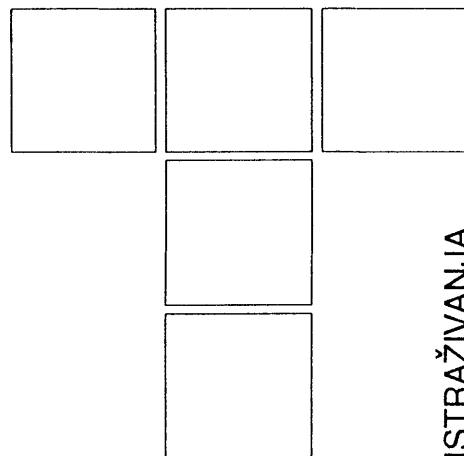


S. SEKULIĆ, P. KOVAČ

# Korelacija između pojedinih parametara hrapavosti obrađene površine pri završnoj obradi na strugu



## 1. UVOD

Jugoslovenski standard JUS M. A1. 020 sadrži objašnjenja i definicije pojmova vezanih za sistem klasifikacije površinske hrapavosti. Ovim standardom u nas je prihvaćen sistem srednje linije "m" prema kojem se definiše:

- srednje aritmetičko odstupanje profila od srednje linije (kao osnovni parametar hrapavosti obrađene površine):

$$R_a = \frac{1}{l} \cdot \int |y_i| \cdot dx \approx \frac{1}{n} \cdot \sum |y_i|$$

- srednja visina neravnina u 10 tačaka, koja predstavlja razliku srednje aritmetičke vrednosti visine pet najviših i pet najnižih tačaka profila u granicama referentne dužine, ako su te tačke merene od proizvoljne prave paralelne sa srednjom linijom profila, tj.:

$$R_z = \frac{1}{5} \cdot [(R_1 + R_3 + \dots + R_9) - (R_2 + R_4 + \dots + R_{10})]$$

- najveća visina neravnina  $R_{max}$ , predstavlja razmak između dveju paralelnih pravih paralelnih sa srednjom linijom profila povučeni tako da u granicama referentne dužine dodiruju najvišu i najnižu tačku profila.

Pored gore navedenih uvedeni su i dopunski parametri za ocenu hrapavosti:

- dužina nošenja

$$l_n = \sum l_i$$

koja predstavlja sumu odsečaka ( $l_i$ ), u granicama referentne dužine ( $l$ ), koje efektivni profil odseca na pravou, paralelnoj sa srednjom linijom profila ( $m$ ) povučenoj na

izvesnom rastojanju ( $c$ ) ispod najviše tačke toga dela efektivnog profila ( $c = f(R_{max})$ ).

- procenat nošenja

$$p_n = \left( \frac{l_n}{l} \right) \cdot 100\%$$

koji predstavlja odnos dužine nošenja i referentne dužine izražen u procentima.

Procenat nošenja  $p_n$ , iako uveden kao dopunski parametar za ocenu hrapavosti, u novije vreme se sve više ističe kao značajni pokazatelj vezan za veličinu efektivne površine kontakta između dva elementa.

Veza između najveće visine neravnina i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije, odn. njihove numeričke veze date su nemačkim normama DIN 4767/70, a između srednje visine neravnina u deset tačaka i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije našim standardom JUS M. A1. 020 /79, uz napomenu da su sve približne.

Zavisnost između najveće visine neravnina i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije  $R_{max} = f(R_a)$  predstavljena je u eksponencijalnom obliku [1]

$$R_{max} = 6.1595 \cdot R_a^{0.98}$$

bez naznake vrste obrade i uslova pod kojim se izvodi. Obzirom da je eksponent u poslednjoj zavisnosti blizak jedinici može se zaključiti da između najveće visine neravnina i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila postoji direktna proporcionalnost tj.  $R_{max} = 6.16 \cdot R_a$ .

U ovom radu, tačnije veze između najveće visine neravnina i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije i procenta nošenja i srednjeg aritmetičkog

Prof. dr Sava Sekulić, dipl. ing.,  
Doc. dr Pavel Kovač, dipl. ing., FTN, Novi Sad.

odstupanja profila od srednje linije pri završnoj obradi na strugu potražene su u eksponencijalnom

$$R_{\max} = B \cdot R_a^a$$

i linearnom obliku

$$R_{\max} = a \cdot R_a + b$$

## 2. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

### 2.1 Parametri koji utiču na hrapavost obrađene površine

Kvalitet obrađene površine nakon završne obrade ima primarni značaj na eksploatacijske karakteristike obradka (tačnost i kvalitet obrađene površine). Kvalitet obrađene površine karakteriše veliki broj parametara kao što su geometrijski i kinematski parametri, deformacije strugotine, stanje dinamičkog sistema - mašina alatka, pribor, obradak i alat, stanje pohabanosti reznog klina itd.

Prilazi ispitivanju hrapavosti obrađene površine mogli bi se podeliti u tri grupe: 1. geometrijski modeli, 2. modeli na bazi habanja alata i drugih pratećih uticaja i 3. modeli koji baziraju na teoriji višefaktornog plana eksperimenta.

Geometrijske i eksperimentalne modele pri rezanju "oštrim" alatom razrađivali su: Schmaltz (1963), Opitz i Moll (1940), Galoway (1945), Beleckij (1946), Skragan (1947), Takenaka (1951), Krivouhov (1958), Bramertz (1961), Olsen (1968), Šolaja (1952 do 1972), Sekulić (1958 do 1970), Fišer (1971).

Uticaj koncentrisanog habanja i drugih parametara na hrapavost obrađene površine proučavali su: Galoway (1945), Akinaci (1949), Pekelharing i Schuerman (1953), Tompson, Scott i Stabler (1953/54), Šolaja (1957 do 1972), Bramertz (1961), Sekulić (1968), Pekerharing i Giesen (1967 do 1971), Selvam i Radhakrishnan (1973 do 1976), Snunmugan (1974), Lonardo (1976), Bailejy (1977), Wallbank (1979), Monheim (1980).

Statistički prilazi određivanju zavisnosti hrapavosti obrađene površine na osnovu višefaktornog plana eksperimenta razvili su: Rasch (1971), Kuljanić (1971), Taraman (1974 do 1977), Nassirpour i Wu (1977), Mišković (1978), Sekulić i Kovač (1979), Kovač (1980) [2], Kovač i Sekulić (1981) [3, 4].

### 2.2 Matematički model korelacione veze

U cilju određivanja korelacione veze između najveće visine neravnina i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije i procenta nošenja i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije sistematizovan

je obimni eksperimentalni materijal vezan za ispitivanje dve vrste čelika alatima sa različitim poluprečnicima zaobljenja vrha  $r$ , pri različitim vrednostima režima rezanja (pomak  $s$ , brzina rezanja  $v$  i dubina rezanja  $\delta$ ) i vremena rezanja  $t$  (parametar rezanja  $t$  uzima u obzir stanje reznog klina vezano za njegovu pohabanost).

Korelacione veze zatražene su u eksponencijalnom i linearnom obliku:

$$Y = B \cdot X^a$$

i

$$y = a \cdot x + b$$

Ako prvu jednačinu logaritmuje dobićemo:

$$\log Y = a \cdot \log X + \log B$$

Označimo li sa:

$$y = \log Y; \quad x = \log X; \quad b = \log B$$

u logaritamskoj mreži, takođe, dobijamo linearnu zavisnost  $y = ax + b$ , pa se u oba slučaja primenjuje identična procedura pri obradi eksperimentalnih podataka (u prvom slučaju se unose logaritmi, a u drugom neposredno parametri hrapavosti).

Primenjujući metodu najmanjih kvadrata na linearnu zavisnost oblika:

$$y = a \cdot x + b$$

tj. daje zbir kvadrata pojedinih grešaka  $\Delta_i$  minimalan [5].

$$\left( \sum \Delta_i^2 \right)_{\min}$$

dolazi se do sistema jednačina

$$\sum (x_i \cdot y_i) - a \cdot \sum (x_i)^2 - b \cdot \sum x_i = 0$$

$$\sum y_i - a \cdot \sum x_i - N \cdot b = 0$$

odnosno

$$A_1 \cdot a + B_1 \cdot b = C_1$$

$$A_2 \cdot a + B_2 \cdot b = C_2$$

gde je

$$A_1 = \sum (x_i)^2; \quad A_2 = \sum x_i = B_1;$$

$$B_2 = N; \quad C_1 = \sum (x_i \cdot y_i); \quad C_2 = \sum y_i$$

Gornji sistem ima rešenja:

$$a = \frac{D_a}{D} = \frac{\begin{vmatrix} C_1 & B_1 \\ C_2 & B_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix}} = \frac{(C_1 \cdot B_2 - C_2 \cdot B_1)}{(A_1 \cdot B_2 - A_2 \cdot B_1)}$$

$$b = \frac{D_b}{D} = \frac{\begin{vmatrix} A_1 & C_1 \\ A_2 & C_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix}} = \frac{(A_1 \cdot C_2 - A_2 \cdot C_1)}{(A_1 \cdot B_2 - A_2 \cdot B_1)}$$

Konstante  $A_1, \dots, C_2$  određuju se tablično, čijom zamenom se dobijaju numeričke vrednosti za a i b.

Koeficijent korelacije iznosi:

$$r = a \cdot \left( \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \right)$$

a varijansa x-vrednosti:

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \cdot \sum x_i^2 - \bar{x}^2 = \frac{A_1}{B_2} - \left( \frac{A_2}{B_2} \right)^2$$

i varijansa y-vrednosti:

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{N} \cdot \sum y_i^2 - \bar{y}^2 = \frac{E}{B_2} - \left( \frac{C_2}{B_2} \right)^2; \quad E = \sum y_i^2;$$

gde je srednja vrednost nezavisne promenljive:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \cdot \sum x_i = \frac{A_2}{B_2} = \frac{B_1}{B_2}$$

i srednja vrednost zavisne promenljive:

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \cdot \sum y_i = \frac{C_2}{B_2}$$

Posle odgovarajućih zamena za koeficijent korelacije dobijamo:

$$r = \frac{C_1 \cdot B_2 - C_2 \cdot B_1}{A_1 \cdot B_2 - A_2 \cdot B_1} \cdot \left\{ \left[ \frac{A_1}{B_2} - \left( \frac{A_2}{B_2} \right)^2 \right] \cdot \left[ \frac{E}{B_2} - \left( \frac{C_2}{B_2} \right)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Ukoliko je koeficijent korelacije bliži jedinici korelacija između promenljivih je jača.

### 2.3 Uslovi pri eksperimentalnom ispitivanju i obrada podataka

Materijali obradka su bili konstrukcioni čelik Č.0645 (oznaka po DIN-u St 60) sledećeg hemijskog sastava: 0.43% C, 0.29% Si, 0.79% Mn, 0.015% P, 0.001% S i mehaničkih karakteristika: jačine materijala na kidanje  $\sigma_M = 740 \text{ N/mm}^2$ , granice razvlačenja  $\sigma_v = 360 \text{ N/mm}^2$  i izduženja  $\delta_5 = 17\%$ , i konstrukcioni čelik za poboljšanje Č.4732 (oznaka po DIN-u 42CrMo4) sledećeg hemijskog sastava: 0.42% C, 0.27% Si, 0.63% Mn, 1.11% Cr, 0.16% Mo, 0.010% S, 0.012% P, sa  $\sigma_M = 680 \text{ N/mm}^2$  i tvrdoće nakon žarenja 196 HB.

Kao alat korišćen je standardni savijeni strugarski nož za završnu obradu, desni, sa pločicom od tvrdog metala prema JUS K. C1. 053/65 (ISO 3), preseka drške 12x20, sa pločicom A10 (JUS K. C1. 006), sa grudnim uglom  $g = 12^\circ$  i radiusima zaobljenja vrha  $r: 0.5, 0.9, 1.6 \text{ mm}$ .

Parametri hrapavosti  $R_{max}$  i  $R_a$  mereni su na Perth-O-Meter-u tipa "Universal".

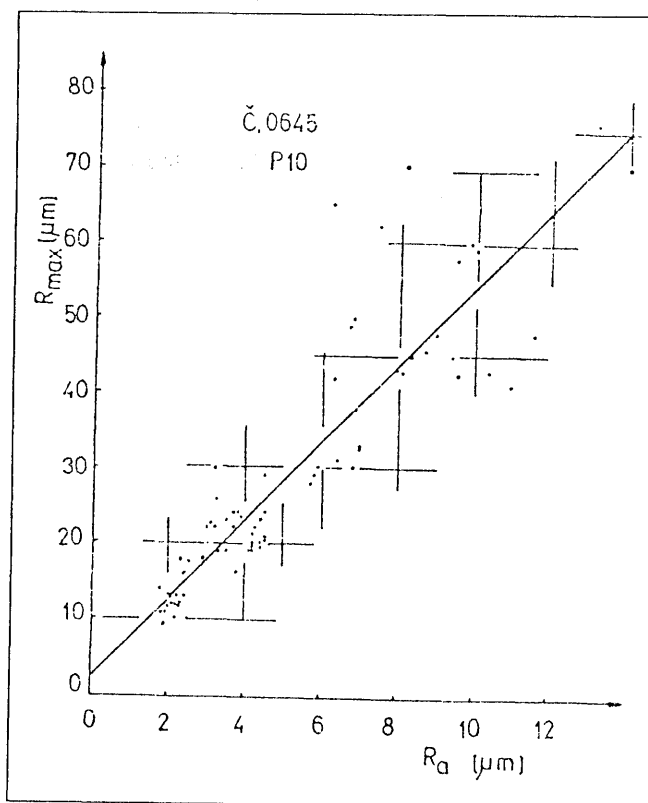
Obrada rezanjem izvođena je na univerzalnom strugu "Potisje-Morando" PA 22 pogonske snage 10 kW, sa rasponom brojeva obrta od 20 do 2000  $\text{min}^{-1}$  (24 stepena).

Hrapavost je merena direktno ili uzimanjem otisaka sa obrađene površine (plastična masa "Technovit" 304, zelene boje, proizvodnja "Kulzer", SR Nemačka). Uzorci obradka pri rezanju ostrim alatom bili su dimenzija  $\phi 45 \times 350 \text{ mm}$  sa mernim poljima širine 35 mm, a pri vremenskim ispitivanjima  $\phi 150 \times 700 \text{ mm}$ .

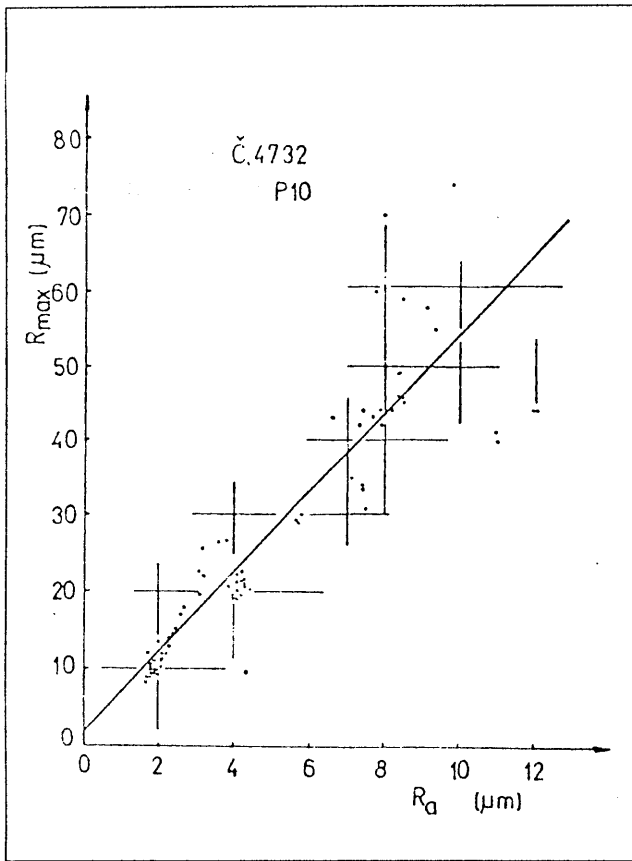
U cilju dobijanja dovoljno pouzdane veze između promenljivih veličina posmatran je statistički reprezentativan uzorak  $N = 78 > 50$ .

Pored regresionih pravih u dijagramima su ucrtane i izmerene vrednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije  $R_a$ , najveće visine neravnina  $R_{max}$  i procenta nošenja  $p_n$ , za oba ispitivana materijala (sl. 1 do sl. 8)

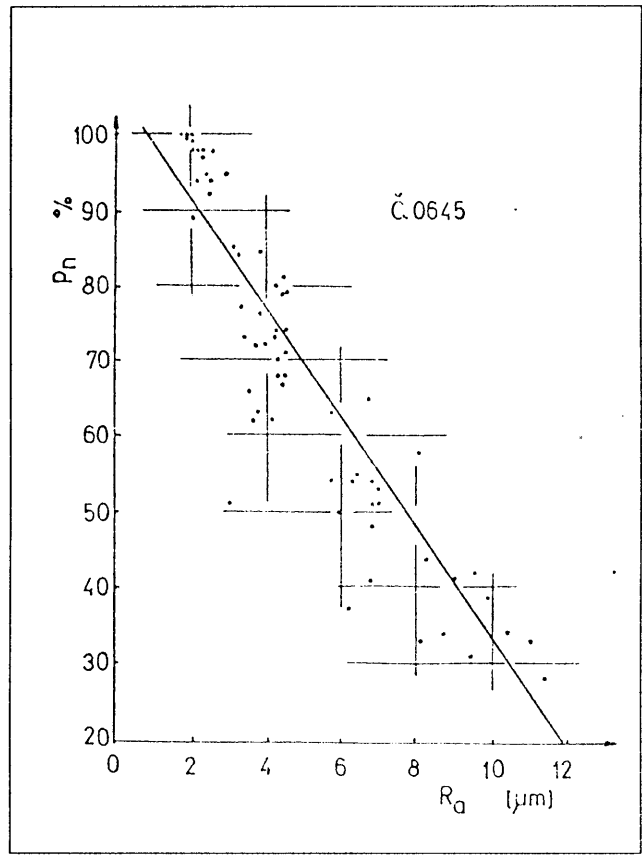
Rezultati numeričke obrade podataka, prema iznetom u 2.2, dati su po elementima, u tablici 1.



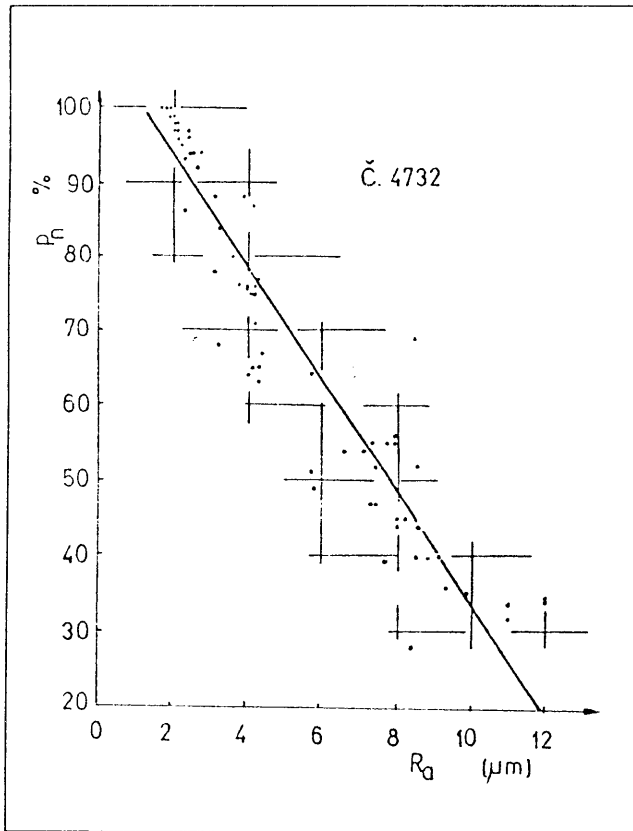
Sl. 1.  
Fig. 1.  
Puc. 1.



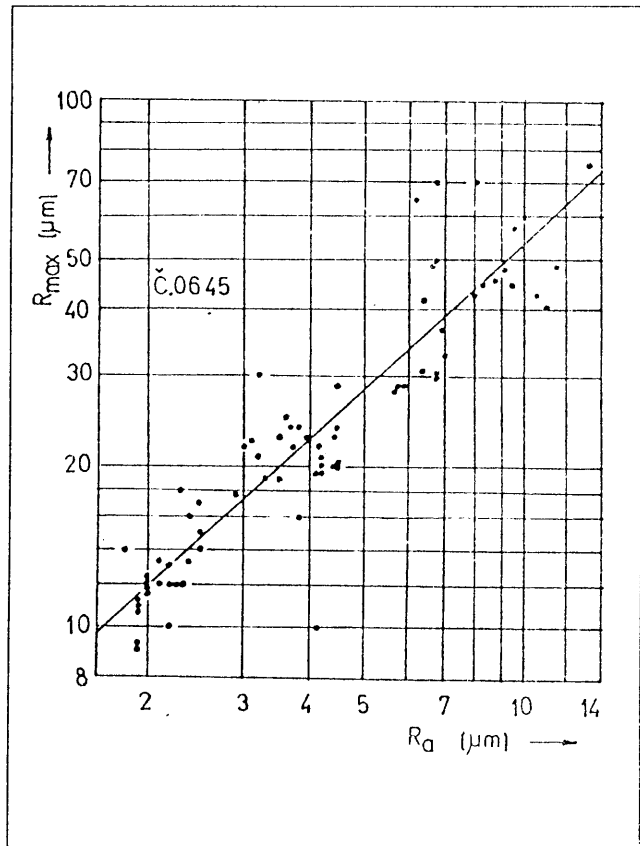
Sl. 2.  
Fig. 2.  
Puc. 2.



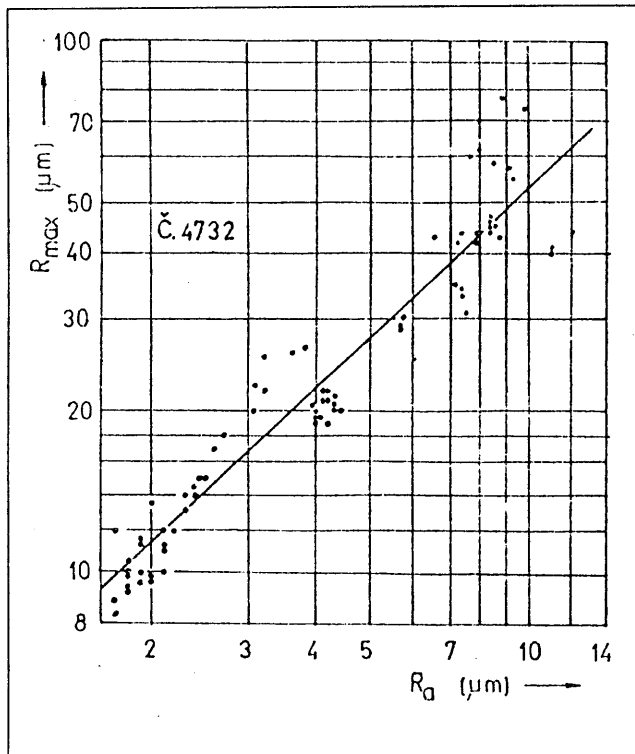
Sl. 3.  
Fig. 3.  
Puc. 3.



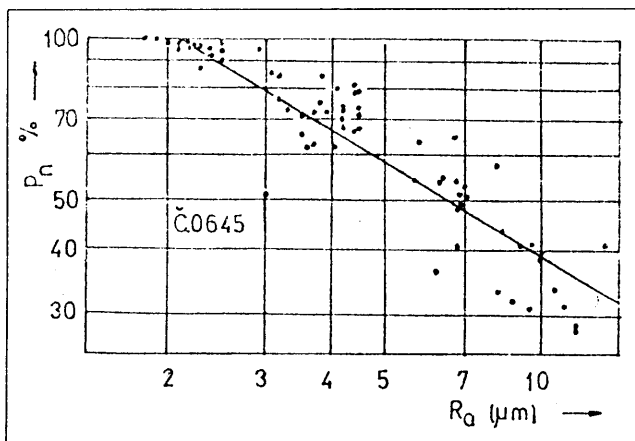
Sl. 4.  
Fig. 4.  
Puc. 4.



Sl. 5.  
Fig. 5.  
Puc. 5.



Sl. 6.  
Fig. 6.  
Puc. 6.

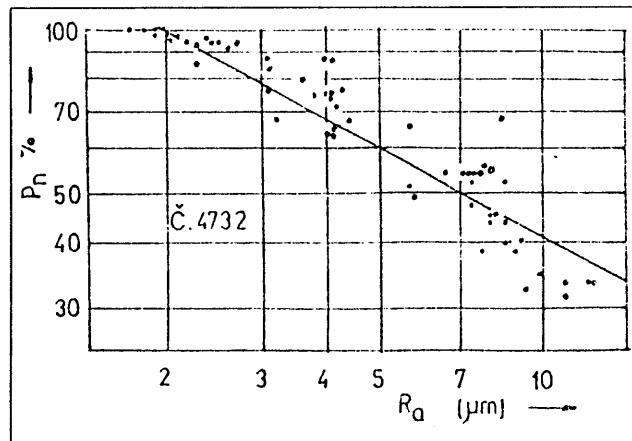


Sl. 7.  
Fig. 7.  
Puc. 7.

### 3. ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA

Nakon obrade eksperimentalnih podataka, prikladnost matematičkih modela možemo vrednovati preko vrednosti koeficijenta korelacije, ali i na osnovu veličina eksponenta u eksponencijalnoj zavisnosti.

Kao što je poznato, ukoliko je koeficijent korelacije bliži jedinici korelaciona veza je jača. Međutim, ako je eksponent u eksponencijalnoj vezi blizak jedinici ukazuje da između nezavisno i zavisno promenljive postoji linearna zavisnost.



Sl. 8.  
Fig. 8.  
Puc. 8.

U skladu sa gore izloženim može se generalno zaključiti da su u svim izvedenim zavisnostima pripadajući koeficijenti korelacije vrlo visoki ( $r > 0.88$ ).

U zavisnosti  $R_{max} = B R_a$  vrednost eksponenta  $a$  bliska je jedinici (za Č.0645  $a = 0.94$ , a za Č.4732  $a = 0.96$ ), pa je moguće za  $R_{max} = f(R_a)$ , kao prostiju primeniti linearnu zavisnost  $R_{max} = a \cdot R_a + b$ , ali su u njoj koeficijenti korelacije nešto niži (za Č.0645  $r = 0.88 < 0.92$  i za Č.4732  $r = 0.88 < 0.96$ ).

Tablica 1

Materijal obradka Č.0645				
Model	$R_{max}$		$P_n$	
	$b \cdot R_a^a$	$a \cdot R_a + b$	$B \cdot R_a^a$	$a \cdot R_a + b$
$\bar{x}$	4.00775	4.7560	4.15474	4.7690
$\bar{y}$	22.87110	27.0870	66.71680	71.4269
$\sigma_x^2$	1.74850	7.7560	1.75475	2.7879
$\sigma_y^2$	1.76506	217.8350	1.43303	22.4550
b (B)	6.16320	2.3992	145.5030	106.1370
a	0.93606	5.1968	-0.58961	-7.2778
r	0.92050	0.8780	0.9264	0.9036
Materijal obradka Č.4732				
Model	$R_{max}$		$P_n$	
	$b \cdot R_a^a$	$a \cdot R_a + b$	$B \cdot R_a^a$	$a \cdot R_a + b$
$\bar{x}$	4.10779	4.920	4.142	4.9345
$\bar{y}$	22.8711	27.631	67.4428	72.0769
$\sigma_x^2$	1.85478	8.694	1.8456	2.9532
$\sigma_y^2$	1.8643	300.994	1.4386	23.3751
b (B)	5.87092	2.0800	149.0265	109.0871
a	0.96247	5.1928	-0.5578	-7.5003
r	0.95453	0.8825	0.9399	0.9476

Interesantno je primetiti da je pri našim uslovima za Č.0645 dobijeno  $R_{max}=6.16 \cdot R_a^{0.94}$  (T.1), i u odnosu na [1] samo je neznatna rezlika u eksponentu (0.98).

Veličina eksponenta u zavisnosti  $p_n = B \cdot R_a^a$  znatno je manja i iznosi za Č.0645  $a=-0.60$ , a za Č.4732  $a=-0.56$ , što ukazuje na značajno odstupanje od linearne zavisnosti. U linearnom matematičkom modelu  $p_n = a \cdot R_a + b$ , kod Č.0645 postignut je  $r=0.9$ , a kod eksponencijalnog  $r = 0.93$ , međutim, može se primetiti da je za Č.4732 u eksponencijalnom matematičkom modelu dobijen neznatno manji koeficijent korelacije ( $r=0.94$ ) u odnosu na linearni ( $r=0.95$ ).

#### 4. ZAKLJUČCI

Na osnovu napred izloženog može se zaključiti:

- ▶ da se za korelacione matematičke modele, koji povezuju pojedine parametre hrapavosti obrađene površine, pri završnoj obradi na strugu, mogu usvojiti eksponencijalne i linearne zavisnosti i
- ▶ za ispitivane materijale, u predloženim matematičkim modelima, postoji vrlo jaka korelaciona veza između posmatranih parametara.

#### LITERATURA

- [ 1 .] DJAČENKO, P. E., i dr., 1959, **O razrobotke projekta međunarodnoga standarta na šerohovost poverhnosti**, Kačestvo poverhnosti detalej mašin, Trudi seminara po kačestvu poverhnosti, Sbornik 4, Izdatelstvo AN SSSR, Moskva.
- [ 2.] KOVAČ, P., 1980, **Hrapavost obrađene površine u funkciji parametara rezanja pri završnoj obradi na strugu**, Magistarski rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.

- [ 3.] KOVAČ, P., SEKULIĆ, S., 1981, **The systems approach to the use of response surface methodology on the quality of the surface finish in turning**, Effectiveness, quality and humanity of production systems, Proc. VI Internationall conference on production research - ICPR 81, Vol. 1, Effectiveness of production research system, Aug., 29., 1981, Novi Sad.
- [ 4.] KOVAČ, P., SEKULIĆ, S., 1981, **Sistemski prilaz primeni višefaktornog plana eksperimenta na kvalitet obrađene površine pri završnoj obradi na strugu**, Zbornik radova VI međunarodne konferencije za proizvodna istraživanja - ICPR'81, 24-29 aug., 1981, Novi Sad.
- [ 5.] SEKULIĆ, S., KOVAČ, P., 1986, **Korelacija između najveće visine neravnina i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije obrađene površine**, Tribologija u industriji, god. VIII, br. 1.
- [ 6.] SEKULIĆ, S., KOVAČ, P., 1987, **Korelacija između procenta nošenja i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije obrađene površine pri završnoj obradi na strugu**, Zbornik radova Međunarodnog savetovanja o novim proizvodnim sistemima i tehnologiji, AMST'87, okt. 1987, Opatija.
- [ 7.] SEKULIĆ, S., KOVAČ, P., 1987, **Korelacija medzi jednotlivimi parametrami drsnosti obrobeneho povrhu pri jemnom sustruženju**, Prednašky 3. Simpozium INTERTRIBO'88, I diel, April 27, 1987, Vysoke Tatry.
- [ 8.] CEBALO, R., 1987, **Korelacija između hrapavosti brušene površine kod različitih postupaka brušenja**, Tribologija u industriji, god. IX, br.2.
- [ 9.] VUKADINOVIĆ, S., 1973, **Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike**, Privredni pregled, Beograd.

## Correlation between Some Roughness Parameters of the Machined Surface in Finish Turning

*The relationship between individual roughness parameters of a machined surface are approximately given by tables. In order to determine more accurate relationships, experimental results were processed for statistically valid sample ( $N = 78 > 50$ ) and point to strong correlation between roughness parameters.*

## Соотношение отдельных параметров шероховатости обработанной поверхности при окончательной обработке точением

*Соотношение отдельных параметров шероховатости обработанной указанным способом в таблицах даются приближительных значениях. С целью определения более точных соотношений авторами статистически обработаны опытные данные для образца ( $N=785>50$ ) и показана большая взаимозависимость параметров шероховатости.*