVND):

- primenom malog napona, nižeg od NVND,
- primenom sistema nulovanja, jer ta DZM je opšte uvedena u industriji,
- zaštitnim izolovanjem, jer moderne ručne naprave se tako proizvode.

Primena DZM mali napon (24 V i 42 V) zadovoljava za mala trošila (ručne svetiljke), a za veća trošila nastaju ograničenja u pogledu dometa (znatno ispod 100 metara, već u zavisnosti od snage naprave i od preseka voda).

Nulovanje se nameće i uspešno primenjuje u mrežama sa uzemljenom neutralnom tačkom u instalacijama koje su u tehničko-ekonomskom pogledu dobro odmerene i izvedene. Neutralna tačka se uzemljuje radi sprečavanja pojave napona prema zemlji višeg od 250 V. Dakle, to je potrebno u mrežama nominalnog linijskog (medjufaznog) napona višeg od 220 V. Takve su naše trofazne mreže nominalnog (linijskog) napona od 380 V, u kojima bi se, u slučaju kada nastane zemljospoj jednog faznog voda pojavio napon prema zemlji od 380 V. Za izdvojene industrijske mreže može opisano uzemljenje i da izostane. Izvedene instalacije su, međjutim praktički bez izuzetaka, sa uzemljenom neutralnom tačkom.

x

Vladislav Teodorović, dipl., inž.docent  
Mašinskog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu

ZA.3.1

Razvoj sintetičkih masa adekvatnih za zaštitno izolovanje masa omogućio je da se izbegne primena DZM zavisna od bilokakvih uslova izvan same naprave. Potrebu zaštitnog izolovanja izaziva češće nepostojanje neke druge DZM ili njeno nedovoljno efikasno dejstvo zbog nepotpunosti, neispravnosti ili zbog izbegavanja primene. Sve ovo se, praktički, ne odnosi na industrijske instalacije, jer su one u tom pogledu ipak u najboljoj kondiciji.

Osim navedenog, posebno pouzdana DZM je potrebna kod naprava koje se više nagnju smetnjama i kod naprava za više napone.

Manje poznate, ali elektrotehničkim propisima dozvoljene mogućnosti, jesu primena zaštitne strujne sklopke (na primer na gradilištima) i galvansko odvajanje jednog trošila za najteže uslove kao što su rad u metalnim posudama, skućenim prostorima, vlažnim i mokrim prostorijama [1, 2, 4].

#### 1. ELEKTROMOTORNI RUČNI ALATI MREŽNE I POVIŠENE FREKVENCIJE

Ograničena masa elektromotora i pripadajućeg reduktora u vezi sa maksimalno podnošljivim težinama ručnih alata u skladu sa uslovi-  
ma eksploatacije jeste osnovni uslov primenjivosti neke vrste elektromotora u ručnom alatu. U tom pogledu zadovoljavaju motori čije su brzine obrtanja između 10 i 30 hiljada obrtaja. Zbog toga se danas primenjuju:

- univerzalni elektromotori sa komutatorom za jednofazni priključak na uobičajanu i vrlo široko rasprostranjenu mrežu napona od 220 V (110 V do 240 V) i frekvencije 50 Hz ( $16 \frac{2}{3}$  Hz do 60 Hz),

i

- asinhroni motori sa kaveznim namotom za trofazni priključak povišene frekvencije 200 Hz ... 400 Hz.

Ručni alati sa univerzalnim motorima mogu se praktički svuda priključiti dakle je doprla elektrifikacija. Međutim, znatno su podložniji kvaru nego kavezni motori povišene frekvencije. Ovi zbog toga prodiru u modernu velikoserijsku proizvodnju koja zahteva

ZA.3.2

praktički trajnu upotrebu uz maksimalna opterećenja ili kratkotrajna ali česta preopterećenja sa minimalnim zastojsima, umerenom potrošnjom energije, uz zadovoljavajući komfor radnika.

Podložnost kvaru univerzalnih motora eliminiše iz primene ručne alate sa tim motorima svuda tamo, gde proizvodnja i proizvodnost zavise prvenstveno od ručnih alata [5]. Prilikom kvara nastaje vrlo često i opasnost po rukovaoca. To je osnovni razlog da se novi ručni alati izrađuju kao zaštitno izloveni. Tome doprinosi i njihova upotreba izvan industrije kao i visina napona greške u punom iznosu faznog napona. U zavisnosti od mesta greške, napon dodira će iznositi sve do 220 V. To je napon kome će biti izložen rukovaoc držeći alat i oslanjajući se na tlo. Jačina struje kroz rukovaoca zavisiće od odnosa napona greške i ukupne otpornosti strujnog kola, a trajanje od efikasnosti zaštitnih elemenata. Ovde se ne obradjuje problematika efikasnosti zaštitnih elemenata, njihova ispravnost, obezbedjenost za delovanje ili, uopšte, njihovo postojanje.

Kod rasprostranjenih mreža i instalacija, a takve su one napona 380 i 220 V i frekvencije 50 Hz, može struja da se zatvara i kroz izolaciju i kroz kapacitivne otpornosti. To povećava opasnost po čoveka.

Istovremenim dodirivanjem dva fazna voda čovek je izložen naponu od 380 V.

## 2. NAPONI U INSTALACIJI POVIŠENE FREKVENCIJE

U instalacijama povišene frekvencije primenjivao se ispočetka trofazni sistem 200 V i 150 Hz. Kasnije se primenjuje viša frekvencija od 200 Hz i proporcionalna viši napon od  $\frac{200}{150} \cdot 200 = 267$  V (265 V). Napon proporcionalan frekvenciji nameće se kod električnih mašina po prirodi stvari (konstantna pobudjenost). Danas se prednost daje sistemu od 300 Hz, ali napona (ponovo) od svega 200 V. Naprava za 300 Hz i 200 V može alternativno da se priključi na 200 Hz i  $\frac{200}{300} \cdot 200 = 133$  V (135 V), odnosno na polovični napon od 100 V pri polovičnoj frekvenciji od 150 Hz.

Ako se zvezdište takvog sistema od 200 V ne uzemljk, onda kroz čoveka ne može da potekne struja i ako dodirne fazni vod. Ako nastane zemljospoj prvog faznog voda, onda ne postoji uopšte nikakva opasnost pri njegovom dodiru. Dodirivanjem drugog ili trećeg faznog voda (pri zemljospoju prvog) čovek je izložen naponu 200 V.

Pri takozvanom kruto uzemljenom zvezdištu trofaznog sistema napona 200 V čovek je izložen naponu od  $200/\sqrt{3} = 115$  V u odnosu na zemlju kadgod dodirne bilo koji fazni vod. To je zaokruženo dva puta manja vrednost nego u sistemu opšte elektrifikacije gde iznosi 220 V. Pri tome se može smatrati da je opasnost još znatno manja, ako se uzmu razlike tih napona u odnosu na dozvoljeni (mada ne i bezopasni) napon dodira od 65 V ili od 50 V (rudarstvo, SAD):

$$(200 - 65) : (115 - 65) = 135 : 50 = 2,7 : 1 .$$

Instalacije povišene frekvencije mogu se izvesti i sa naponom od 42 V, ili nekim drugim (24 V, 72 V, 110 V).

### 3. UZEMLJENO ILI NEUZEMLJENO ZVEZDIŠTE SISTEMA POVIŠENE FREKVENCije

Kod sistema malog napona (24 V, 42 V) i galvanskog odvajanja jednog trošila (220 V, 380 V) zabranjeno je uzemljenje bilo kojeg pola ili tačke strujnog kola. Snaga transformatora za instalaciju malog napona određena je sa maksimalno 5 kVA, a za galvansko odvajanje jednog trošila nominalnom strujom tog trošila do maksimalno 16 A i trofaznim nominalnim naponom do 380 V. Dakle, od snage  $220 \text{ V} \cdot 16 \text{ A} = 3500 \text{ VA} = 3,5 \text{ kVA}$  za jednofazna trošila do  $\sqrt{3} \cdot 380 \text{ V} \cdot 16 \text{ A} = 10\,500 \text{ VA} = 10,5 \text{ kVA}$  za trofazna.

Snaga je u oba slučaja ograničena da bi bila zanemariva struja čije se strujno kolo zatvara kroz otpornost izolacije i kroz kapacitivnost delova pod naponom u odnosu na zemlju. Dakle, da se, osim struja kroz električno vodljive i medjusobne povezane delove, koje jednostavno kontrolišemo i nadziremo, ne bi zatvorilo kolo

struje kroz čoveka posredstvom izolacije. Kontrola, toga je neugodnija i neuobičajena.

Ukoliko je površina izolacije manja utoliko će biti manja struja koja prolazi kroz nju. Prema tome, uz ostale iste uslove, opasnije je dodirivati vod pod naponom u rasprostranjenoj mreži, nego u instalaciji ograničenog obima, kakve su po pravilu instalacije povišene frekvencije.

U vezi sa navedenim o zabrani uzemljenja pola u sistemu malog napona ili galvanski odvojenog jednog trošila autor ovog napisa smatra da nije potrebno uzemljenje zvezdišta u trofaznom sistemu povišene frekvencije linijskog napona 133 V, 200 V (i 265 V).

U takvim sistemima nije moguća primena sistema nulovanja, jer nema nultog voda, to jest (kruto) uzemljene neutralne tačke - zvezdišta i neutralnog voda koji služi kao zaštitni. Pogonsko osoblje je naviklo na takav sistem i na njegovo ponašanje. To je razlog zbog kojeg se uzemljuje zvezdište sistema povišenog napona mada ga propisi ne zahtevaju, mada se svaki zemljospoj faznog voda pretvara u kratki spoj, mada je pri svakom dodirivanju faznog voda čovek izložen faznom naponu ( $200/\sqrt{3} = 115$  V).

Prema navedenom se vidi da će u zavisnosti od toga da li je zvezdište uzemljeno ili izolovano zavisiti i postojanje i nepostojanje manje ili veće opasnosti po čoveka u slučaju dodira jednog faznog voda. U slučaju istovremenog dodira dva fazna voda čovek je neposredno izložen nominalnom naponu od 200 V (s tim da neće teći struje prema zemlji kod izolovanog zvezdišta).

#### 4. USPOREDJENJE NULOVANJA I SISTEMA ZAŠTITNOG VODA

Opšti sistem zaštite od napona dodira nameće se u zavisnosti od toga da li je zvezdište izolovano ili je uzemljeno.

Uzemljeno zvezdište povlači za sobom sistem nulovanja u kojem je bitno da je takvo zvezdište neposrednim galvanskim vezama solidnog preseka (zaštitni vod, trajna metalna konstrukcija) povezano sa

metalnim delovima naprava koji su izloženi dodiru a u slučaju kvara mogu doći pod napon. Dodir faznog voda sa takvim metalnim delovima predstavlja kratki spoj sa zvezdištem usled kojeg poteku velike struje i aktiviraju neposredne zaštitne elemente. To je vrlo jednostavna, pregledna i efikasna zaštitna mera u sistemima sa tehničko-ekonomski ispravno odmerenim vodovima. Ukoliko joj je dejstvo brutalnije (izazivajući veće struje pri kvaru) utoliko je efikasnija (zaštitni elementi brže prekidaju strujno kolo koje je u kvaru).

Trajanje reagovanja zaštite može biti za ekstremne slučajeve čak i više minuta [3]. Za to vreme traje opasnost ako nije izvedena ekvipotencijalizacija.

Za izolovano zvezdište, odnosno za sisteme bez uzemljene tačke propisi odredjuju kao DZM sistem zaštitnog voda kod koga ne može da se pojavi napon dodira, jer se kod ove DZM propisuje ekvipotencijalizacija (9.poglavlje TP 43/66 [1]). Takav sistem može da radi i sa jednim zemljospojem. Za vreme njegovog trajanja, kao što je već objašnjeno, nije opasno dodirivanje voda u zemljospoju, ali je opasnije dodirivanje ona druga dva. Ako ne postoji zemljospoj, onda po pravilu nije opasno dodirivanje bilo kojeg pola. Dakle, opasnost od napona dodira u suštini postoji samo dok traje zemljospoj. Zbog toga je propisi smatraju svrhishodnom, na primer, za pojedine radionice (t.9.22 [1]) ili dozvoljavaju samo nju prilikom primene mobilnih pomoćnih agregata (§ 53 [2]).

Pošto za vreme postojanja zemljospoja postoji opasnost po čoveka, to propisi odredjuju njegovu signalizaciju. Ona može da izostane za mobilna postrojenja snage do 25 kVA, ako je izvesno da će dvostruki zemljospoj biti eliminisan za najduže 1 sekundu (t.9.9 i 9.92 [1]).

## 5. IZBOR OPŠTEG SISTEMA ZAŠTITE OD NAPONA DODIRA

S obzirom na izneto u prethodnom poglavlju autor ovog napisa smatra da se treba odlučiti za sistem zaštitnog voda u odnosu na nulo vanje, zato:

ZA.3.6

- jer postoji opasnost samo dok traje zemljospoj,
- jer je moguć pogon i pri zemljospoju jednog faznog voda.

Treba postaviti uređjaje za signalizaciju zemljospoja pomoću jednog nadnaponskog releja visoke otpornosti između zvezdišta i zaštitnog voda. Otpornost releja tako odabrati da se ograniči struja kroz čoveka na 20 do 30 mA, ako bi ipak slučajno došlo do koincidencije zemljospoja i dodirivanja faznog voda koji nema zemljospoj. Proizvodjača treba upozoriti da se relej primenjuje u sistemu povišene frekvencije.

U prilog pravilnosti izbora izolovanog zvezdišta ukazuju i činjenice da se sistemi javne distribucije za maksimalne linijske napone do 250 V izvode na taj način (i kod nas dok su postojali). Ako se primeni nulovanje prema propisanim kriterijumima, onda treba obratiti pažnju na računanje i merenje otpornosti petlje kratkog spoja uvažavajući da fazni napon nije 220 V, nego da je manji (115 V ili 154 V ili svega 77 V).

Postojanje četkica i kliznih kolutova može da izazove smetnje kod proboja odnosno zemljospojeva ograničavajući struju kratkog spoja (produžujući na taj način njeno trajanje). Zaštita nulovanjem će biti eliminisana ako dodje do prekida nultog voda na kliznim kolutovima i četkicama, s tim da će se u daljnjem ponašati kao sistem zaštitnog voda, naravno bez znanja nadzornog osoblja.

Nezavisno od izbora opšteg sistema mogu da se primene zaštitne strujne sklopke za male struje odvoda (do 50 mA). U sistemu zaštitnog voda one će reagovati samo kada potekne struja odvoda, a to je bitno, jer kvar kroz koji nema struje odvoda nije bitan ni opasan. Takve zaštitne strujne sklopke neposredno štite od proticanja po život opasnih struja duže od 0,1 sekunde. Zaštitne strujne sklopke se mogu postaviti kao pojedinačna zaštita svake utičnice odnosno svakog alata ili za grupu utičnica.

U sistemu nulovanja dolazi u obzir i primena zaštitnih strujnih sklopki za veće struje odvoda i to kao dopuna za slučajeve kada je otpornost petlje kratkog spoja relativno velika.



## 6. O SPECIJALNIM MERAMA ZAŠTITE OD NAPONA DODIRA

Za specijalno teške uslove sa povećanom opasnošću zbog smanjene kontaktne otpornosti (metalne posude, vlažne i mokre prostorije) ili zbog skućenog prostora koji ometa slobodno kretanje mogu se primeniti isti alati kao i za normalne uslove, ali da se priključe preko transformatora za galvansko odvajanje jednog trošila [1, 2, 4]. U takvim slučajevima rada na ili u metalnoj konstrukciji treba zaštitni vod odnosno metalno kućište alata povezati sa tom metalnom konstrukcijom.

Međutim, treba upozoriti da novi nemački propisi u delu za vlažne i mokre prostorije ( § 45 [2] ) ne određuju DZM, nego samo uslove za napravu u pogledu otpornosti na vlagu i tečnosti. Takodje je interesantno da se izuzima odredba o malom naponu ili galvanskom odvajanju u slučaju rada u metalnim posudama, konstrukcijama i skućenim prostorima kada se taj rad obavlja u radionicama proizvođača [ § 33, e, 7 [2] ), pod uslovom da se obezbedi odgovarajuća sigurnost. U takvim slučajevima treba metalno kućište alata povezati sa metalnom konstrukcijom, a metalnu konstrukciju sa zaštitnim vodom radionice i na taj način sprovesti ekvipotencijalizaciju [6].

Za ručne brusilice za mokro brušenje nema izuzimanja od primene DZM mali napon ili galvansko odvajanje.

S obzirom da se alati povišene frekvencije zasada primenjuju samo u pogonima, onda problem zaštite od povećane opasnosti napona dodira postoji samo za neposredan rad sa tečnošću, kao što su ručne brusilice za mokro brušenje. U takvim slučajevima treba se odlučiti za mali napon od 42 V, postavljajući više manjih konvertora (agregata) tog napona ili jedan veći napon 200 V i više transformatora 200/42 V (svakih pedesetak met. ra) vodeći računa da ne smeju biti veći od 5 kVA.

Druga je varijanta da se primeni sistem 200 V (ili 265 V ili 133 V) i za svaki alat po jedan transformator za galvansko odvajanje. Autoru se ova varijanta čini manje pogodna nego prva (u dve alternative).

ZA.3.8

Treba napomenuti da se galvansko odvajanje jednog trošila može postići i primenom motor-generatora na koji se, naravno, priključi istovremeno samo jedno trošilo. Ovo može da bude pogodno za održavanje ili rad na terenu.

## 7. ZAKLJUČAK

Primena ručnih alata povišene frekvencije (200 ... 400 Hz) linijskog napona 133 V, 200 V i 265 V predstavlja bitno manju opasnost nego pri radu sa univerzalnim motorima za 220 V i 50 Hz:

- jer su naponi prema zemlji znatno manji ako se primeni sistem nulovanja,
- jer se smanjuje opasnost i pri direktnom dodiru faznog voda ako se primeni sistem zaštitnog voda (izolovano zvezdište),
- jer se motori ručnih alata povišene frekvencije manje kvare zbog kaveznog rotora i spoljnog hladjenja kod brusilica.

Treba preferirati sistem zaštitnog voda, jer pored pomenute prednosti bezopasnog dodirivanja jednog faznog voda (dok nema zemljospoja),

- pogon se ne zaustavlja brutalnim kratkim spojem pri zemljospoju, nego se samo signalise zemljospoj.

Mogu se primeniti zaštitne strujne sklopke za male struje odvoda za pojedinačnu ili grupnu zaštitu alata odnosno utičnica.

Prilikom rada na ili u metalnim konstrukcijama (rešetkaste, kotlovi, posude, cevi) treba izvršiti ekvipotencijalizaciju: alat - obradjivani komad - zaštitni vod radionice. Za eventualnu upotrebu u takvim uslovima na terenu primeniti galvansko odvajanje priključujući na konvertor (agregat) istovremeno samo jedan alat.

Za ručne brusilice za mokro brušenje biće verovatno povoljnija primena malog napona pomoću više konvertora (agregata) takvog napona ili konvertora (agregata) niskog napona i više sigurnosnih (zaštitnih) transformatora 42 V. Dolazi u obzir i primena galvanskog od-

vajanja jednog trošila.

## 8. SPISAK REFERENTNE LITERATURE

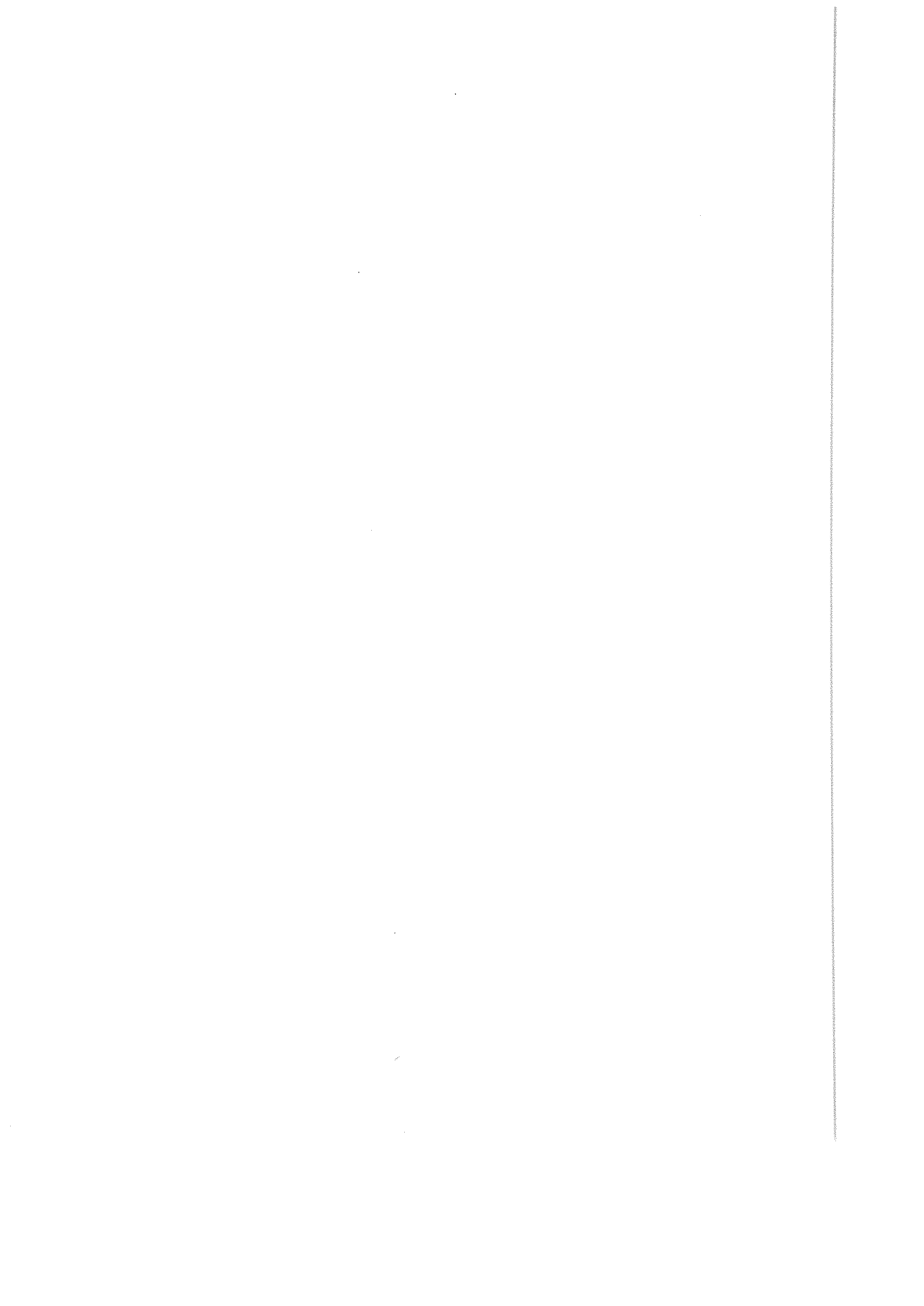
1. Tehnički propisi o izvodjenju elektroenergetskih instalacija u zgradama  
Dodatak "Službenog lista SFRJ", br.43/66 - TP 43/66
2. Bestimmungen für das Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V (Odredbe za izvodjenje jakostrujaških postrojenja sa nominalnim naponima do 1000 V)  
VDE 0100/5.73
3. V.Teodorović, O trajanjima intervencije propisanih dopunskih zaštitnih mera  
II.Savetovanje o izvorima opasnosti od električne struje i preventivnim sredstvima zaštite, Zadar, oktobra 1973.
4. V.Teodorović, Mali napon i druge zaštitne mere bez zaštitnog voda  
IX. Savetovanje proizvodnog mašinstva, Niš, 1974
5. V.Teodorović, O izboru vrste energije za ručne alate na motor-  
ni pogon  
IX. Savetovanje proizvodnog mašinstva, Niš, 1974
6. V.Teodorović, O suzbijanju opasnosti od električnog napona dodira u objektima i prostorima sa metalnim masama  
Savetovanje investicione instalacije i oprema u sklopu objekta sa modernom tehnologijom gradnje, Šibenik, oktobra 1972.

## ZUSAMMENFASSUNG

### BERÜHRUNGSSCHUTZ BEI ANWENDUNG DER HANDWERKZEUGE ERHÖHTER FREQUENZ

Für Handwerkzeuge erhöhter Frequenz ("Hoch-Frequenz", "Schnell-  
- Frequenz") sind besondere Drehstrom - Netze und Quellen notwendig. Übliche Linienspannungen sind 200 V (bei 300 Hz) und  
ZA.3.10

265 V (bei 200 Hz). Mittelpunkt muss nicht geerdet sein und dadurch ist Schutzleitungssystem und auch in Kombinationen mit Fehlerschutzschaltern zwischen Mittelpunkt und Schutzleitung möglich. Nullung, als allgemeinbekannte Berührungsschutz und Fehlerstromschutzschalter als zeitgemässe Schutzmassnahme ist geradeso analysiert. Schutzisolierung ist nicht üblich bei diese Sorten der Handwerkzeugen.



## IX. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NIŠ, 1974.

P. JEROMEN <sup>x</sup>

VARNOSTNA KRMILNA VEZJA <sup>xx</sup>

### 1. Uvod

Pri krmiljenju stiskalnic in tudi drugih naprav se večkrat postavlja vprašanje, kako zavarovati roke delavcev pred nesrečo. Skoraj vsi sistemi, ki jih rešujemo z različnimi krmilnimi tehnikami, (elektrika, mehanika, pnevmatika) bazirajo na principu uporabe obeh rok za časa trajanja ciklusa, oziroma za toliko časa, dokler obstaja nevarnost poškodbe.

Navadno zmontiramo vse elemente, ki so vključeni v dvoročnem varnostnem pnevmatskem krmilju v primerno oblikovano ohišje. Predpisi zahtevajo, da je to ohišje zaplombirano, saj le takšno lahko dobi atest Zavoda za varnost pri delu.

Pri vseh pnevmatskih varnostnih vezjih je zelo pomembna kvaliteta (pritisk, količina, stopnja naoljenosti, stopnja vlažnosti) stisnjenega zraka.

Od dobro projektiranega vezja pričakujemo, da ne da izhodnega signala prej, dokler niso izpolnjeni vsi pogoji o kvaliteti zraka.

Na vsak način moramo pri uporabi upoštevati vsa navodila proizvajalca, saj le v tem primeru lahko jamčimo za kvaliteto izdelka.

Potrebno je tudi poudariti, da morajo biti pri sistemih dvoročnega varnostnega pnevmatskega krmilja - DVKP, tasterji dovolj oddaljeni od nevarnega mesta in tudi med seboj, oziroma ustrezno zaščiteni tako, da ni mogoč vklop z eno roko.

V ta namen so najprej uporabljali serijski vklop s pomočjo dveh razvodnikov 3/2, vendar se je ta sistem pokazal kmalu za nezadostnega, saj lahko trajno

---

<sup>x</sup> mr. Franc Jeromen, dipl.ing., ISKRA Tovarna industrijske opreme Lesce

<sup>xx</sup> Standardna pnevmatska močnostna vezja - SEK - Ljubljana 1973

obremenimo en taster in delamo le z eno roko. Da bi varnost pri delu povečali, so strokovnjaki različnih firm razvili sočasne (simultane) dvoročne varnostne vklope.

Nekaj primerov bomo opisali v nadaljevanju.

## 2. DVEK - z volumnom

Dva razvodnika (tasterja) 5/2 vežemo po sliki 1 z glavnim razvodnikom 5/2 in volumnom v sistem, ki je razmeroma robusten in enostaven.

v 0-ti legi razvodnikov imamo čez vezo PB glavnega razvodnika Rc napajano minus komoro delovnega valja C. Čez zvezo A - P razvodnika  $T_1$  in vezi P - A razvodnika  $T_2$  pa volumen V.

Oglejmo si možne variante glede na raspored aktiviranja razvodnikov in vsakokratne efekte.

1.) Pritisnemo  $T_1$ ; zrak iz V uhaja čez A - P razvodnika  $T_2$  in P - B razvodnika  $T_1$  v atmosfero, dokler niso tlaki izenačeni.

2.) Pritisnemo  $T_2$ ; komprimirani zrak iz mreže bo čez A - P razvodnika  $T_1$  in P - B razvodnika  $T_2$  uhajal v atmosfero, volumen V pa se izprazni preko A - R razvodnika  $T_2$  in dalje po cevovodu 1, 2, 3 in čez S - B na  $T_1$  v atmosfero.

V tem primeru je sicer delni tlak deloval na komoro y razvodnika Rc, vendar je bil premajhen in padec tlaka prehiter, da bi zadostoval za preklap.

3.) Sočasen vklop  $T_1$  in  $T_2$ ; tlak iz volumna V se usmeri kot v primeru 2.), vendar ne more v atmosfero, ker je S na  $T_1$  zaprt in zato deluje tlak iz volumna V na y komoro (padec tlaka je minimalen) razvodnika Rc. Sledi preklap istega in gib delovnega valja C v +.

4.) Izpustimo  $T_1$ ; velja primer 2.).

5.) Izpustimo  $T_2$ ; velja primer 1.).

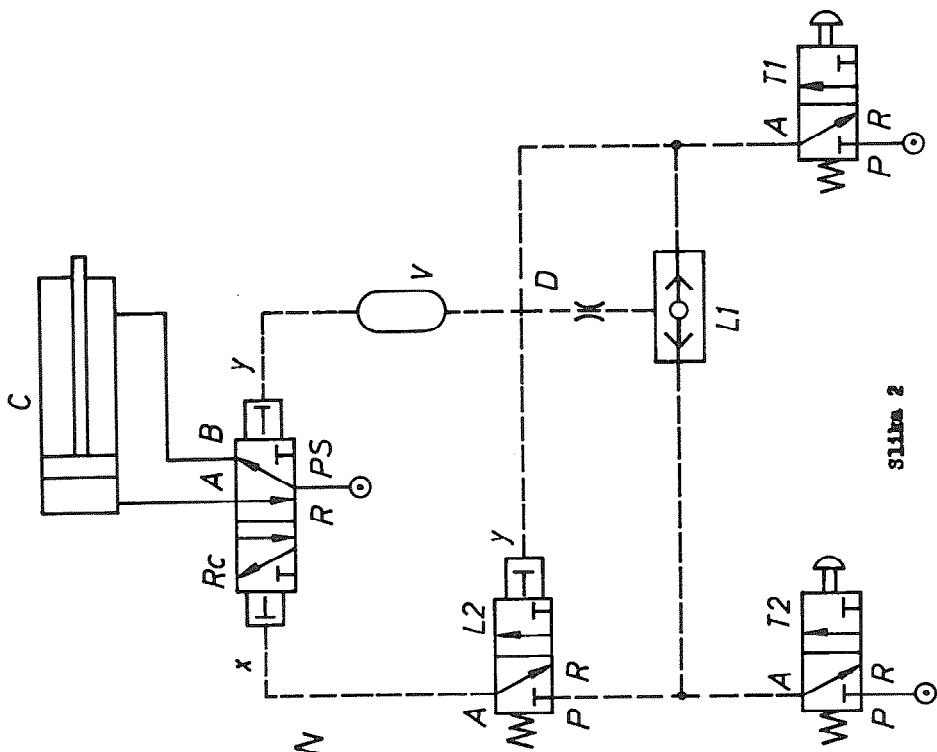
6.) Izpustimo  $T_1$  in  $T_2$ ; velja izhodni položaj.

V primerih 4.) in 6.) imamo torej isti efekt - gib batnice delovnega valja C v minus.

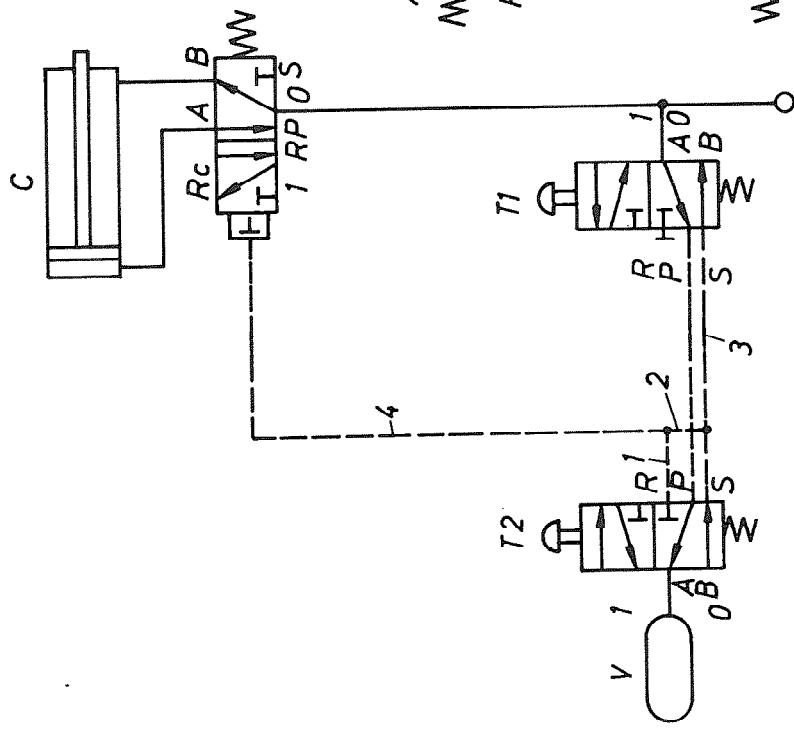
## 3. DVEK - dveh logičnih elementov

Variante:

1.) Pritisnemo na  $T_1$ ; tlak deluje čez vezo P - A na  $T_1$ , direktno na y komoro



Slika 2



Slika 1

ZA.4.3



$L_2$ , ki ne da izhoda na A, saj ni napajen ter preko  $L_1$  na dušilke, ki polni volumen V ter deluje na komoro y razvodnika Rc, s čemer le potrjuje obstoječe stanje.

2.) Pritisnemo na  $T_2$ ; tlak zraka na  $T_2$  deluje čez P - A do P na  $L_2$  in preko  $L_1$  ter dalje kot v prejšnjem primeru z enakim učinkom.

3.) Pritisnemo  $T_1$  in  $T_2$  hkrati (sočasno); izhodna impulza od  $T_1$  in  $T_2$  delujeta na  $L_2$  direktno, zato dobimo izhodni impulz A na  $L_2$ , ki deluje na x komoro Rc. Dobimo torej preklon Rc za C v plus. Če izpustimo  $T_1$  ali  $T_2$  s tem izgubimo enega izmed pogojev za delovanje  $L_2$ , ki je v bistvu logični IN-člen ter dobimo odzračeno x komoro na Rc. Zaradi dušilke med  $L_1$  in V, se tlak v veji, ki pelje na y komoro Rc zadrži še nekaj časa, kar zadostuje za preklon Rc v izhodni 0-ti položaj, posledica tega je gib delovnega valja C v minus.

Delno slava stran tega vezja je v tem, da lahko ob izpadu tlaka pri ponovnem porastu istega, delovni valj napravi gib v + brez da bi uporabili DVPK. Opisano dejstvo je lahko usodno, če ima ta čas delavec roke na nevarnem mestu naprave.

Namesto fiksne dušilke D lahko vgradimo protipovratno dušilni ventil, kar pride predvsem v poštev če realiziramo vezje s klasičnimi elementi industrijske pnevmatike, slika 2.

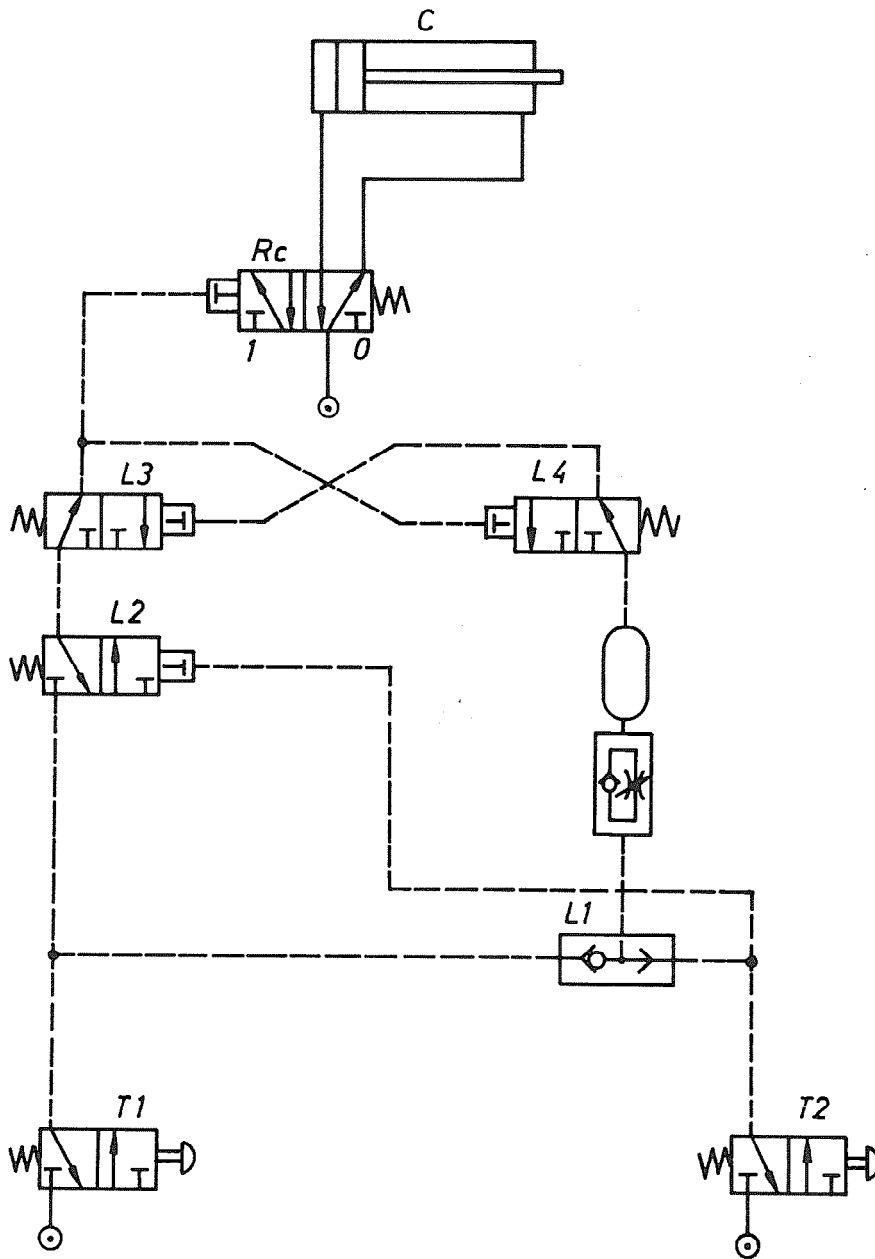
#### 4. DVPK - štirih logičnih elementov (DVPK - 4L)

Predstavlja izboljšano vezje DVPK - 2L in sicer na ta način, da ima dodana dva elementa logične funkcije negacije ter namesto glavnega razvodnika v obliki bistabilnega elementa, nastopa sedaj monostabilni glavni razvodnik. Tako izboljšano vezje ne predstavlja več nobene nevarnosti, če pride do padca tlaka.

1.) Če pritisnemo  $T_1$  ali  $T_2$ , pride obakrat do istega efekta, ki se konča na krmilni enoti  $L_3$ .

2.) Če pritisnemo  $T_1$  in  $T_2$  simultano, sledi efekt preko  $L_2$  in  $L_3$  hitreje kot preko  $L_1$  in  $L_4$ . Ta primarni efekt tudi negira izhod iz  $L_4$  ter hkrati deluje na komoro x glavnega razvodnika Rc, ki se preklopi v stanje 1, nakar sledi gib C v +.

3.) Ob izpustitvi  $T_1$  ali  $T_2$  oziroma obeh hkrati se vzpostavljenno stanje podre in C gre v minus, slika 3.



Slika 3

## 5. Uporaba

Praviloma izhodni signal iz dvoročnega varnostnega vezja uporabimo za aktiviranje glavnega razvodnika, ki direktno krmili delovni cilindri, ta pa aktivira n.pr. vzvod stiskalnice. Seveda pa lahko z izhodnim signalom sprožimo tudi začetni ciklus kake druge, bolj komplicirane naprave.

Vsa prikazana vezja je možno realizirati s poljubnimi pnevmatskimi elementi. Seveda je potrebno pri montaži upoštevati karakteristike posameznih podsklopov, tako, da je celotno vezje pravilno uglašeno. Kot dopolnilo k dvoročnemu varnostnemu pnevmatskemu krmilju bi lahko omenili možnost vključitve nožnega pedala v varnostno krmilno vezje. To varianto lahko uporabimo v primerih, kjer orodje samo ščiti roke delavca in dvoročen vklop nebi bil smiseln. V takih primerih imamo poleg tipk za dvoročen vklop prigraden še razvodnik s ključem, s katerim izbiramo način aktiviranja.

## LITERATURA

- 1 Standardna pnevmatska močnostna vezja  
SEK - Ljubljana 1973
- 2 Ziesling  
Kombinationsbuch für pneumatische Steuerungen  
Krauskopf - Verlag  
Mainz 1968

### F. Jeromen: PNEUMATISCHE SICHERHEITSTEUERUNGEN

Im Beitrag werden pneumatische Sicherheits - Steuerungen behandelt. Es sind drei Beispiele gegeben und ihre Vor - beziehungsweise Nachteile diskutiert.

## IX. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NIŠ, 1974,

D. VELIČKOVIĆ\*

BUKA NA MAŠINAMA ZA OBRADU REZANJEM I MERE  
ZA NJENO ODKLANJANJE\*\*

Buka stvorena na alatnim mašinama može da bude veoma jaka, pa je i radionica gde je postavljen veći broj alatnih mašina veoma bučna, pa se često čuje i u okolini zgrade. Ako ispitamo buku u jednoj hali sa alatnim mašinama, doći ćemo do zaključka da buka ne nastaje pri neposrednom procesu rezanja već se najviše stvara na prenosima samih mašina na zupčanicima. To znači da prilikom razvoja i rada na poboljšanju alatnih mašina, treba imati u vidu proučavanje buke koja se stvara na ovim mašinama i razradu metoda za njeno smanjivanje.

Motori obično imaju veliki broj obrtaja, zbog čega su neophodni prenosnici i to obično sa zupčanicima za smanjivanje broja obrtaja. Zupčanicí imaju dobar stepen korisnog dejstva, a pouzdani su i za neprekidni pogon. Medjutim, zupčanici imaju veliki nedostatak u pogledu buke i zbog toga se često izbegavaju.

Velika buka na mašinama se često smatra normalnom pojavom, dok se buka na prenosnicima smatra kvarom jer je obično posledica pohabanosti delova. Buka mašina se obično može smanjiti prigušivačima, a i smanjivanje buke transmisija ovim sredstvima je samo privremeno rešenje. Zvučna izolacija kod prenosnih mehanizama se obično ne može izvesti u potpunosti, prema tome stvaran problem kod njihovog konstruisanja ne leži u izbegavanju lomljenja ili habanja zuba već u stvaranju prenosa bez buke.

Teškoće pri smanjivanju buke prenosnog mehanizma proističu otuda, što se eksperimentalni rezultati koji su dobiveni na idealnim strugovima, na idealnim eksperimentalnim

---

\* Dragan Veličković, dipl. inž., honorarni predavač Fakulteta zaštite na radu Univerziteta u Nišu

\*\* Saopštenje Fakulteta zaštite na radu - Niš

parovima zupčanika ne mogu primenjivati na raznim strugovima u serijskoj proizvodnji koji često rade sa velikim obimskim brzinama.

Eksperimentalni rezultati se ne mogu primenjivati u praksi, jer su parametri i faktori od kojih potiče buka prenosnog mehanizma veoma raznoliki. Mnogobrojni različiti parametri koji su međjutim u međusobnoj funkcionalnoj zavisnosti, zavise od rezonantnih osobina ugrađenog pogonskog mehanizma. Ovo se mora imati u vidu pri ispitivanju buke. Pri merenju buke pogonskih mehanizma kao i kod ostalih merenja buke primarni je zadatak a i cilj merenja, da se pronadje uzročnik vibracija i impulsa koji stvaraju buku. Posle određivanja uzročnika buke, treba preduzeti proizvodno-tehnološke **intervencije**, da bi se otklonili uzroci.

Interesantni su rezultati koje su dobili pojedini istraživači i prema kojima nivo buke pogonskih mehanizma ne zavisi toliko od apsolutne greške ozubljanja zupčanika, već više od malih grešaka, koji se periodično ponavljaju.

Na osnovu velikog broja merenja, i iskustava svaki autor predlaže najtačniju moguću izradu zupčanika u cilju postizanja glatkog hoda a time i male buke.

Zubi se uvek razlikuju od idealnog oblika zuba. Zbog ovih odstupanja zupčanici se ne okreću ravnomerno. Prvi zupčanik se čas ubrzava a čas usporava, a isti je slučaj i sa drugim zupčanikom u zavisnosti od toga da li se zbir odstupanja zubaca povećava ili smanjuje. Zbog svog momenta inercije zupčanik se suprostavlja ubrzavanju ili usporavanju. Zbog toga na zupce zupčanika deluju sem stalnih statičkih sila i promenljive sile. Ove promenljive sile su još povećane zbog elastičnosti zuba.

Sila trenja je takodje promenljiva sila.

Zupci, koji su istovremeno u zahvatu, klize po spojnim površinama. Sila trenja se javlja najviše zbog promene smera klizanja. Ove promene sila su nepravilne zbog nepravilnosti ozubljanja, ali pokazuju izvesnu periodičnost.

Više ili manje periodično promenljive sile stvaraju pulsirajuća dinamička naprezanja zupčanika i stvaraju vibracije u njima, kao i osovinama, a često zatreperi - kao rezonantna kutija - i sam oklop mehanizma a time se stvara buka sa najrazličitijim spektrom.

Na osnovu gore iznetog, da se zaključiti, da su buka i dinamičko naprezanje zupčanika međusobno zavisni. Sa povećanjem naprezanja zubaca povećava se jačina promenljivih sila, a sa tim obično i buka.

Identične, periodično promenljive sile međjutim, stvaraju različitu buku za razne prečnike i oblike zupčanika, ako su različiti elastičnost i čvrstoća upotrebljenih materijala.

Oscilacije zupčanika, osovina, kao i prenosnih mehanizama, što je ustvari izvor buke, možemo zamisliti delom kao sopstvene oscilacije zbog nepravilnih udara, a sa druge strane i kao prinudne oscilacije zbog rezonancije.

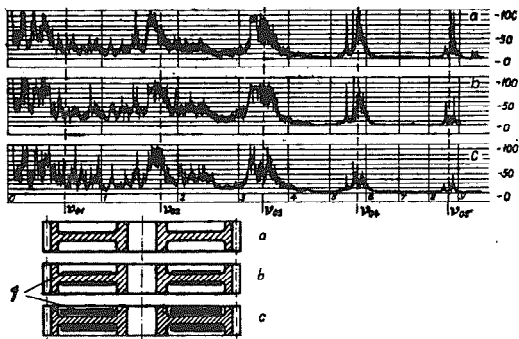
Prema tome smanjivanje buke zupčanika možemo postići na dva načina:

- a) smanjivanjem jačine promenljivih sila,
- b) smanjivanjem uticaja onih sila koje stvaraju oscilacije zupčanika i osovina.

Jačina promenljivih sila se može smanjiti smanjivanjem obimskih brzina zupčanika, kao i smanjivanjem naprezanja zubaca. Ako se ovo ne može ostvariti zbog konstruktivnih okolnosti, treba povećati tačnost obrade zupčanika, što takodje smanjuje promenljive sile.

Uticaj promenljivih sila na amplitudu oscilacije zupčanika i osovina možemo smanjiti i promenom elastičnosti i čvrstoće ovih elemenata, pogodnim izborom materijala.

Celishodna je primena materijala sa velikim unutrašnjim trenjem za izradu zupčanika. Primenom modernih plastičnih masa mogu se rešiti mnogi problemi buke. Često se mogu postići rezultati i prigušivanjem oscilacija elemenata (sl.1).



Sl. 1

Frekvencijski spektar buke zupčanika sa raznim prigušivačima

- a - bez prigušivača
- b - sa malim prigušenjem
- c - sa debelim slojem prigušivača
- 1 - materijal sa velikim unutrašnjim trenjem  
(guma, olovo)

Rezultati merenja i ispitivanja, pokazuju da najveću buku stvaraju zupčanici sa većim prečnicima. Prema tome, pre svega se treba baviti prigušivanjem buke ovih zupčanika.

Pored konstruktivnih rešenja izbor podesnih maziva igra takodje važnu ulogu. Sem dodatnih šumova zbog razaranja nepodmazanih delova, mazivo igra važnu ulogu i kao jak prigušivač. Mazivo prigušuje impulse po liniji spajanja.

Buka prenosnih mehanizama koji se podmazuju potapanjem, zavisi od visine nivoa ulja kao i od njegove viskoznosti. Osetno povećanje buke se primećuje smanjivanjem viskoznosti maziva. Ovo se objašnjava manjom hidrodinamičkom otpornošću redjih ulja.

Kod razvoda prenosnih mehanizama primenjuju se redja ulja zbog postizanja većeg koeficijenta korisnog dejstva. Ponekad se mddjutim, u cilju bezšumnog hoda pribegava kompromisu i primenjuje mazivo veće viskoznosti.

Prilikom konstruisanja prenosnih mehanizama sa zupčanicima preporučuje se primena malih modula radi postizanja bezšumnog rada, ako to dozvoljava otpornost zubaca. Dosadašnji eksperimenti potvrđuju ovakav uticaj malih modula - sem u oblasti malih opterećenja.

Mišljenja stručnjaka se takodje podudaraju u tome, da se povećavanjem ugla zakošenja zubaca smanjuje buka zupčanika.

Konstruktori moraju obratiti posebnu pažnju izvedbi prenosnog mehanizma, jer zbog relativno velikih površina u slučaju rezonance postaje intenzivni izvor zvuka. Treba izbegavati oblikovanje koje stvara pogodne uslove za stvaranje rezonantnih vibracija, i treba koristiti sve mogućnosti za prigušivanje i izolaciju pomoću kućišta.

Radi izbegavanja rezonance velike pločaste površine treba ukrutiti rebrima, ali ne nasumice, već na osnovu brižljivih dimenzionisanja i to tako, da veliku vibrirajuću površinu podelimo na mnogo malih površina sa različitim sopstvenim rezonantnim učestanostima, koje će medjusobno sprečavati stvaranje rezonance.

Naravno, pre svega treba smanjiti nivo buke, koja se stvara u unutrašnjosti kućišta a time se može uticati i na pojavu odbijanja. Ukopan nivo buke u unutrašnjosti kućišta može se donekle smanjiti i unutrašnjom oblogom koja apsorbuje zvuk. U praksi je medjutim izbor materijala za ovu oblogu veoma ograničen zbog prljanja uljem i zbog tehnoloških problema.

U pogledu izolacije zvuka povoljnija su čelična i livena kućišta debelih zidova, jer se sposobnost zvučne izolacije zida povećava sa težinom po jedinici površine. Ovo je u suprotnosti sa željom da se smanji težina konstrukcije što se obično postiže smanjivanjem debljine zidova. Veoma je važan i način učvršćivanja pogonskog mehanizma koji čini samostalni oscilatorni sistem, kako bi se smanjilo pobudjivanje ostalih delova mašine.

Prostiranje vibracije po telu mašine se može smanjiti i pravilno postavljenim potporama od odgovarajućeg materijala. Za sprečavanje prostiranja zvuka po konstrukciji pogodni su na primer: guma, pluta, filc itd.



## PRISUŠIVANJE BUKE KOD AUTOMATSKIH REVOLVERSKIH STRUGOVA

Za karakterističan primer obradićemo problem buke i njeno otklanjanje na automatskom revolverskom strugu. Ovi strugovi su veoma rasprostranjeni u masovnoj i serijskoj obradi materijala. Obično se postavljaju u jednu radionicu sa malim ras-  
tojanjima, da bi se što racionalnije iskoristio prostor.

Ovde ćemo obraditi nekoliko metoda za smanjivanje nivoa buke koje su razradjene na osnovu eksperimenata.

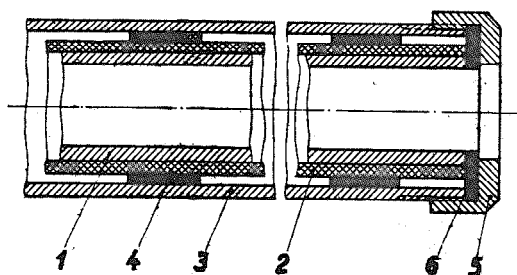
Mnogobrojni eksperimenti do sada nisu urodili očekivanim plodom. Medjutim, značajni rezultati su postignuti na automatima kod kojih cev za uvođenje ima dva zida, a medju-  
prostor je napunjen uljem ili peskom. Cev može da se obloži i drvenom oblogom a smanjivanje vibracija uvodnih cevi može da se postigne i pogodnim postavljanjem oslonaca - podmetača.

Ovi pokušaji su značajni i dali su izvesne rezultate pa ih svakako i dalje treba usavršavati.

Kod revolverskih strugova sa uvodnom cevi najveća buka se ne stvara obradom materijala, već od vibracije materijala u cevi kao i vibracije zategnutih žica za uvođenje materijala. Šipka koja se obradjuje, okreće se u cevi velikim brojem obrtaja i usled učestalih udaraca o zidove uvodne cevi stvara se visokofrekventna buka velike jačine. Buka koja se stvara na ovim cevima obično je izmedju 90 i 98 dB u spektru visokih frekvencija, a buka koja bi se stvarala samom obradom nije veća od 72-78 dB.

Buka koja se stvara na automatskim revolverskim strugovima sa uvodnim cevima tipičan je primer onih slučajeva, gde buka ne potiče od samog tehnološkog procesa već se stvara na nekom pomoćnom uređaju. U pogledu smanjivanja buke ovo je srećna okolnost, te se ne mora uticati na rad komplikovanog uređaja automatskog struga, nego u svim slučajevima gde je buka od uvodne cevi za 8-10 dB veća od buke same mašine, možemo se baviti samo smanjivanjem buke uvodne cevi.

Na strugovima gde se materijal za obradu pomera pomoću steznih čaura, smanjenje buke je jednostavnije nego kod mašina gde se materijal pomera potisnim šipkama i čeličnim šipkama pomoću tegova.



Sl. 2

Smanjivanje buke na uvodnoj cevi revolverskog struga

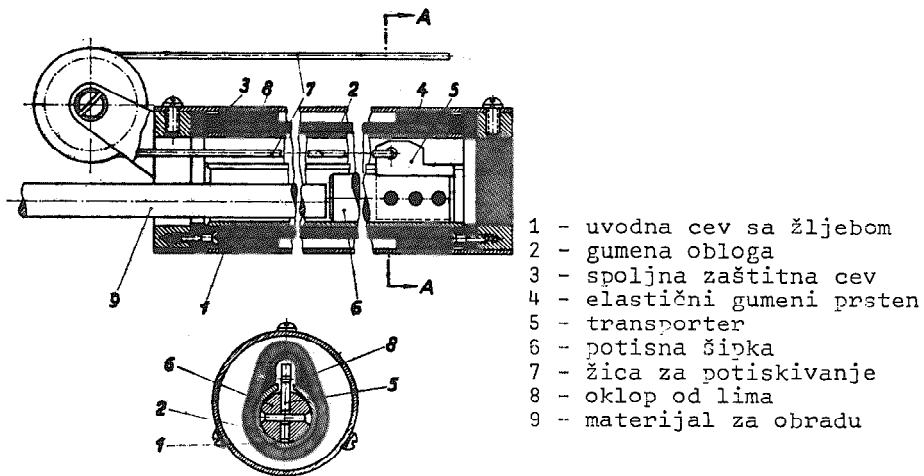
- 1 - uvodna cev
- 2 - guma namotana ili vulkanizirana na uvodnu cev
- 3 - spoljna zaštitna cev
- 4 - elastični gumeni prsten
- 5 - poklopac sa navojem
- 6 - gumena ili kožna podloška

Na sl.2 prikazana je konstrukcija cevi koja je pogodna za smanjivanje vibracije i buke. Oko uvodne cevi (1) postavlja se gumena obloga od gumene trake (2), čija debljina treba da je 4-6 mm. Zbog veće efikasnosti smanjivanja buke i radi zaštite cevi od mehaničkih oštećenja uvodna cev sa gumenom oblogom se postavlja u jednu veću metalnu cev (3). Ovu zaštitnu cev odvajamo od unutrašnje cevi vazdušnim zazorom od 3-5 mm, razmak se drži mekanim gumenim čaurama (4). Cev je zatvorena maticom (5), ispod koje je postavljena gumena ili kožna podloška koja služi za zaštitu gumene obloge, čime se povećava efikasnost prigušivanja buke .

Na strugovima gde se materijal pomera potisnom šipkom i žicom, može se primeniti cev za uvođenje prema sl.3.

Uvodna cev (1) po celoj dužini ima žljeb. Iznad ovog žljeba treba zavariti poklopac od lima koji je savijen. U cevi se pomera potisna šipka (6) sa ispustom (5) a zategnuta žica (7) smeštena je u prostoru koji je ograničen poklopcem. Ploča koja je zavarena za žljeb, povećava presek cevi i čvrstoću, a smanjuje vibracije i buku.

U raznim fabrikama izvršena su merenja smanjivanja buke pomoću ovakve konstrukcije, a rezultati tih merenja pokazuju da se buka na taj način smanjuje za 10-15 dB. Pored ovog

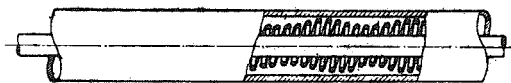


- 1 - uvodna cev sa žljebom
- 2 - gumena obloga
- 3 - spoljna zaštitna cev
- 4 - elastični gumeni prsten
- 5 - transporter
- 6 - potisna šipka
- 7 - žica za potiskivanje
- 8 - oklop od lima
- 9 - materijal za obradu

Sl. 3

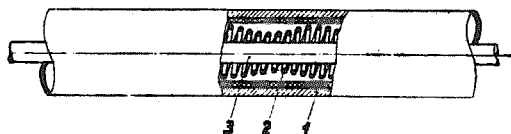
Smanjivanje buke na uvodnoj cevi revolverskog struga sa potisnom šipkom smanjivanja značajno je i to da se ovim konstrukcijama menja i spektralna karakteristika buke i to: smanjuje se visokofrekventni deo buke, koja najviše zamara i najviše nervira radnika. Ovaj nivo buke se smanjuje za 20-30 dB.

Manje efikasne ali uočljive rezultate daje i opruga sa promenljivim prečnikom, koja se postavlja u uvodnu cev (sl. 4 i 5). Buka se može smanjiti i dvostrukom uvodnom cevi gde je prostor između njih ispunjen uljem ili peskom (sl.6). U pogledu smanjivanja buke i za prigušivanje vibracija uvodnih cevi, pored gume i specijalnih plastičnih masa najbolji materijal je pesak.



Sl. 4

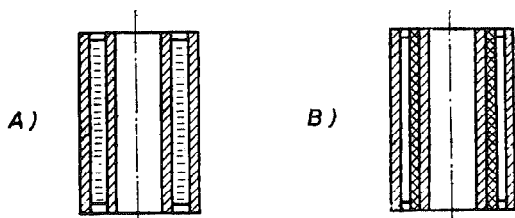
Uvodna cev sa uloškom od spiralne opruge promenljivog prečnika



Sl. 5

Uvodna cev sa uloškom od spiralne opruge sa promenljivim prečnikom i gumenom oblogom

- 1 - uvodna cev sa gumenom oblogom
- 2 - čelična opruga
- 3 - materijal za obradu



Sl. 6

Izgledi jednostavnih uvodnih cevi sa dvostrukim zidom

- a - punjene uljem
- b - punjene gumom i suvim peskom

#### ZAKLJUČAK

Buka na alatnim mašinama predstavlja problem koji se savremenim tehničkim mogućnostima i metodama može efikasno otkloniti.

Rešenje treba tražiti u tehničkim metodama, otklanjanjem buke na njenom izvoru, na onim mestima i delovima alatne mašine gde buka nastaje.

Iz izlaganja se jasno da uočiti da primarna tehnologija na alatnoj mašini ne stvara prekoračenje buke iznad dozvoljenih granica. Ova, tehnološka buka, skoro uvek je u dozvoljenim granicama. Međutim, buka pratećih tehnoloških procesa u većini slučajeva je iznad dozvoljenih granica. Zato, rešavanje problema buke na alatnim mašinama treba usmeriti na konstruktivna rešenja, na mestima gde ona nastaje, na njenim izvorima i to pretežno na mestima koja predstavljaju prateće tehnološke procese.

## Literatura

1. Lärmbekämpfung  
Autorenkollektiv, Leitung W.Schirmer  
Verlag Tribüne  
Berlin 1971.
2. Borba s šumom i vibracij v mašinstroenii  
S.P. Alekseev  
Izd. Mašinstroenie Moskva 1970.
3. Bruéts et vibrations  
INSA - Pariz 1966/69.
4. Lärmbekämpfung in der Industrie  
Izd. Zent.für Arbeit, Drezden 1966.

D.Veličković

### LE BRUIT SUR DES MACHINES POUR LA TRANSFORMATION PAR LE COUPAGE ET LES MESURES POUR LA PREVENTION DU BRUIT

L'oeuvre comporte des problèmes concernant le bruit sur les machines pour la transformation par le coupage, qui, comme c'est déjà connu, a un mauvais effet sur le producteur. On constate que le niveau du bruit crée par les mécanismes portatifs est plus haut que celui crée dans le processus de la transformation. Dans ce sens, on fait remarque sur des principes qui doivent servir aux constructeurs des mécanismes portatifs pour la réduction du bruit sur ces mécanismes.

Par l'exemple de résolution du problème cité sur les scies automatiques, on fait remarque aussi, qu'on peut résoudre ce problème avec le succès sur n'importe quelle machine.



