

ORIGINALNI NAUČNI RAD

Vasić S., Todić V., Banjac D. \*

AUTOMATIZOVANI SISTEM OPTIMIZACIJE PROCESA  
OBRADJE OBIMSKOG GLODANJA

Rezime

*U radu je prikazan automatizovani sistem unutrašnje optimizacije za proces obrade obimskim glodanjem, koji je razvijen i prilagodjen za korišćenje personalnog računara. Isto tako, u radu je pokazana mogućnost korišćenja ovog automatizovanog sistema za spoljašnju optimizaciju procesa obrade obimskim glodanjem.*

AUTOMATIC OPTIMIZATION SYSTEM OF PERIPHERAL  
MILLING PROCESS

Summary

*In the paper the automatic system of internal optimization for peripheral milling process is described. The system is developed and adopted for a personal computer using. The possibility of using this automatic system for external optimization of the peripheral milling process is shown in the paper as well.*

1. U V O D

Svaki deo nekog proizvoda, sklopa ili podsklopa može se oblikovati nizom različitih obradnih procesa, pri čemu za svaku fazu tehnološkog procesa postoji mogućnost izbora različitih varijanti operacija. To znači da za realizaciju tehnološkog procesa postoji mogućnost izbora različitih redosleda operacija, mašina alatki, alata, pribora i merila. U okviru

\*Vasić Siniša, dipl.ing., asistent, Todić dr Velimir, dipl.ing., asistent, Banjac mr Dragan, dipl.ing., predavač, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 NOVI SAD, Vladimira Perića-Valtera 2.

svake operacije, opet, postoje mogućnosti izbora različitog redosleda zahvata i uslova njihovog izvodjenja. Ova viševarijantnost tehnoloških rešenja u većini slučajeva ima za posledicu neracionalna izabrana rešenja (pogotovo u uslovima konvencionalne tehnološke pripreme proizvodnje). Da bi se postigli maksimalni tehnoeкономski efekti mora se izabrati u svim fazama projektovanja tehnoloških procesa najpovoljnija varijanta iz niza mogućih. Zadatak tehnoeкономске optimizacije je izbor optimalne varijante priprema, alata, mašine, pribora, optimalne geometrije alata, optimalne strukture pojedinih operacija, redosleda operacija itd.

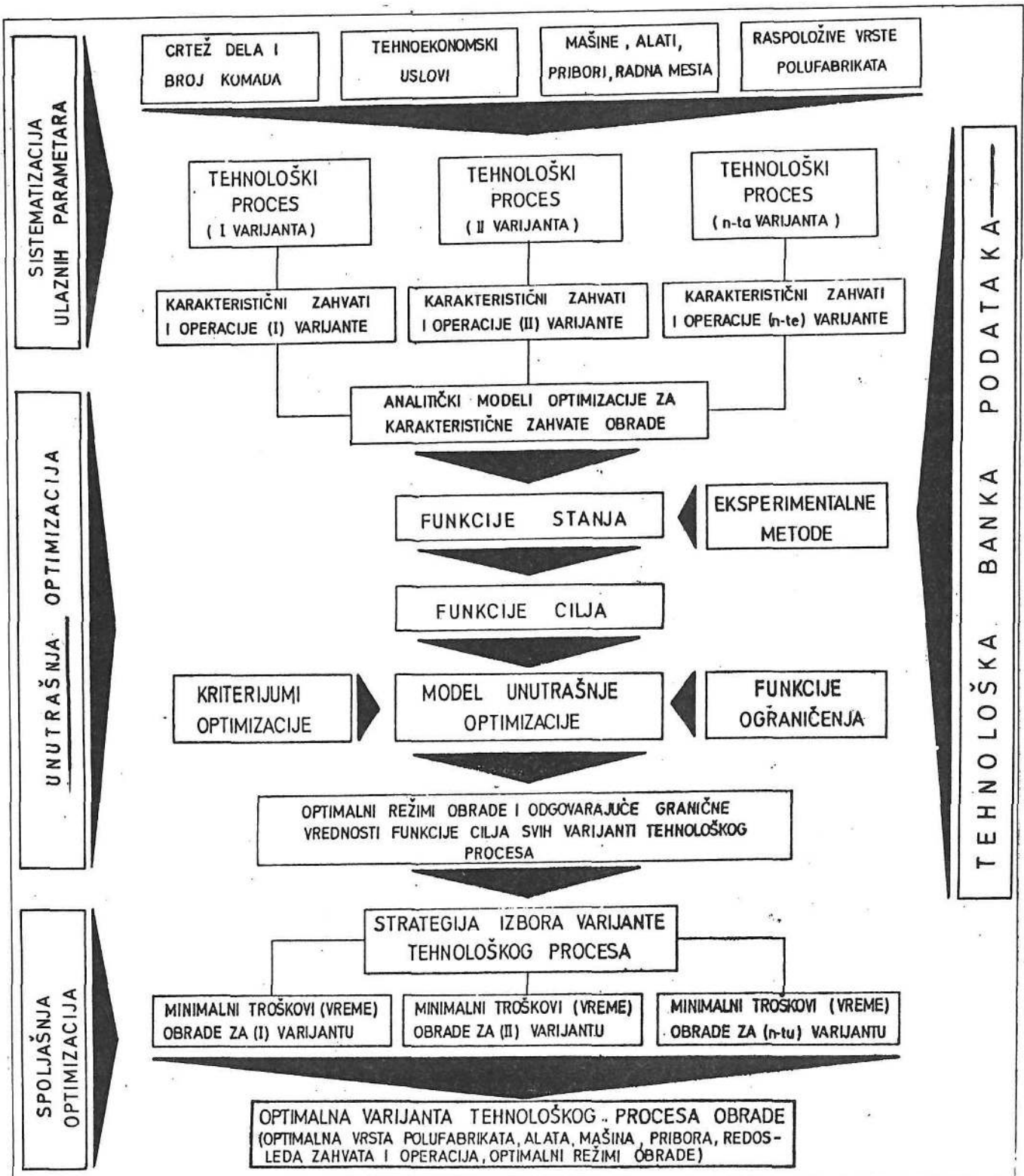
Tehnoeкономска optimizacija omogućava dakle, da se iz mnoštva alterativnih rešenja kako za pojedine delove obradnih procesa, tako i za tehnološke procese kao celine, odredi najpovoljnija varijanta.

Metodologija tehnoeкономске optimizacije obradnih procesa obuhvata |1,5,8,9|:

- unutrašnju optimizaciju, koja se direktno odnosi na optimizaciju uslova obrade i režima rezanja i
- spoljašnju optimizaciju, koja je najvećim delom povezana sa izborom optimalne varijante obradnog procesa, optimalnih elemenata obradnog sistema, strukture tehnološkog procesa itd.

Za odredjivanje optimalne varijante obradnog procesa mogu se, prema slici 1., primeniti analitički modeli unutrašnje i spoljašnje optimizacije, čiji se osnovni zadatak svodi na odredjivanje optimalne vrednosti funkcije optimizacije projektovanih varijanti tehnoloških rešenja. Ako se primenom merodavnih funkcija optimizacije izvrši unutrašnja optimizacija pojedinih varijanti obradnih procesa čiji se matematički modeli baziraju na pouzdanim funkcijama stanja, moguće je izabrati optimalnu varijantu, odnosno, izvršiti spoljašnju optimizaciju.

Zbog navedenog se u radu iznose delovi istraživanja koji se odnose na savremeni model automatizovane optimizacije procesa obrade glodanjem.



Slika 1. Dijagram toka odredjivanja optimalne varijante tehnološkog procesa obrade /1/

## 2.0. RAZVOJ MATEMATIČKOG MODELA OPTIMIZACIJE PROCESA OBRADE OBIMSKIM GLODANJEM

Za razvoj i primenu usvojenog koncepta analitičke optimizacije procesa neophodno je razviti (definisati) osnovne elemente matematičkog modela: funkcije stanja i ograničenja i funkcije cilja.

### 2.1. Sistematizacija zahvata

Zadatak koji se postavlja pred tehnoekonomsku optimizaciju obrađanih procesa sadrži, između ostalog i zahtev za iznalaženjem onih uslova obrade pri kojima su troškovi obrade ili vreme obrade najmanji. Za ovo je potrebno razviti analitičke modele optimizacije za pojedine karakteristične zahvate koji bi omogućili kako unutrašnju, tako i spoljašnju optimizaciju [1,8,9].

Da bi se razvili analitički modeli i unutrašnje i spoljašnje optimizacije procesa obrade obimskim glodanjem potrebno je najpre analizirati i sistematizovati najčešće (karakteristične) zahvate koji se pojavljuju u ovom procesu obrade, što je izvršeno i prikazano na slici 2.

### 2.2. Funkcija stanja procesa

Razvoj jedinstvenog analitičkog modela unutrašnje optimizacije obimskog glodanja zasnovanog na karakterističnim zahvatima zahteva analizu da li za sve sistematizovane zahvate važi ista funkcija stanja procesa.

Proces obrade glodanjem je vrlo složen proces koji se ne može opisati opštim pouzdanim matematičkim modelom. Zbog toga se pokušava da se raznim adaptivnim metodama (merenjem habanja, temperature, komponenti sila rezanja, vibracija itd) što realnije identifikuje stanje procesa. Medjutim, zbog često nepremostivih teškoća koje se pri tome javljaju, modeli optimizacije procesa obrade rezanjem najčešće se zasnivaju na poznavanju funkcije stanja procesa u vidu pouzdanih funkcija postojanosti alata.

Za alate za obradu glodanjem funkcija postojanosti se izražava izrazom:

$$T = \left( \frac{C_v \cdot D^i}{v \cdot s_z^y \cdot \delta^x \cdot b^q \cdot z^u \cdot \epsilon^w} \right)^{1/m} \quad (1)$$

SKICA ZAHVATA	NAZIV KARAKTERISTIČNOG ZAHVATA
	Gruba obrada valjkastim glodalom Završna obrada valjkastim glodalom
	Glodanje koturastim glodalom
	Glodanje ugaonim jednostranim glodalom
	Glodanje ugaonim simetričnim glodalom
	Glodanje ugaonim dvostranim glodalom
	Glodanje polukružno ispupčenim glodalom
	Glodanje polukružno udubljenim glodalom
	Glodanje četvrtkružnim udubljenim glodalom
	Glodanje ožljebljenja koturastim glodalom
	Glodanje ozbuljenja modulnim koturastim glodalom
	Glodanje testerastim glodalom
	Glodanje specijalnim profilnim glodalom
	Kopirno glodanje obimom vretenastog glodala
	Glodanje snopom glodala

Slika 2. Karakteristični zahvati procesa obrade obimskim glodanjem /9/

gde su:

D - prečnik glodala

v - brzina rezanja

$s_z$  - pomak po zubu

$\delta$  - dubina rezanja

b - širina rezanja

z - broj zuba glodala

$\epsilon$  - ugao nagiba zavojnice glodala

$C_v, i, m, x, y, q, u, w$  - konstante zavisne od materijala

Iz gornjeg izraza se vidi da funkcija stanja (postojanost) zavisi od konstruktivnih karakteristika alata, režima rezanja i vrste i karakteristika obradivanog materijala. Svaki od zahvata prikazanih na slici 2. karakteriše se konstruktivnim parametrima samog alata (D, b, z,  $\epsilon$ ) i režimima rezanja (v,  $s_z$ ,  $\delta$ ) koje obuhvata i funkcija stanja procesa (1).

Na osnovu pouzdane funkcije postojanosti oblika (1) moguće je definisati merodavne funkcije cilja i primenom razvijenog automatizovanog sistema optimizacije vršiti optimalno upravljanje procesima obimskog glodanja.

### 2.3. Funkcija cilja

U modelima unutrašnje optimizacije obradnih procesa ključno mesto pripada ekonomskim kriterijumima optimizacije kao što su proizvodnost, ekonomičnost i rentabilnost. Troškovi i vreme obrade, kao ekvivalenti ekonomičnosti i proizvodnosti, definišu ekonomski smisao proizvodnje, te se u postupcima tehnoekonomske optimizacije koriste kao funkcije cilja. U radovima /8,9,10/ su razvijene i objašnjene funkcije vremena zahvata ( $t_z$ ) i troškova zahvata (U), što je u daljim istraživanjima korišćeno za razvoj automatizovanog sistema optimizacije procesa obimskog glodanja.

U radu je za funkciju cilja uzeto vreme zahvata, tj:

$$t_z = \frac{\{1 + |\delta(D - \delta)|^{1/2}\} \Delta \cdot \pi \cdot D}{v \cdot s_z \cdot z \cdot \delta} \left| 1 + \left( \frac{v \cdot s_z^y \cdot \delta^x \cdot b^q \cdot z^u \cdot \epsilon^w}{C_v \cdot D^i} \right)^{1/m} \cdot t_1 \right| + t_p + t_d + \frac{T_{pz}}{Z_k} \quad (2)$$



gde su:

- $\Delta$  - ukupan dodatak za obradu
- $t_1$  - vreme zamene i regulisanja alata na mašini
- $t_p$  - pomoćno vreme
- $t_d$  - dodatno vreme
- $T_{pz}$  - pripremno završno vreme serije koje zahteva zauzetost mašine, svedeno na posmatrani zahvat
- $Z_k$  - broj obradaka u seriji

#### 2.4. Funkcije ograničenja

Funkcije koje uspostavljaju uzajamnu vezu između pojedinih ograničavajućih faktora obrade i na taj način zajedno sa funkcijama stanja konkretnije definišu proces obrade nazivaju se funkcijama ograničenja. Mada postoji čitav niz funkcija, one se mogu sistematizovati u četiri grupe:

- ograničenja za dubinu rezanja
- ograničenja za pomak
- ograničenja za brzinu rezanja
- kompleksna (složena) ograničenja

Na osnovu izvršene sistematizacije funkcija ograničenja u radovima [8,9,10] u automatizovanom modelu optimizacije korišćene su samo merodavne funkcije ograničenja, a detaljnije su opisane u delu 3.0 ovog rada.

#### 2.5. Metod optimizacije

U razvijenom automatizovanom sistemu optimizacije procesa obrade obimskim glodanjem primenjen je usmereni iterativni postupak minimizacije vremena zahvata (2) /1,2,8,9/.

### 3.0. RAZVOJ AUTOMATIZOVANOG MODELA UNUTRAŠNJE OPTIMIZACIJE OBIMSKOG GLODANJA

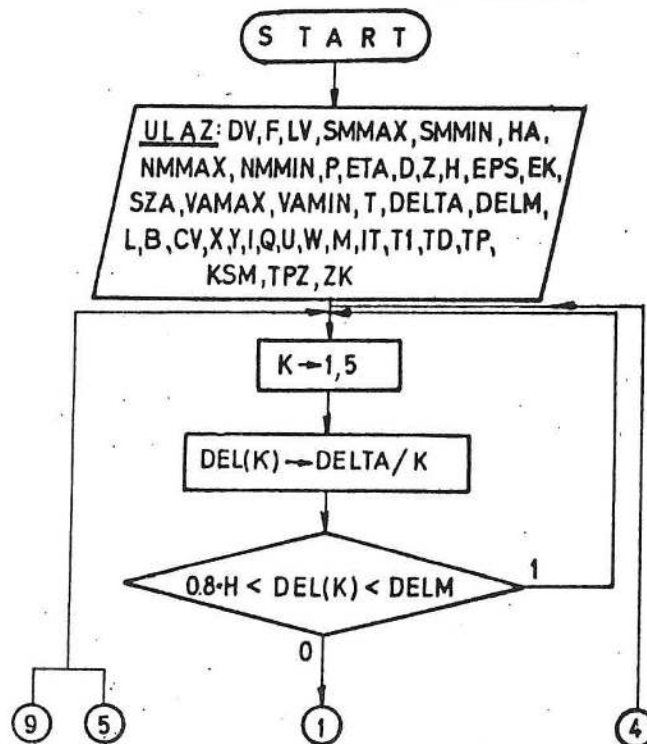
Efikasnost korišćenja analitičkih modela optimizacije u najvećoj meri zavisi od stepena automatizovanosti sistema. Ključno mesto u tom sistemu zauzimaju računarski programi optimizacije koje je potrebno razviti za sve karakteristične zahvate, odnosno operacije.

Za karakteristične zahvate procesa obrade obimskim gloda-

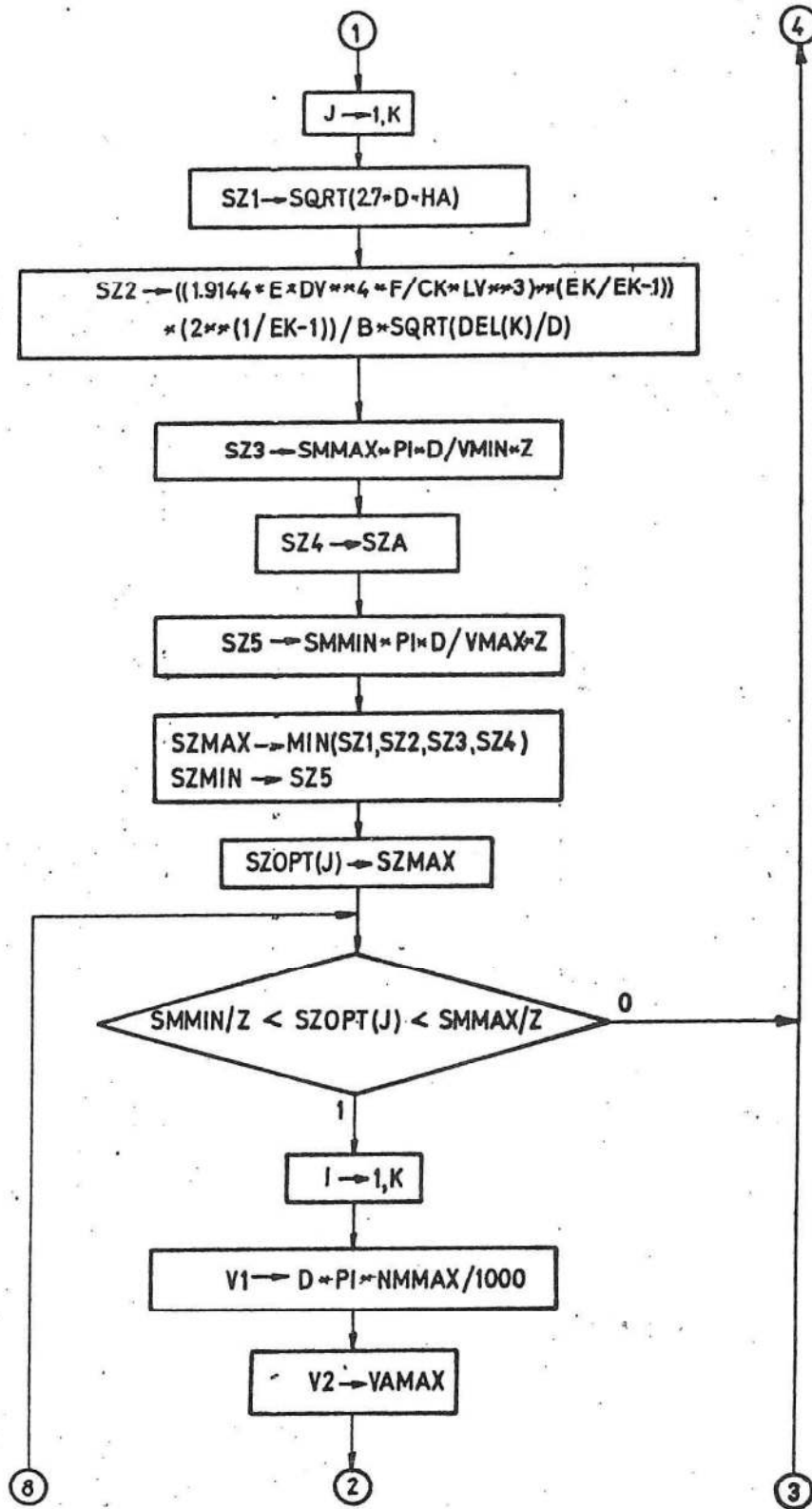
njem razvijen je računarski program za određivanje optimalnih režima rezanja. Program je napisan u višem programskom jeziku BASIC za mikroračunar "Schneider CPC-464". Koncipiran je na bazi dijaloga - unose se traženi podaci od strane računara o mašini, alatu, zahtevanom kvalitetu obradjene površine, obradivanom materijalu i drugim uslovima obrade. Izračunavaju se moguće dubine rezanja i granice za pomak i brzinu rezanja uzimajući u obzir navedena ograničenja i nakon kratkog vremena dobijaju se vrednosti režima rezanja i funkcije cilja za različite dubine rezanja. Kao optimalno rešenje usvaja se ono koje ima najmanje vreme trajanja zahvata.

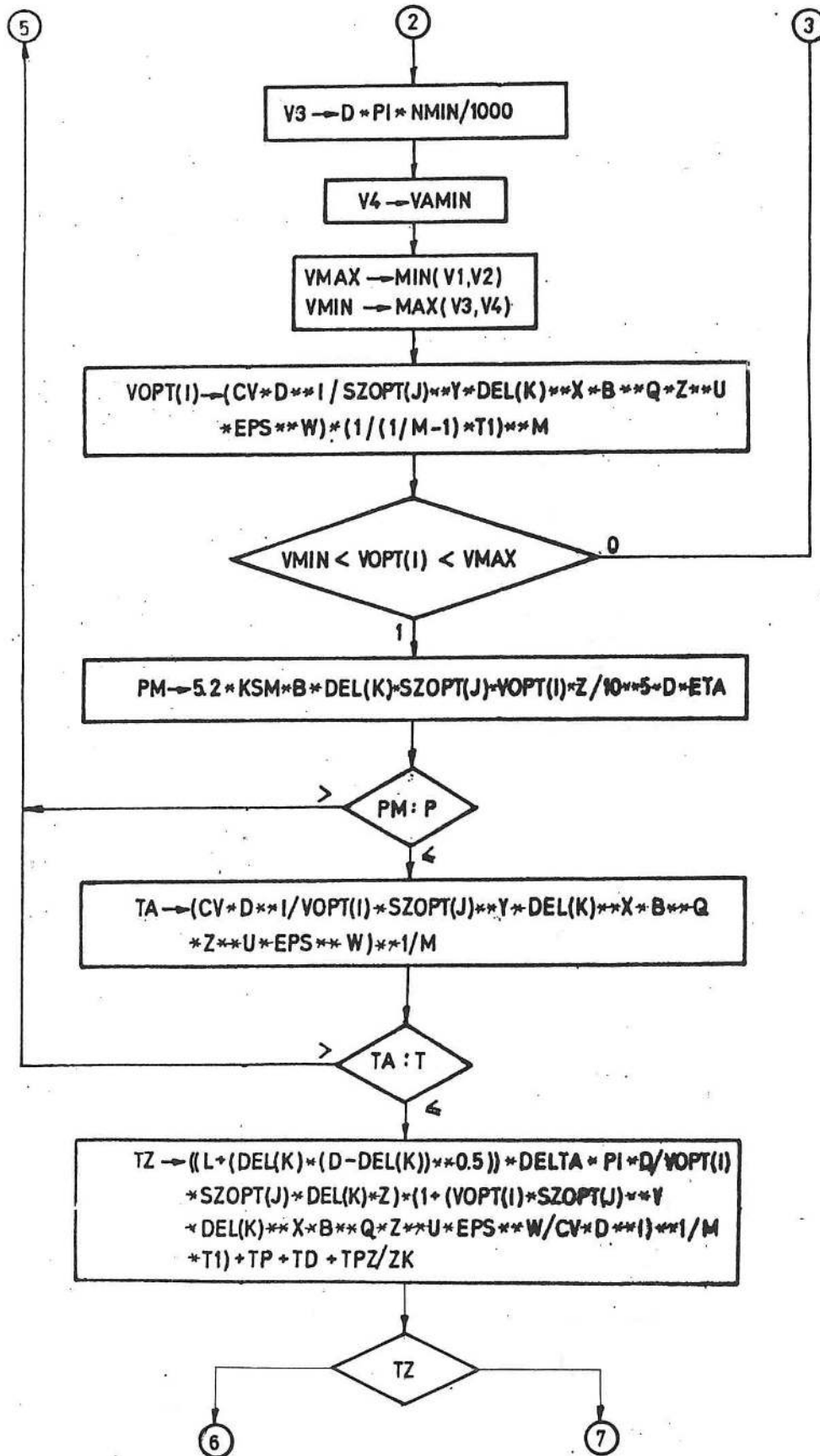
U programskom sistemu optimizacije [9] razvijeni su karakteristični modeli optimizacije za sistematizovane zahvate procesa obrade obimskim glodanjem u kome su svi potrebni podaci za nalaženje optimalnih tehnoloških rešenja razmešteni u banku podataka koju čine datoteke materijala, mašina, alata, obradljivosti, proizvoda, pribora i merila. U ovom radu takvu koncepciju nije bilo moguće primeniti zbog ograničenih mogućnosti korišćenog računara.

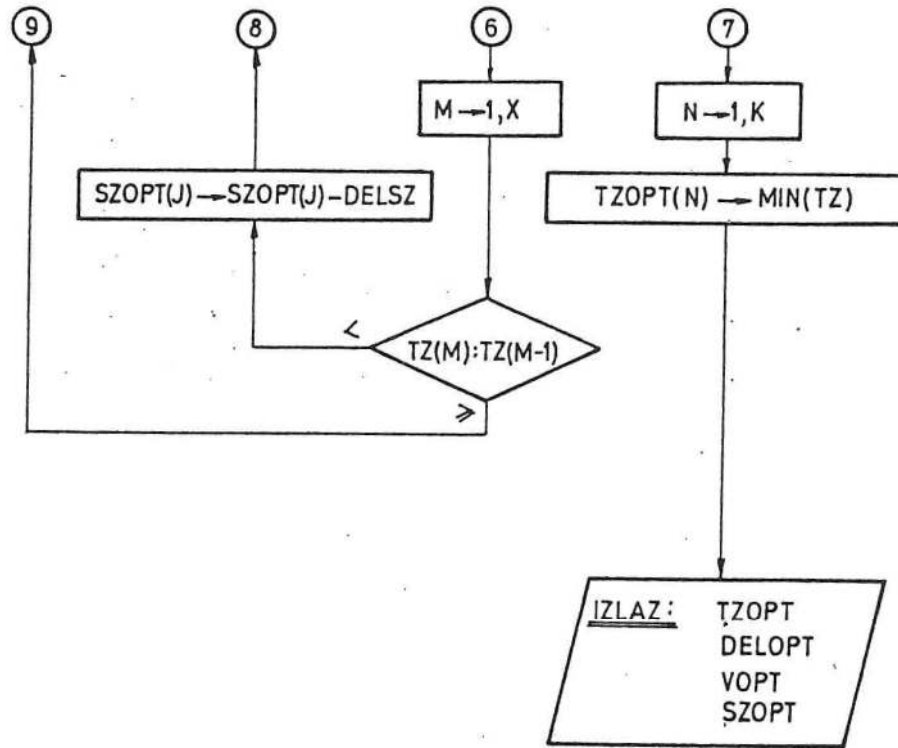
Na slici 3. je prikazan algoritam toka optimizacije na osnovu kog je razvijen računarski program za određivanje optimalnih režima rezanja pri obradi obimskim glodanjem.











Slika 3. Algoritam toka optimizacije

Na ulazu se unose podaci koji se odnose na:

\* MAŠINU

- prečnik vratila mašine (DV)
- dozvoljeni ugib vratila mašine (F)
- rastojanje uležištenja vratila mašine (LV)
- najveći raspoloživi pomak mašine (SMMAX)
- najmanji raspoloživi pomak mašine (SMMIN)
- najveći raspoloživi broj obrtaja mašine (NMMAX)
- najmanji raspoloživi broj obrtaja mašine (NMMIN)
- snaga mašine (P)
- stepen iskorišćenja mašine (ETA)

\* ALAT

- prečnik glodala (D)
- broj zuba glodala (z)
- visina zuba glodala (H)
- ugao nagiba zavojnice zuba (EPS)

- preporučeni pomak po zubu u odnosu na alat (SZA)
- najveća brzina rezanja s obzirom na alat (VAMAX)
- najmanja brzina rezanja s obzirom na alat (VAMIN)
- postojanost alata (T)

\* OBRADAK

- ukupna dubina rezanja (DELTA)
- minimalni dodatak za obradu (DELM)
- aktivna dužina glodanja (L)
- širina glodanja (B)
- konstante zavise od vrste obradjivanog materijala (CV, X, Y, I, Q, U, W, M, I1)
- zahtevana hrapavost obradjene površine (HA)

\* TEHNOLOŠKI PODACI

- vreme zamene i regulisanja alata (T1)
- pomoćno vreme (TP)
- dodatno vreme (TD)
- pripremno završno vreme (TPZ)
- broj obradaka u seriji (ZK)

Najpre se na osnovu ukupne dubine glodanja i zadatog broja prolaza ( $K=1$  do 5) određuje skup mogućih dubina rezanja pri čemu svaka dubina rezanja mora zadovoljiti određena ograničenja ( $0,8.H < DEL(K) < DELM$ ).

Dalje se izračunavaju funkcije ograničenja za pomak s obzirom na:

- dozvoljenu hrapavost obradjene površine (SZ1)
- dozvoljeni ugib vratila (SZ2)
- najveću raspoloživu brzinu pomoćnog kretanja (SZ3)
- najveći dozvoljeni pomak po zubu u odnosu na alat (SZ4)
- najmanju raspoloživu brzinu pomoćnog kretanja mašine (SZ5)

Na osnovu granica (SZMAX i SZMIN) određuje se podskup pomaka iz skupa raspoloživih pomaka koji zadovoljavaju navedena ograničenja pri posmatranoj dubini rezanja. U prvoj iteraciji za optimalnu vrednost pomaka (SZOPT) usvaja se maksimalni pomak.

Granične vrednosti brzina rezanja određuju funkcije ograničenja:

- najveći raspoloživi broj obrtaja mašine (V1)
- najveća dozvoljena brzina rezanja u odnosu na alat (V2)
- najmanji raspoloživi broj obrtaja mašine (V3)
- najmanja dozvoljena brzina rezanja u odnosu na alat (V4)

Optimalna brzina rezanja (VOPT) za posmatranu dubinu rezanja i usvojenu optimalnu vrednost pomaka izračunava se iz uslova:

$$\left(\frac{\partial t}{\partial V}\right)_{\delta=\text{const}}=0 \quad (3)$$

Za ovako usvojene parametre režima rezanja izračunavaju se funkcije ograničenja obzirom na:

- raspoloživu snagu elektromotora (PM)
- zahtevanu postojanost alata (TA)

Ako su zadovoljene sve funkcije ograničenja izračunava se vreme zahvata (TZ). Iteriranje pomaka i izračunavanje operatora (3) pri istoj dubini rezanja nastavlja se sve dok se ne zadovolji uslov:

$$t_{z_{i-1}} > t_{z_i} < t_{z_{i+1}} \quad (4)$$

Ovaj postupak se ponavlja za sve dubine rezanja koje zadovoljavaju navedena ograničenja, a optimalne režime rezanja određuje najmanje vreme zahvata.

#### 4. VERIFIKACIJA RAZVIJENOG SISTEMA OPTIMIZACIJE

Primena razvijenog analitičkog modela unutrašnje optimizacije i dobijenih rezultata za spoljašnju optimizaciju procesa obrade glodanjem prikazaće se na konkretnom primeru iz proizvodne prakse. Na slici 4 je dat radionički crtež radnog predmeta koji se izradjuje u OOUR "Metalac", RO "Pobeda IMO" iz Novog Sada, a zatim i postojeći tehnološki postupak za njegovu izradu. Ne ulazeći u optimizaciju celog tehnološkog procesa primenom razvijenog analitičkog modela unutrašnje optimizacije prikazaće se spoljašnja optimizacija procesa obrade glodanjem.

Napomenuto je da se tehnološka rešenja odlikuju mnogovarijantnošću, što znači da se operacije glodanja (operacije 40-70 u prikazanom tehnološkom postupku) mogu izvesti u više varijanti, na različitim mašinama, sa raznovrsnim reznim alatima, u jednom ili više prolaza. Na primer, operacija 40 se može izvesti na ver-





- glodanje desne bočne strane na dimenziju 63
- glodanje leve bočne strane na kotu 60
- glodanje prednje površine na dimenziju 200
- glodanje zadnje površine na kotu 195

Operacija 50 bi se mogla izvesti i na vertikalnoj glodalici vretenastim glodalom u više zahvata (zavisno od dubine rezanja):

- glodanje središnjeg žljeba (u više prolaza)
- glodanje leve bočne površine žljeba
- glodanje desne površine žljeba na dimenziju  $39,5^{-0,1}$
- glodanje desne gornje površine na kotu 17,5

Ova operacija bi se mogla izvesti i na univerzalnoj glodalici snopom od tri glodala:

- glodanje središnjeg žljeba na dimenziju  $39,5^{-0,1} \times 10$  i gornjih bočnih površina na dimenzije 18,5, odnosno 17,5

Ova varijanta utiče na prethodnu operaciju glodanja tako što je smanjuje za jedan zahvat (glodanje gornje površine na dimenziju 18,5).

Jedna od varijanti bi moglo biti i glodanje snopom od pet glodala na univerzalnoj glodalici:

- glodanje bočnih površina na kotu 60, središnjeg žljeba na  $39,5^{-0,1} \times 10$  i gornjih bočnih površina na dimenzije 18,5 odnosno 17,5.

Za sve ove i eventualne druge varijante obrade glodanjem treba izračunati optimalne režime i vreme obrade zahvata i operacija respektujući sva merodavna ograničenja. Varijanta za koju je potrebno najmanje vreme je optimalna varijanta obrade glodanjem. Ponavljanjem ovog postupka za svaku operaciju tehnološkog procesa izvršilo bi se optimiziranje celokupnog procesa.

Razvijeni automatizovani model optimizacije procesa obrade primenjen je na operaciji 50 za prikazani tehnološki postupak i za varijantu obrade snopom od tri glodala u cilju verifikacije programa i provere mogućnosti primene automatizovanog modela optimizacije.

Obrada se u obe varijante izvodi na univerzalnoj glodalici FA3AU ("MZT" Skoplje) sledećih osnovnih tehničko-tehnoloških karakteristika:

- oblast brojeva obrtaja  $12-2000 \text{ min}^{-1}$

FTN NOVI SAD INSTITUT ZA PROIZVODNO MAŠINSIVO		TEHNOLOŠKI POSTUPAK										Proizvod SP 12 P Kod	
Naziv dela: NOSAČ		Identifikac. Klasifikac.		Materijala C1730 Pripremka LIM		Pribori, alati i merila Naziv Oznaka		Gotovog Q99 Sirovog 311		List br. 1 2		Kod	
OPIS OPERACIJE		Mašina		Naziv		Oznaka		Režimi obrade n s d		Vreme (min) tpz tk		Primedbe	
10	SEČENJE -IŠEĆI OBLIK PREMA ŠABLONU	FOTOMAT	ŠABLON	Ša-1121-A4									
20	OVIČAVANJE -OVIČITI OŠTRE IVICE NAKON ISECANJA	RUČNI RAD											
30	TERMIČKA OBRADA -NORMALIZACIONO ŽARENJE	JAMSKA PEĆ											
40	GLODANJE -GLODATI DVE PARALELNE STRANE NA KOTU 60 (ŠIRINA) -GLODATI DVE PARALELNE STRANE NA DIMENZI- JU 185 (VISINA) -GLODATI DVE PARALELNE STRANE NA KOTU 195	UNIVERZALNA GLODALICA	VÁLJKASTO GLODALO	JUS K.D2.020									
50	GLODANJE -GLODATI UPUST NA DIMENZIJE 39,5 <sup>01</sup> x 10 -GLODATI DESNI KRAJ NOSAČA NA DIMENZIJU 175	UNIVERZALNA GLODALICA	KOTURASTO GLODALO Ø 80*20*27	JUS K.D2.040									
60	GLODANJE -GLODATI DVA RADIJUSA R 16	UNIVERZALNA GLODALICA	ČETVRTKRUŽNÓ UDUBLJENO GLODALO R16 Ø110*28*32	JUS K.D2.084									
MAŠINSKA OBRADA		Razradio:	S. VASIĆ		Kontrolisao:								

FTN NOVI SAD INSTITUT ZA PROIZVODNO MAŠINSTVO		TEHNOLOŠKI POSTUPAK										Proizvod SP 12 P Kod	
Naziv dela: NOSAČ		Identifikac. Klasif. pac.	Materijala C 1730	24*78*213	Gotovog 0,99	List br 2	Režimi obrade		Sirovog 3,11		Listova br 2	Primedbe	
OPIS OPERACIJE		Mašina	Pribori, alati i merila Naziv	Oznaka	n	s	d	vremennj tr					
70	GLODANJE - GLODATI DVA ŽLJeba 5/60° (DETALJ .5")	VERTIKALNA GLODALICA	TESTERASTO GLODALO Ø 100*5*22	JUS K.D2.150									
80	OVIČAVANJE - OVIČITI OŠTRE I POVRNUTE MICE	RUČNI RAD											
90	BUŠENJE - BUŠITI 5*Ø5,3 SKROZ - BUSITI 4*Ø4,2 NA DUBINU 15 - UPUSTITI 5*Ø9,4 NA DUBINU 5,5 - UPUSTITI 4*1/120° - UREZATI NAVOJ 4*M5 NA DUBINU 12	STUBNA BUSILICA	PRIBOR ZA BUŠ. SPIR. BURGILJA SPIR. BURGILJA UPUŠTAČ Ø9,4 KONJUPUŠT. 120° URÉZNIK M5	B - 1593 JUS K.D3.022 JUS K.D3.022 JUS K.D3.317 JUS K.D3.325 JUS K.D6.020									
100	TERMIČKA OBRADA - BRUNIRANJE	UREDAJ ZA BRUNIRANJE											
110	BRUŠENJE - BRUSITI OSNOVNU POVRŠINU NA ČISTO - BRUSITI GORNJE POVRŠINE NA KOTE 18 I 17	BRUSILICA ZA RAVNO BRUŠENJE	MAGNETNI STO KOLITASTO RAV- NO TOCILLO KoR 250*63*76	A 46 N6 V									
120	BRUŠENJE - BRUSITI ŽLJEB NA KOTE 40H7*10H8	BRUSILICA ZA RAVNO BRUŠENJE	MAGNETNI STO KOLITASTO RAV- NO TOCILLO KoR 250*32*76	A 46 N6 V									
130	POVRŠINSKA ZAŠTITA	ULJNA KADA											
MAŠINSKA OBRADA		Razradio: S. VASIĆ		Kontrolisao									

- oblast pomaka
  - uzdužni i poprečni 14-900 mm/min
  - vertikalni 4-250 mm/min
- snaga motora 5 KW
- radni sto 300x1375 mm

Za funkciju stanja je, na osnovu literaturnih informacija, za materijal radnog predmeta č 1730, usvojena funkcija postojanosti oblika |6|:

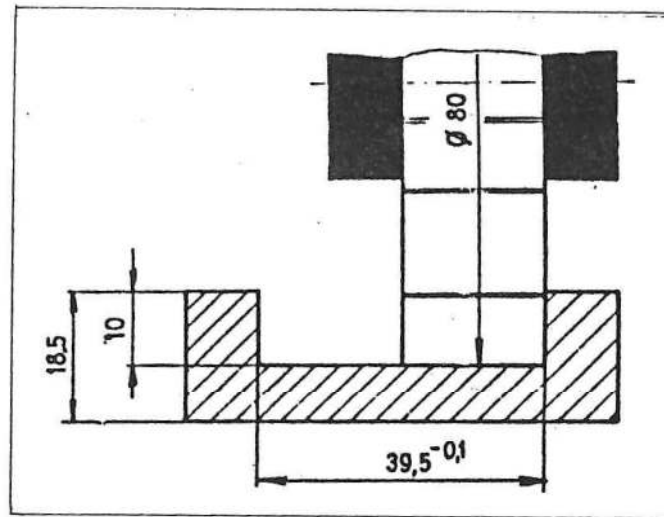
$$T^{0,33} = \frac{55 \cdot D^{0,45}}{v \cdot \delta^{0,3} \cdot s_z^{0,2} \cdot b^{0,1} \cdot z^{0,1}} \quad (5)$$

Operacija 50 postojeće varijante izvodi se standardnim kolutastim glodalom Ø80x20x27, materijala sečiva č 6882, u tri zahvata prikazanim na slikama 5,7 i 9. Na slikama 6,8 i 10 dati su izlazni rezultati unutrašnje optimizacije zahvata (optimalni režimi obrade i vreme zahvata).

Varijanta obrade snopom od tri glodala istih reznih karakteristika prikazana je na slici 11, a izlazni rezultati unutrašnje optimizacije na slici 12. U ovom slučaju je u prethodnoj operaciji (40) nepotreban zahvat - obrada gornje površine na dimenziji 18,5.

Uzimanjem u obzir svih zahvata za izvršenje date operacije i njihovih vremena obrade za pojedine optimalne vrednosti režima rezanja, dobijaju se ukupna vremena obrade:  $t_u=16,67$  minuta (u prvom slučaju), odnosno  $t_u=9,08$  minuta (u slučaju obrade snopom glodala). Očigledno je da je dobijeno daleko manje vreme obrade u odnosu na postojeću tehnologiju. Pored toga, smanjuje se i vreme obrade prethodne operacije (40) obzirom da je smanjena za jedan zahvat. Na ovaj način su stvorene mogućnosti da se vrši spoljašnja optimizacija - izbor varijanti tehnološkog procesa.



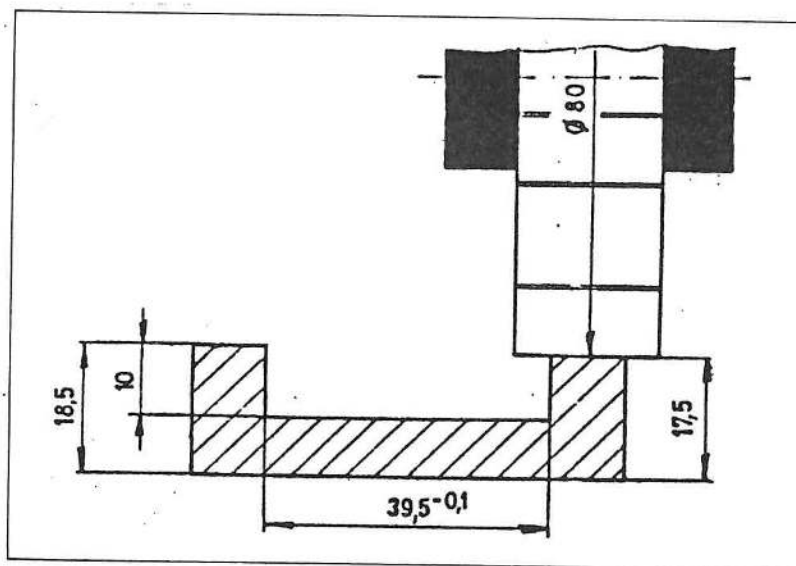


Slika 7. Obrada žljeba 39,5x10

* FTN IPM * O B I M S K O G L O D A N J E * VASIC S. *						
* OPTIMALNI REZIMI OBRAD E *						
* KRITERIJUM OPTIMIZACIJE: VREME ZAHVATA (tz) *						
* BROJ *	* DUBINA *	* POMAK *	* BROJ OBRTA *	* VREME ZAHVATA *	*	
* PROLAZA *	* (mm) *	* (mm/z) *	* (o/min) *	* (min) *	*	
* 2 *	* 5 *	* 0.25 *	* 264.76 *	* 3.47 *	*	
* 3 *	* 3.33 *	* 0.29 *	* 283.79 *	* 3.63 *	*	
* 4 *	* 2.5 *	* 0.32 *	* 296.07 *	* 3.75 *	*	
* 5 *	* 2 *	* 0.39 *	* 296.08 *	* 3.76 *	*	
* OPTIMALNO RESENJE *						
* 2 *	* 5 *	* 0.25 *	* 264.76 *	* 3.47 *	*	

Slika 8. Izlazni rezultati unutrašnje optimizacije operacije sa slike 7.

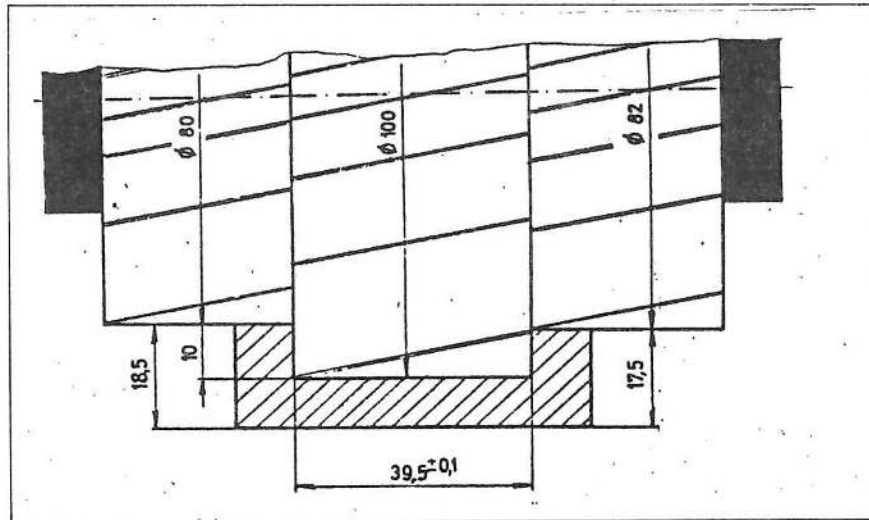




Slika 9. Obrada desne gornje površine na kotu 17,5

* FTN IPM * O B I M S K O G L O D A N J E * VASIC S. *						
* OPTIMALNI REZIMI OBRADE * * KRITERIJUM OPTIMIZACIJE: VREME ZAHVATA (tz) *						
* BROJ * * PROLAZA *	* DUBINA * * (mm) *	* POMAK * * (mm/z) *	* BROJ OBRTA * * (o/min) *	* VREME ZAHVATA * * (min) *		
* 1 *	* 1 *	* 0.86 *	* 300.7 *	* 2.79 *		
* 2 *	* 0.5 *	* 0.86 *	* 362.59 *	* 2.86 *		
* OPTIMALNO RESENJE *						
* 1 *	* 1 *	* 0.86 *	* 300.7 *	* 2.79 *		

Slika 10. Izlazni rezultati unutrašnje optimizacije operacije sa slike 9.



Slika 11. Obrada žljeba 39,5x10 i gornjih površina na kote 17,5 i 18,5 snopom od tri glodala

* FTN IPH * O B I M S K O G L O D A N J E * VASIC S. *						
* OPTIMALNI REZIMI OBRAD E *						
* KRITERIJUM OPTIMIZACIJE: VREME ZAHVATA (tz) *						
* BROJ * * PROLAZA *	* DUBINA * * (mm) *	* FUMAK * * (mm/z) *	* BROJ OBRTA * * (o/min) *	* VREME ZAHVATA * * (min) *		
* 2 *	* 6.5 *	* 0.1 *	* 271.28 *	* 4.54 *		
* 3 *	* 4.33 *	* 0.13 *	* 277.64 *	* 4.69 *		
* 4 *	* 3.25 *	* 0.15 *	* 289.65 *	* 4.93 *		
* 5 *	* 2.6 *	* 0.17 *	* 298.06 *	* 5.12 *		
* OPTIMALNO RESENJE *						
* 2 *	* 6.5 *	* 0.1 *	* 271.28 *	* 4.54 *		

Slika 12. Izlazni rezultati unutrašnje optimizacije za operaciju sa slike 11.

## 5.0. ZAKLJUČCI

1. Razvijeni automatizovani sistem optimizacije procesa obrade obimskog glodanja na personalnom računaru omogućava odredjivanje optimalnih tehnoloških rešenja, što je delimično i dokazano u tački 4.0. ovog rada.
2. Izvršena analiza i sistematizacija karakterističnih zahvata obimskog glodanja i definisani matematički model njihove unutrašnje optimizacije predstavlja osnovu za podizanje kvaliteta projektovanih tehnoloških procesa. Automatizacijom postupka odredjivanja optimalnih rešenja takodje se skraćuje proces tehnološke pripreme proizvodnje.
3. Rezultati unutrašnje optimizacije zahvata omogućavaju realizaciju spoljašnje optimizacije procesa obrade obimskog glodanja, kako konvencionalnim, tako i automatizovanim interaktivnim postupkom. Time se stvaraju uslovi za optimizaciju celokupnog tehnološkog procesa obrade.
4. Dosadašnji razvoj sistema može biti dobra osnova (uz izgradnju neophodnih banki podataka) za primenu savremenih računara sa grafičkim procesorom.

## 6.0. LITERATURA

- 1| Banjac D., Todić V., Sovilj B., Vasić S. i dr.: Tehnoekonomska optimizacija elemenata tehnologije mašinske obrade, naučno-istraživačka tema koju je finansirao SIZNRV, IPM, FTN, Novi Sad, 1980.
- 2| Banjac D., Zeljković M., Todić V.: Primena iterativnog postupka za odredjivanje optimalnih režima rezanja pri obradi glodanjem, V JUPITER konferencija, Miločer, 1979.
- 3| Eversheim W., Gebauer D., Knappe H.J.: Konsteneinspannung und qualitätsverbesserung rechnerunterstützte Schnittwertemittlung und optimierung für das messer kopffrasen, Fertigungstechnik, No 97, 1981.
- 4| Jakobs H.H., Jakob E., Kochan D.: Spannungsoptimierung-Verfahrensgestaltung durch technologische Optimierung in der Spannungstechnik, prevod na ruski, Mašinstroenije, Moskva, 1981.
- 5| Stanić J.: Uvod u teoriju tehnoekonomske optimizacije procesa, Mašinski fakultet, Beograd, 1983.
- 6| Stanić J., Nikolić D., Jovanić T., Gajović V.: Mašinska obrada - priručnik za proračun merodavnih režima mašinske obrade rezanjem I, Privredni pregled, Beograd, 1971.

- |7| Todić V.: Varijantni sistem optimizacije tehnoloških procesa obrade, XIV simpozijum Upravljanje proizvodnjom u industriji prerade metala, Beograd 1984.
- |8| Todić V., Banjac D., Sovilj B., Rodić M., Vasić S. i dr.: Tehnoekonomska optimizacija obradnih i tehnoloških procesa obrade metala rezanjem, naučnoistraživačka tema koju je finansirao SIZNRV, IPM, FTN, Novi Sad, 1985.
- |9| Todić V.: Varijantni automatizovani sistem optimizacije tehnoloških procesa obrade, doktorska disertacija, IPM, FTN, Novi Sad, 1987.
- |10| Vasić S.: Automatizovani sistem optimizacije procesa obrade obimskog glodanja, seminarski rad, IPM, FTN, Novi Sad, 1987.