

ORIGINALNI NAUČNI RAD

P. Kovač, J. Stankov\*

ODREĐJIVANJE HRAPAVOSTI KOD OBRADJE POLIRANJEM  
KORIŠĆENJEM DELIMIČNOG FAKTORNOG EKSPERIMENTA\*\*

Rezime

*U radu su prikazani neki podaci dobijeni ispitivanjem domaćeg specijalnog čelika Č.4590, koji se koristi za izradu medicinskih uređaja, primenom savremene teorije eksperimenta. Navedena metoda je primenjena radi dobijanja hrapavosti obradjene površine nakon operacija struganjem i poliranjem.*

DETERMINATION OF THE ROUGHNESS AFTER POLISHING USING  
FRACTIONAL DESIGN IN THE RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

Summary

*In this article special steel for medical equipment Č.4590 was taken into consideration, using response surface methodology. This procedure is applied to determine the surface roughness after turning and polishing operations.*

1. UVOD

Eksperimentalno ispitivanje uticaja režima rezanja na karakteristike kvaliteta površine vršen je prvenstveno zbog toga što takvih podataka nema za domaće specijalne čelike, kakvi se zahtevaju za izradu medicinskih uređaja tipa spoljnog fiksatora,

\*) Kovač mr Pavel, dipl.ing., asistent; Stankov dr Jelena, dipl.ing., redovni prof., - Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, V.Perića Valtera 2.

\*\*) Saopštenje iz Instituta za proizvodno mašinstvo, Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, kao deo teme "Istraživanje mogućnosti primene i izrade uređaja za fiksaciju kostiju-USF", koji je finansirala SIZ NR Vojvodine.

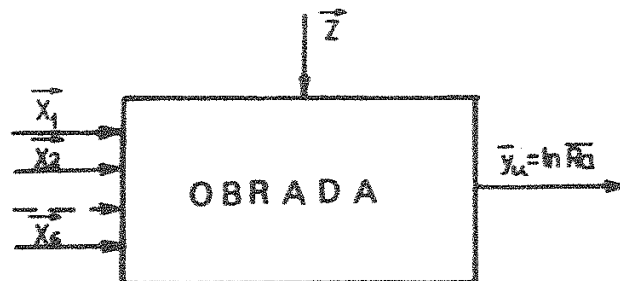
Rad je saopšten na kolokviju o obradi metala i eksploataciji obradnih sistema KOMEOS'83, Rijeka, 1983.

koji se koristi kod lečenja preloma kostiju ekstremiteta. U uvodnoj fazi ispitivanja [2] nakon hemijske analize i metalografskog ispitivanja čelika pod nazivom ANTINIT-FASH 43, koji se uvozi za potrebe domaće industrije, proizvođača medicinskih uređaja, došlo se do zaključka da se mogu sa istim uspehom koristiti domaći materijali koji postoje u katalogu Železare Jesenice, ali se isporučuju po specijalnom zahtevu. Za Institut za proizvodno mašinstvo izradjena je jedna isporuka materijala č.4590 u dimenzijama koje su bile diktirane konstrukcijom uređaja, i od koje je izradjen prototip uređaja USF-01.000 i epruvete za ispitivanje uticaja režima rezanja na hrapavost.

Prva etapa istraživanja sprovedena je sa ciljem da se oceni signifikantnost uticajnih faktora. Tako je odabrano 6 faktora koji su ulazili u proces, a potvrda značajnosti je vršena korišćenjem delimičnog faktornog eksperimenta (DFE), kako bi se statističkim planiranjem eksperimenta omogućilo istraživanje uticaja relativno velikog broja faktora sa razumno malim brojem eksperimenata.

Za navedeno ispitivanje usvojen je dvonivojski plan tipa  $2^{6-3}$ , i to prva i druga 1/8-replika, sa ponavljanjem u svakoj tački plana  $n=2$ .

Kao najuticajniji parametri na hrapavost pri obradi na strugu i obradi poliranjem izabrani su parametri prema slici 1.



Slika 1.

gde je:

- |       |   |               |   |                    |                   |
|-------|---|---------------|---|--------------------|-------------------|
| $x_1$ | → | $r$ (mm)      | - | radijus vrha alata |                   |
| $x_2$ | → | $\delta$ (mm) | - | dubina rezanja     |                   |
| $x_3$ | → | $V$ (m/min)   | - | brzina rezanja     | (merena veličina) |
| $x_4$ | → | $S$ (mm/o)    | - | pomak              |                   |

$x_5 \rightarrow \gamma(o)$  - grudni ugao (merena veličina)  
 $x_6 \rightarrow H(l/s)$  - sredstvo za hladjenje (atributivno: da/ne)

Kao izlazni odabrani parametri hrapavosti: srednja aritmetička hrapavost  $R_a$ .

Funkcionalna zavisnost izmedju ulaznih i izlaznih veličina potražiće se u obliku funkcije sa medjusobnim uticajima faktora oblika:

$$R = C r^{\beta_1} \delta^{\beta_2} v^{\beta_3} S^{\beta_4} \gamma^{\beta_5} H^{\beta_6} \exp(\beta_{12} \ln r \ln \delta + \beta_{13} \ln S \ln v + \dots + \beta_{56} \ln \gamma \ln H) \quad (1)$$

Interakcije višeg reda su zanemarene.

Nakon obrade podataka dobijenih ispitivanjem DFE isključili su se nesignifikantni parametri, pa je napravljen plan eksperimenta tipa  $2^k$ , gde je  $k$  bio broj značajnih faktora.

### 1.1. Struktura replike

Od šestofaktornog punog faktornog eksperimenta (PFE) tipa  $2^6$ , formirane su dve 1/8-replike, svaka sa brojem tačaka plana  $N=2^{6-3} = 8$ . Ključ formiranja replike definisan je generatorima:

$$x_4 = x_1 x_2 x_3$$

$$x_5 = x_1 x_2$$

$$x_6 = x_1 x_3$$

Tada je kontrast ravan:

$$J = x_1 x_2 x_3 x_4 = x_1 x_2 x_5 = x_1 x_3 x_6 = x_3 x_4 x_5 = x_2 x_4 x_6 = x_2 x_3 x_5 x_6 = x_1 x_4 x_5 x_6 = 1.$$

Osnova zaključivanja o stepenu uticaja faktora  $x_i$  na varijablu  $y$  zasniva se na mogućnosti izdvajanja efekata delovanja faktora  $x_i$  na varijabilitet varijabli  $y$  zajedno sa mogućnošću uporedjivanja tih efekata na istom nivou pouzdanosti.

Združeni pomenuti efekti faktora biće tada:

$$x_1 = x_2 x_3 x_4 = x_2 x_5 = x_3 x_6 = x_4 x_5 x_6$$

$$x_2 = x_1 x_3 x_4 = x_1 x_5 = x_4 x_6 = x_3 x_5 x_6$$

$$\begin{aligned}
 x_3 &= x_1 x_2 x_4 = x_1 x_6 = x_4 x_5 = x_2 x_5 x_6 \\
 x_4 &= x_1 x_2 x_3 = x_3 x_5 = x_2 x_6 = x_1 x_5 x_6 \\
 x_5 &= x_1 x_2 = x_3 x_4 = x_2 x_3 x_6 = x_1 x_4 x_6 \\
 x_6 &= x_1 x_3 = x_2 x_4 = x_2 x_3 x_5 = x_1 x_4 x_5 \\
 x_1 x_4 &= x_2 x_3 = x_2 x_4 x_5 = x_3 x_4 x_6 = x_1 x_3 x_5 = x_1 x_2 x_6 = x_5 x_6
 \end{aligned}$$

Ako kod  $b_1$  i  $b_{ij}$  zanemarimo interakcije višeg reda

$$b_1' \rightarrow \beta_1 + \beta_{234} + \beta_{25} + \beta_{36} + \beta_{456}$$

$$b_2' \rightarrow \beta_2 + \beta_{15} + \beta_{46}$$

$$b_3' \rightarrow \beta_3 + \beta_{16} + \beta_{45}$$

$$b_4' \rightarrow \beta_4 + \beta_{35} + \beta_{26}$$

$$b_5' \rightarrow \beta_5 + \beta_{12} + \beta_{34}$$

$$b_6' \rightarrow \beta_6 + \beta_{13} + \beta_{24}$$

$$b_{14}' \rightarrow \beta_{14} + \beta_{23} + \beta_{56}$$

Druga 1/8 - replika

$$x_4 = x_1 x_2 x_3 \quad x_5 = -x_1 x_2 \quad x_6 = -x_1 x_3$$

Zbirni kontrast uz zanemarivanje interakcija višeg reda

$$\begin{aligned}
 J &= x_1 x_2 x_3 x_4 = -x_1 x_2 x_5 = -x_1 x_3 x_6 = -x_3 x_4 x_5 = -x_2 x_4 x_6 = \\
 &= x_2 x_3 x_5 x_6 = x_1 x_4 x_5 x_6
 \end{aligned}$$

Tada je:

$$x_1 = -x_2 x_5 = -x_3 x_6$$

$$b_1'' \rightarrow \beta_1 - \beta_{25} - \beta_{36}$$

$$x_2 = -x_1 x_5 = -x_4 x_6$$

$$b_2'' \rightarrow \beta_2 - \beta_{15} - \beta_{46}$$

$$x_3 = -x_1 x_6 = -x_4 x_5$$

$$b_3'' \rightarrow \beta_3 - \beta_{16} - \beta_{45}$$

$$x_4 = -x_3 x_5 = -x_2 x_6$$

$$b_4'' \rightarrow \beta_4 - \beta_{35} - \beta_{26}$$

$$x_5 = -x_1 x_2 = -x_3 x_4$$

$$b_5'' \rightarrow \beta_5 - \beta_{12} - \beta_{34}$$

$$x_6 = -x_1 x_3 = -x_2 x_4$$

$$b_6'' \rightarrow \beta_6 - \beta_{13} - \beta_{24}$$

$$x_1 x_4 = x_2 x_3 = x_5 x_6$$

$$b_{14}'' \rightarrow \beta_{14} + \beta_{23} + \beta_{56}$$

Iz  $b_1 = \frac{b_1' + b_1''}{2}$  itd. dobiće se:

$$\begin{array}{ll} b_1 \rightarrow \beta_1 & b_4 \rightarrow \beta_4 \\ b_2 \rightarrow \beta_2 & b_5 \rightarrow \beta_5 \quad b_{14} \rightarrow \beta_{14} + \beta_{23} + \beta_{56} \\ b_3 \rightarrow \beta_3 & b_6 \rightarrow \beta_6 \end{array}$$

Znači da su razdvojeni linijski efekti od interakcija prvog reda ( $b_{ij}$ ) koji mogu biti uticajni. Jedino je  $b_{14}$  smešten sa još dve druge interakcije.

## 2. USLOVI PRI ISPITIVANJU

Ispitivanja za DFE su izvršena u RO "Jugodent" - Novi Sad na strugu Schaublin 150, koji ima raspon pomaka  $s=0,015-0,35$  (mm/o) i raspon brojeva obrtaja  $n=55-3000$  (o/min) sa protokom emulzije za hladjenje  $0,067$  (l/s).

Posle obrade struganjem vršeno je poliranje na mašini za poliranje u RO "Jugodent".

Ispitivanja za PFE su izvršena u Institutu za proizvodno mašinstvo u Novom Sadu na preciznom univerzalnom strugu PUS.K, proizvodnje "LZT"-Kikinda. Merenja su vršena u Laboratoriji za merenja u proizvodnji, na uređaju Peth-o-metar, tipa Univerzal, sa mernom glavom HTF  $25 \mu\text{m}$ , uz referentnu dužinu dodira  $5 \text{ mm}$ .

Ispitivanja po planu eksperimenta izvršena su na unapred pripremljenim epruvetama. Dimenzije epruveta su bile ograničene mogućnošću postavljanja na sto uređaja za merenje hrapavosti, Perth-o-metra. Prečnik epruvete je, međjutim, uz kombinaciju sa brojem obrtaja dao brzinu rezanja prema planu eksperimenta. (Prečnik epruvete je bio  $34 \text{ mm}$ , a dužina  $500 \text{ mm}$ ).

Konstantni spoljni uslovi pri ispitivanju su bili sledeći:

1) Korišćen je pravi strugarski nož za uzdužnu obradu "PROMAX-A" sa drškom poprečnog preseka  $25 \times 25 \text{ mm}$  i mehanički pričvršćenim pločicama. Ovaj nož nije obuhvaćen JUS standardom, ali prema navodu proizvođača odgovara ISO 2.

2) Kao rezni materijal korišćene su okretne kvadratne pločice SNUN prema JUS K.DO.150. Dimenzije pločica su bile  $12,7 \times 4,76 \text{ mm}$ , a kvalitet SV 25 (odgovara P.30).

## 2.1. Eksperimentalni podaci

Redosled izvodjenja eksperimenta je bio prema tablici slučajnih brojeva. U tabeli 1 su dati nivoi faktora i merene vrednosti za obe replike.

Tabela 1.

Opit.	K o d f a k t o r a								F a k t o r i						Ra <sub>u</sub>
	x <sub>0</sub>	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>	x <sub>6</sub>	x <sub>1</sub> x <sub>4</sub>	r mm	δ mm	V m/min	S mm/o	γ  o	H	
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	0,4	0,2	108	0,05	-6	DA	0,34
2	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1,2	0,2	108	0,32	6	NE	0,76
3	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	0,4	0,5	108	0,32	6	DA	0,80
4	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1,2	0,5	108	0,05	-6	NE	0,50
5	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	0,4	0,2	141	0,32	-6	NE	1,72
6	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1,2	0,2	141	0,05	6	DA	0,44
7	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	0,4	0,5	241	0,05	6	NE	0,45
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1,2	0,5	141	0,32	-6	DA	0,85
9	1	1	1	1	1	-1	-1	1	1,2	0,5	141	0,32	6	NE	1,38
10	1	-1	1	1	-1	1	1	1	0,4	0,5	141	0,05	-6	DA	0,37
11	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1,2	0,2	141	0,05	-6	NE	0,43
12	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	0,4	0,2	141	0,32	6	DA	1,95
13	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1,2	0,5	108	0,05	6	DA	0,52
14	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	0,4	0,5	108	0,32	-6	NE	2,53
15	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1,2	0,2	108	0,32	-6	DA	0,77
16	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	0,4	0,2	108	0,05	6	NE	0,45

gde je:

$$Ra_{\bar{u}} = \frac{Ra_{u_1} + Ra_{u_2}}{2}$$

Ra<sub>u<sub>1</sub></sub> - rezultat prvog merenja u-tog opita

Ra<sub>u<sub>2</sub></sub> - rezultat drugog merenja u-tog opita

### 3. OBRADA PODATAKA

Na slici 2 postavljena je uopštena blok šema koncepcije rada sa usvojenim metodama i programima za računar, koji su razradjeni na Institutu za proizvodno mašinstvo, za slučaj kada se koristi DFE i PFE.

Obradom podataka DFE dobile su se vrednosti prikazane u tabeli 2.

Tabela 2.

	Step.slo- bode $f_i$	Suma kvadrata $S_{bi} = N_E \cdot b_i^2$	Disperzija $S_{bi}^2 = S_{bi} / f_i$	Disp.odnos $F_{ri} = S_{bi}^2 / S_E^2$	NAPOMENA
$b_0 = -0.66134$	1	13.99604	13.99604	258.31256	Signifikantan
$b_1 = -0.20955$	1	1.40520	1.40520	25.93411	Signifikantan
$b_2 = 0.07251$	1	0.16824	0.16824	3.10522	NE
$b_3 = 0.11711$	1	0.42880	0.42880	8.0998	Signifikantan
$b_4 = 1.02925$	1	33.89954	33.89954	625.65901	Signifikantan
$b_5 = 0.00528$	1	0.00095	0.00095	0.01647	NE
$b_6 = -0.23116$	1	1.70994	1.70994	31.55886	Signifikantan
$b_{14} = -0.35278$	1	3.98246	3.98246	73.50280	Signifikantan
Rezidualna suma	$f_R = 25$	$S_R = 7.68412$	0.30736		
Greška eksperimenta	$f_E = 16$	$S_E = 0.86691$	0.05418		

gde je:

$$N_E = n \cdot N = 32$$

$$n = 2$$

$$N = 16$$

$$f_R = N_E - \lambda = 32 - 7 = 25$$

$$\lambda = C_{d+k}^d = 7$$

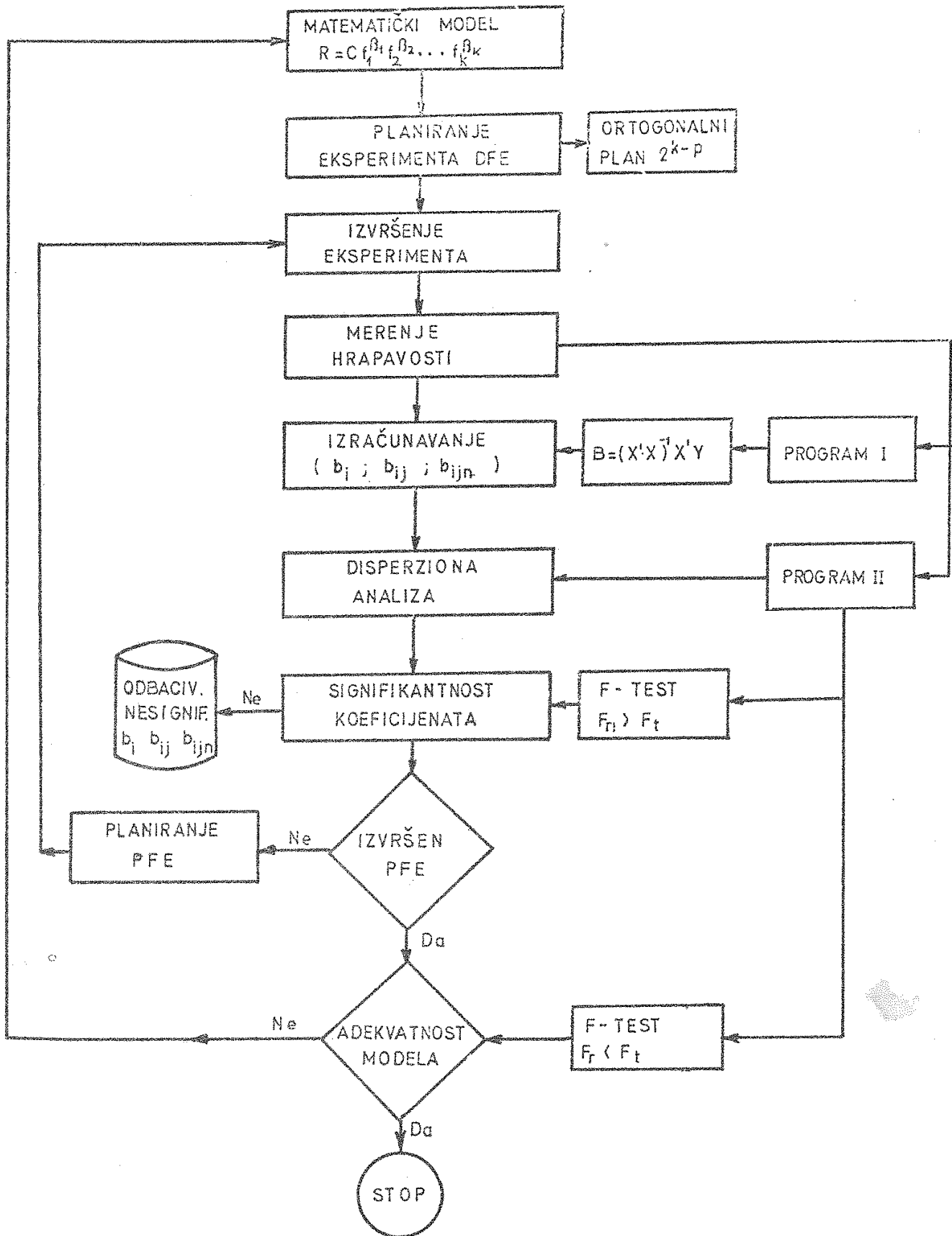
$$d = 1$$

$$k = 6$$

$$f_E = N(n-1) = 16$$

$$S_R = \sum_{u=1}^{u=16} (y_u - \hat{y}_u)^2$$

$$S_E = \sum_{u=1}^{16} \sum_{j=1}^2 (y_{uj} - \bar{y}_u)^2$$



Slika 2.



Kao što se vidi iz tabele, značajni faktori režima rezanja su  $r$ ,  $s$ ,  $v$  i sredstva za hladjenje  $H$ .

U daljim razmatranjima uzeti su u obzir samo faktori režima rezanja i njihov uticaj na hrapavost, dok atributivno merenje sredstava za hladjenje može da se koristi samo kao informacija da ono utiče na izlaznu funkciju. Koliko utiče, medjutim, potrebno bi bilo definisati nivoe faktora i njih varirati, što nije bilo predmet interesovanja ovog istraživanja. U dalja ispitivanja ušlo se sa punim faktornim eksperimentom (PFE),  $N=2^3$ , gde su faktori:  $x_1 \rightarrow r$ ,  $x_2 \rightarrow s$ ,  $x_3 \rightarrow v$ . Funkcionalna zavisnost izmedju  $r$ ,  $s$  i  $v$  i izlaznog parametra hrapavosti  $R_a$  nadjen je u obliku matematičkog modela sa interakcijama, koji u opštem slučaju ima oblik:

$$R_a = cr^{\beta_1} s^{\beta_2} v^{\beta_3} \exp(\beta_{12} \ln r \cdot \ln s + \beta_{12} \ln r \cdot \ln v + \beta_{23} \ln s \cdot \ln v + \beta_{123} \ln r \cdot \ln s \cdot \ln v) \quad (2)$$

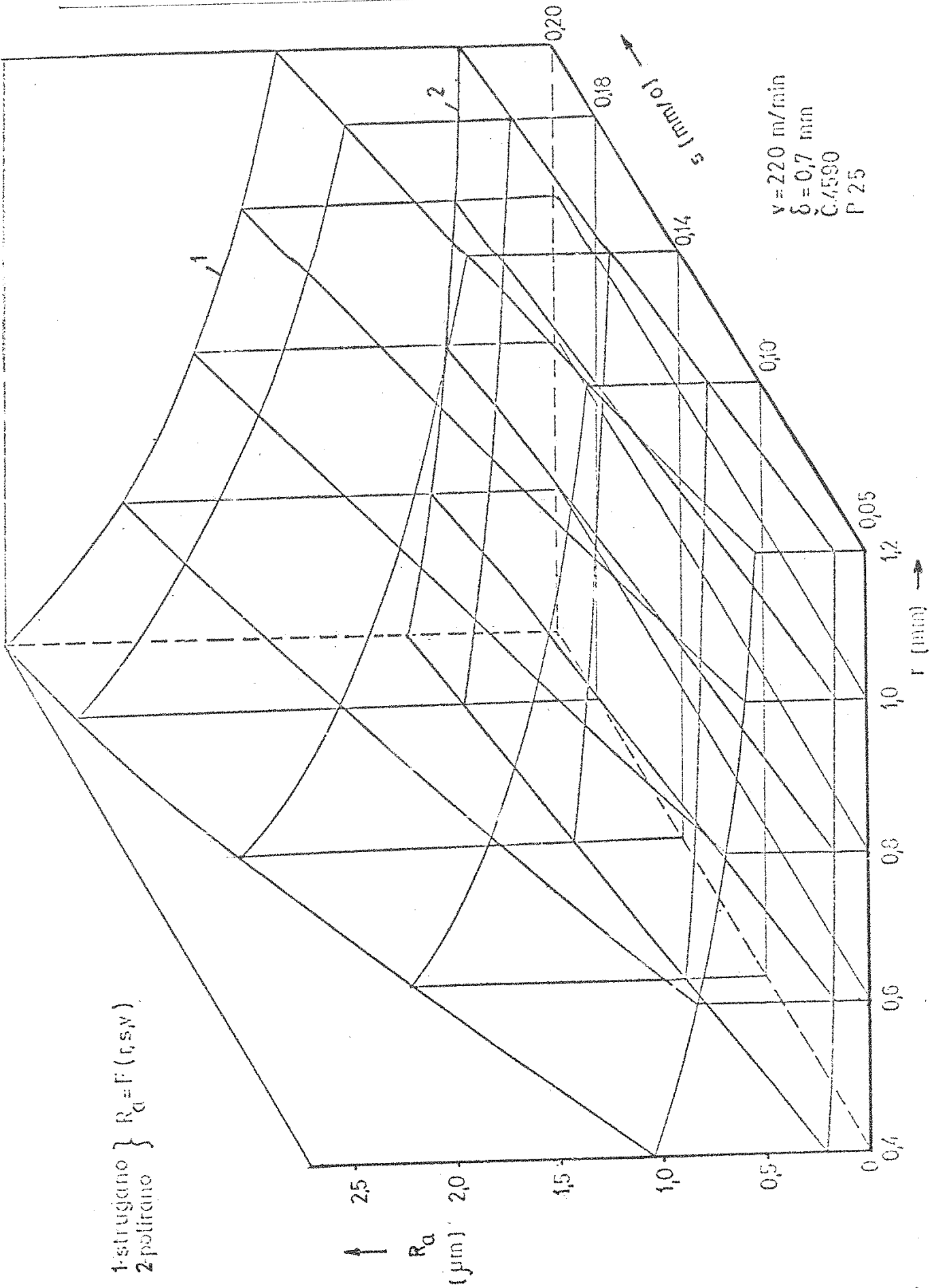
Obradom podataka dobijene su zavisnosti (3) koje su grafički prikazane na slici 3.

$$R_a = 0,26388 \cdot r^{39,564} s^{1,0717} v^{0,3486} \exp[16,401 \ln r \cdot \ln s - 7,4444 \ln r \cdot \ln v - 0,05052 \ln s \cdot \ln v - 3,0592 \ln r \cdot \ln s \cdot \ln v] \quad (\mu\text{m}) \quad (3)$$

Na osnovu obrade podataka na računaru, napravljena je tabela 3 pregleda adekvatnosti modela i signifikantnosti parametara i njihovih medjusobnih uticaja.

Pretpostavljeni model sa medjusobnim uticajima u pogledu adekvatnosti matematičkog modela za  $R_a$  i  $\alpha=0.05$  je zadovoljio, ali svi parametri nisu bili signifikantni. Nesignifikantni parametri su u tabeli 3 označeni\*.

Ovako dobijena opšta funkcionalna zavisnost izlazećeg kvaliteta od režima obrade vrlo je pogodna jer pored ostalog omogućuje i donošenje zaključaka u vezi definisanja postupka obrade. Tako je posle obrade struganjem direktno izvedeno poliranje, bez prethodnog brušenja, pošto odzivna površina  $R_a = \phi(r, s, v)$  ima samo jednu tačku ( $v_{\min}$ ,  $s_{\max}$ ,  $v_{\max}$ ) koja je iznad ravni zahtevanih kvaliteta pojedinih površina uredjaja. Opravdano se smatralo da će i za taj režim posle poliranja hrapavost biti zadovoljavajuća, što se i dogodilo, odnosno da će se postići zahtevani kvalitet



Stika 3.

Tabela 3.

Adekvatnost	Sa medj.ut. $F_R$	8,178	Teorijska vrednost za $\alpha = 0,05$ $F_t$
			9,01
Signifikantnost	c $F_{r0}$	927,000	10,13
	r $F_{r1}$	18,010	
	s $F_{r2}$	155,694	
	v $F_{r3}$	7,542*	
	rs $F_{r4}$	0,789*	
	rv $F_{r5}$	0,974*	
	sv $F_{r23}$	11,127	
	rsv $F_{r123}$	27,336	

(N5, N6, N7 i N8). Prototip uređaja USF 01.100 je stoga izradjen u RO "Jugodent" - Novi Sad prema tehnološkom postupku koji je koristio navedena iskustva i doneo time izvesne uštede. Znatne dalje uštede očekuju se pogotovo kod izrade serija.

#### 4. ZAKLJUČCI

Iz svega navedenog mogu se izvesti sledeći generalni zaključci:

1. Delimični faktorni eksperiment(DFE) izuzetno je pogodan kod eliminatornih ispitivanja, gde je važno dobiti podatka o broju uticajnih faktora na ispitivani proces, jer je ekonomičan i pouzdan.

2. Pored ušteta u izvodjenju eksperimenta, moguće su uštede i u kasnijim fazama istraživanja u kojima se koriste dobijeni bazni podaci, kao što je ovde bio slučaj.

3. Ispitivanje specijalnog medicinskog čelika izloženom metodom i opremom omogućilo je dobijanje izuzetno pouzdanih i korisnih vrednosti za banku podataka, koja se stvara za potrebe domaće industrije.

LITERATURA

- |1| Kovač,P.: Hrapavost obradjene površine u funkciji parametara rezanja pri završnoj obradi na strugu, Magistarski rad, FTN, Novi Sad, 1980.
- |2| Stankov J., Banjac,D., i drugi: Istraživanje mogućnosti primene i izrade uređaja za fiksaciju kostiju USF, FTN-Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, 1981.
- |3| Stankov, J., Kovač,P.: Odredjivanje hrapavosti posle obrade poliranjem kao merene i računске vrednosti, JUKEM, X jug.simp. o mjerilima i mjernoj opremi, Budva, 1982.

O z n a k e

$N_E$	ukupan broj opita
$n$	broj ponavljanja opita
$N$	broj tačaka plana
$\lambda$	broj koeficijenata regresione jednačine
$f_R, f_E$	broj stepeni slobode
$d$	stepen polinoma
$k$	broj faktora
$y_u = \sum_{u=1}^n \bar{R}_a$	rezultat merenja
$\bar{y}$	aritmetička sredina rezultata merenja
$\hat{y}_u$	izračunate vrednosti iz regresione jednačine
$y_{uj}$	rezultati pojedinih ponavljanja - merenja.