

ORIGINALNI NAUČNI RAD

Kovač P.

ZAVISNOST HRAPAVOSTI OBRADJENE POVRŠINE  
OD HABANJA ALATA

Rezime

*U radu su prikazana eksperimentalna istraživanja hrapavosti obradjene površine i habanja alata pri čeonom glodanju. Istraživanja su vršena pri različitim režimima rezanja a predložena je zavisnost između parametara hrapavosti obradjene površine i širine pojasa habanja.*

SURFACE ROUGHNESS AS A FUNCTION OF  
TOOL WEAR

Summary

*This paper present the experimental results of surface roughnes and tool wear during face milling. Investigation have been performed with varions values of cutting conditions and functional relationship between surface roughnes and tool wear, was presented.*

1. U V O D

Pri stvarnim uslovima obrade, u produženoj fazi rezanja naročiti uticaj na hrapavost obradjene površine ima pohabano-st alata. U zoni kontakta između grudne površine alata i stugotine, kao i ledjne površine alata i obradka, dolazi do habanja usled čega dolazi do promena na sečivu što se reprodukuje na obradjenu površinu.

Uticaj habanja alata, pri čeonom glodanju, na hrapavost obradjene površine istraživan je [1] pri glodanju silumina sa jednozubim alatom; da bi se pri eksperimentu eliminisali uticaji ekcentričnosti i netačnost izrade glodala i uprostila analiza rezultata. Pri eksperimentu je variran pomak po zubu

Kovač dr Pavel, asistent, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, V. Vlahovića 3.

a merena je hrapavost obradjene površine  $R_a$  u pravcu pomaka i normalno na ovaj pravac, u zavisnosti od promene širine pojasa habanja na ledjnoj površini.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zapaziti da kod manjih pomaka hrapavost u uzdužnom pravcu raste u funkciji dužine rezanja, uz malo oscilovanje vrednosti. Kod vrlo velikih pomaka  $s_z = 1,6$  mm/z dolazi do opadanja hrapavosti sa habanjem alata.

Hrapavost  $R_a$  sa prelaskom habanja u poprečnom pravcu na pomak raste mnogo brže uz manje kolebanje nego u pravcu pomaka.

Na osnovu napred izloženog predložen je jedan model za opisivanje hrapavosti u oba pravca [1]. Ovim ispitivanjima bi se moglo zameriti što nisu izvedena i pri većim širinama pojasa habanja tj. do zatupljenja alata, kada bi se pouzdanije moglo zaključiti o karakteru hrapavosti obradjene površine.

Pri obradi struganjem postoji dosta radova [2] u kojima se predlaže da se pogoršanje kvaliteta obradjene površine poveže sa koncentrisanim habanjem. Koncentrisano habanje se javlja u vidu žljebova različitih dužina na rastojanju pomaka, na pomoćnoj ledjnoj površini. Dubina i dužina žljebova koncentrisanog habanja, kao i njihov broj povećava se sa vremenom rezanja. Matematički modeli, koji povezuju hrapavost obradjene površine i koncentrisano habanje, su dosta složeni i baziraju na merenju geometrijskih veličina žljebova koncentrisanog habanja.

Pri čeonom glodanju [3] istražena je promena hrapavosti obradjene površine kao posledica habanja alata, medjutim, nije predložen nikakav poseban matematički model, koji opisuje ovu pojavu.

## 2. MATEMATIČKI MODEL HRAPAVOSTI OBRADJENE POVRŠINE

Na osnovu ranijih istraživanja [4] može se zaključiti da najznačajniji parametri procesa obrade, kao što su otpori rezanja i temperature pri rezanju, zavise od parametara habanja alata. U matematički model uvedena je širina pojasa habanja na ledjnoj površini kao najznačajniji parametar, a koji se i najlakše meri. Iz gore navedenih razloga se predlaže da se u matematičke modele ostalih parametara procesa (sile, temperature) takodje unese širina pojasa habanja  $VB$ .

Matematički model za parametre hrapavosti obradjene površine u funkciji od habanja alata potražiće se u obliku linearne i

eksponencijalne zavisnosti:

$$R_i = a_{1i} + b_{1i} VB \quad (1)$$

$$R_i = a_{2i} \cdot VB^{b_{2i}} \quad (2)$$

Linearna zavisnost je pogodnija za upravljanje procesom a eksponencijalni oblik više odgovara dosadašnjim modelima koji se koriste u procesima obrade rezanjem.

Za odredjivanje konstanti u predloženim matematičkim modelima koristiće se metoda najmanjih kvadratnih odstupanja.

### 3. USLOVI PRI EKSPERIMENTALNOM ISPITIVANJU

#### 3.1. Materijal obradak

Eksperimentalna ispitivanja su vršena na čeliku za poboljšanje č.1730. Isporučen je u obliku šipke  $\varnothing 130 \times 4000$  mm. Šipka je isečena na manje komade dužine 700 mm, čime je obezbedjeno da materijal bude ujednačenog kvaliteta. Za ispitivanja, komadi materijala obradjivani su na dimenzije 100x130x700 mm, da bi se obezbedila konstantna širina glodanja.

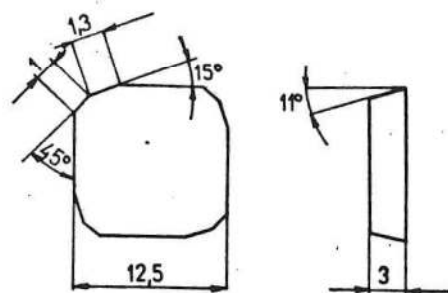
Na osnovu metalografske analize utvrđeno je da je materijal isporučen u normalizovanom stanju. Sprovedena hemijska analiza pokazala je da je hemijski sastav osnovnih elemenata u granicama, standardom predviđenim, za ovaj čelik. Tvrdoća materijala HB=226, a zatezna čvrstoća  $800 \cdot 10^6$  Pa.

#### 3.2. Mašina i alat

Ispitivanja su izvršena na vertikalnoj glodalici "PRVOMAJSKA" FSS-GVK-3, koja ima: snagu pogonskog elektromotora 14 KW, snagu pomoćnog elektromotora 2,2 KW, raspon brojeva obrtaja od 28 do 1400 o/min (18 stupnjeva), raspon brzine pomoćnog kretanja od 16 do 800 mm/min (18 stupnjeva), maksimalni prečnik glodala 315 mm.

Pri ispitivanju korišćena je glava za glodanje "JUGOALAT" G.715  $\varnothing 125$  mm, sa mehanički pričvršćenim pločicama od tvrdog metala. Broj zuba 8, napadni ugao  $75^\circ$ , grudni ugao  $7^\circ$ , ledjni ugao  $18^\circ$ .

Kao rezni materijal alata korišćene su kvadratne okretne pločice od tvrdog metala "Prvi partizan". Oznaka pločice SPAN 12 03 ER, kvaliteta P25. Izlged pločice je na slici 1.



Slika 1. Izgled pločice od TM

Rezanje je vršeno pri srednjem položaju glodala u odnosu na alat i bez upotrebe sredstva za podmazivanje i hladjenje.

### 3.3. Režim obrade

Režim obrade je obuhvatio sledeće elemente:

- brzinu rezanja  $v$  [m/s], odnosno odgovarajući broj obrtaja na mašini  $n$  [o/min],
- pomak po zubu  $s_z$  [mm/z], odnosno odgovarajuća brzina kretanja stola mašine  $s$  [mm/min],
- dubina rezanja  $\delta$  [mm].

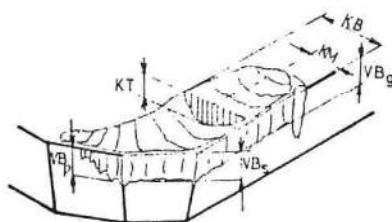
Varirani režimi rezanja su prikazani u tabeli 1.

Tabela 1.

Režim br.	$v$ m/s	$s_z$ mm/z	$\delta$ mm	Režim br.	$v$ m/s	$s_z$ mm/z	$\delta$ mm
1	2,32	0,178	1,00	13	1,83	0,223	1,50
2	3,67	0,178	1,00	14	4,65	0,223	1,50
3	2,32	0,280	1,00	15	2,95	0,142	1,50
4	3,67	0,280	1,00	16	2,95	0,351	1,50
5	2,32	0,178	2,25	17	2,95	0,223	0,67
6	3,67	0,178	2,25	18	2,95	0,223	3,37
7	2,32	0,280	2,25	19	1,83	0,223	1,50
8	3,67	0,280	2,25	20	4,65	0,223	1,50
9	2,95	0,223	1,50	21	2,95	0,142	1,50
10	2,95	0,223	1,50	22	2,95	0,351	1,50
11	2,95	0,223	1,50	23	2,95	0,223	0,67
12	2,95	0,223	1,50	24	2,95	0,223	3,37

### 3.4. Merenje habanja alata

U cilju utvrđivanja karaktera kao i veličine parametara habanja alata u funkciji vremena rezanja, vršeno je praćenje habanja po grudnoj i ledjnoj površini, slika 2.



Slika 2. Parametri habanja pločice

Na ledjnoj površini alata praćena je srednja vrednost širine pojasa habanja na fazetama  $VB_g$  i  $VB_s$ .

Da bi fazete pri merenju bile u horizontalnom položaju, napravljen je pribor koji je uvek obezbedjivao isti položaj pojedine fazete, pri merenju habanja na alatnom mikroskopu.

Na grudnoj površini merena je širina kratera  $KB$ , tako što je pločica pri merenju ležala na stolu alatnog mikroskopa "Zeiss".

Merenje dubine kratera  $KT$  vršeno je na šmalc-ovom mikroskopu, koji prvenstveno služi za merenje hrapavosti. Uz odgovarajuće uvećanje moguće je i merenje dubine kratera. Pločica je postavljena u naročiti pribor od pleksiglasa, koji je obezbedjivao uvek isti položaj.

### 3.5. Merenje hrapavosti obradjene površine

Merenje hrapavosti vršeno je na digitalnom perthometru S5P u RO "IDA" L7TK Kikinda.

Mereni su sledeći parametri hrapavosti:

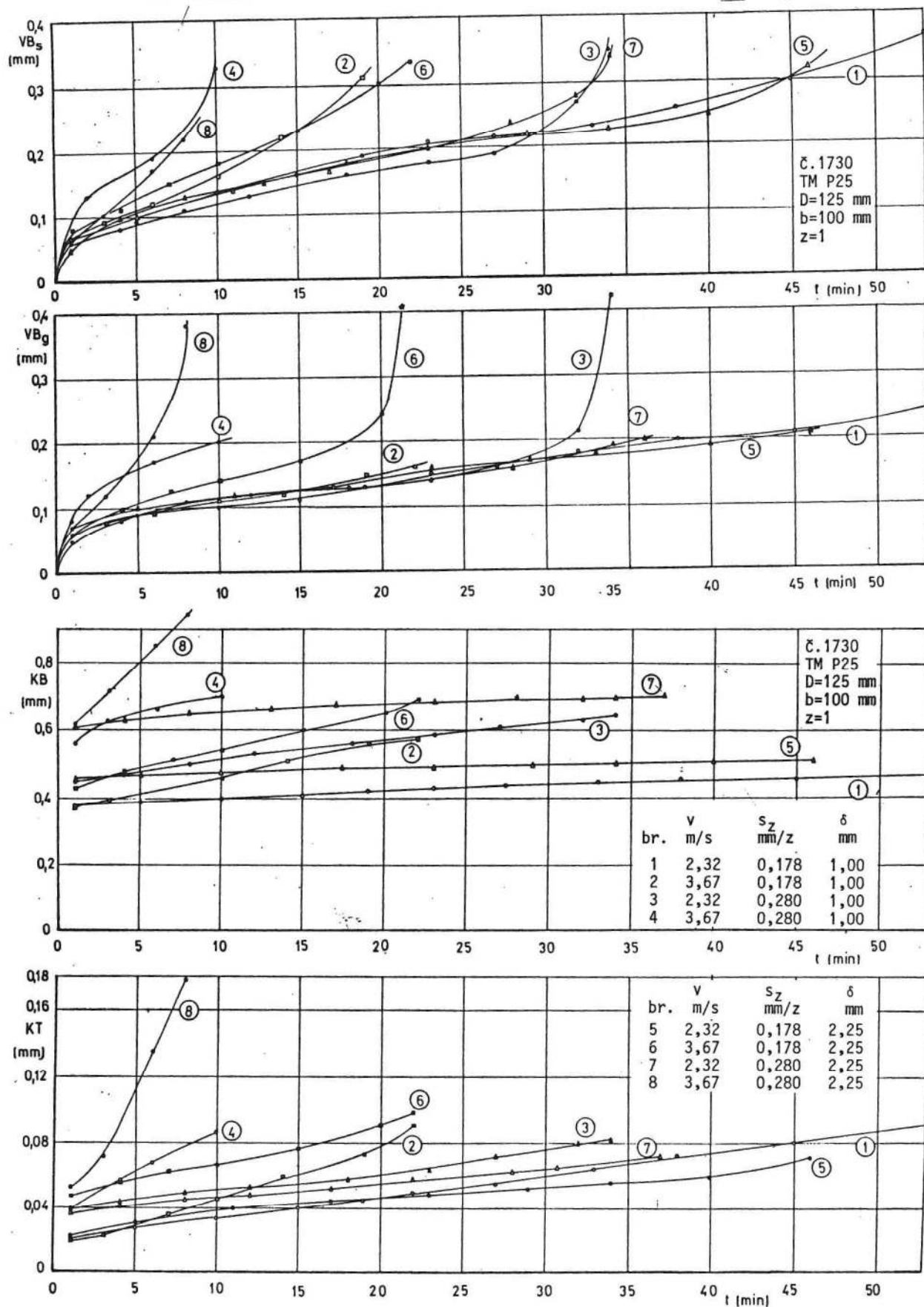
$R_a$  - srednja aritmetička hrapavost

$R_s$  - srednja geometrijska hrapavost

$R_t$  - maksimalna hrapavost. Rastojanje između najvišeg brega i najdublje doline na putu merenja

$R_z$  - Srednja aritmetička hrapavost u deset taćaka.

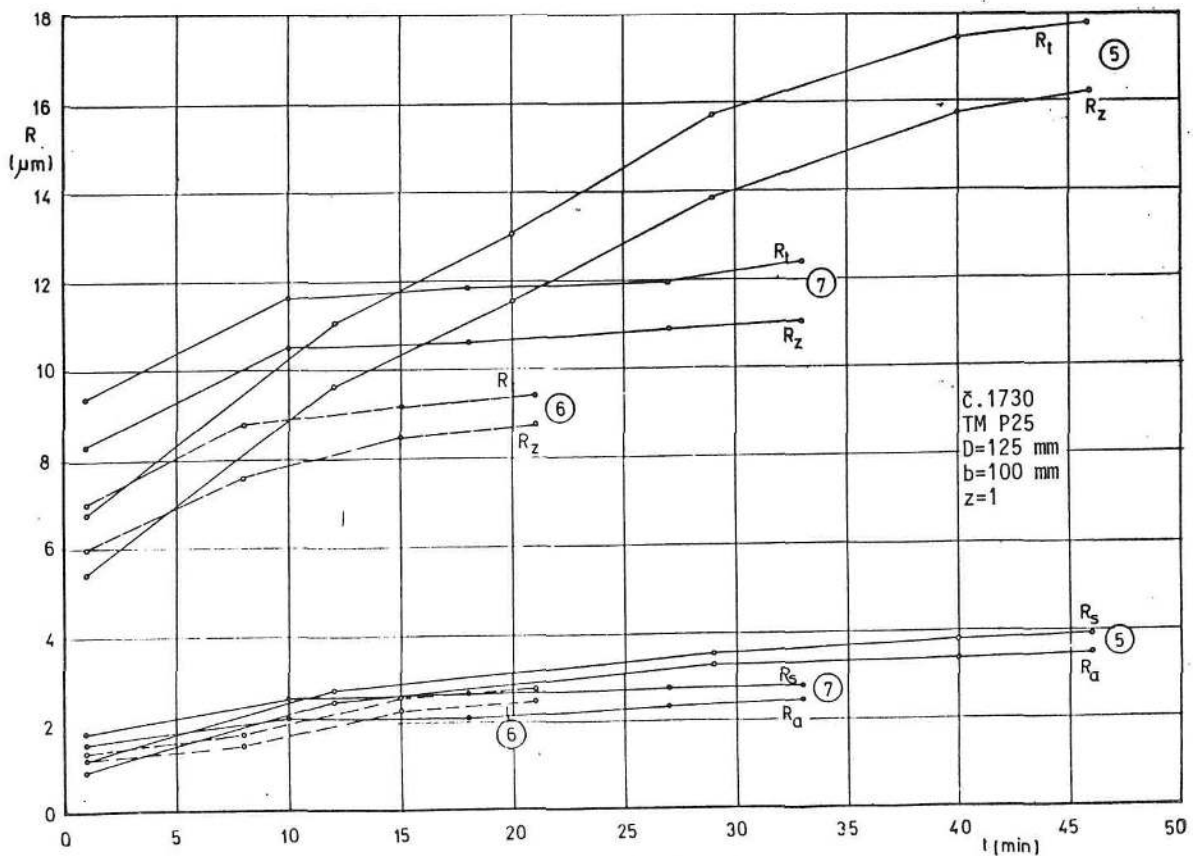
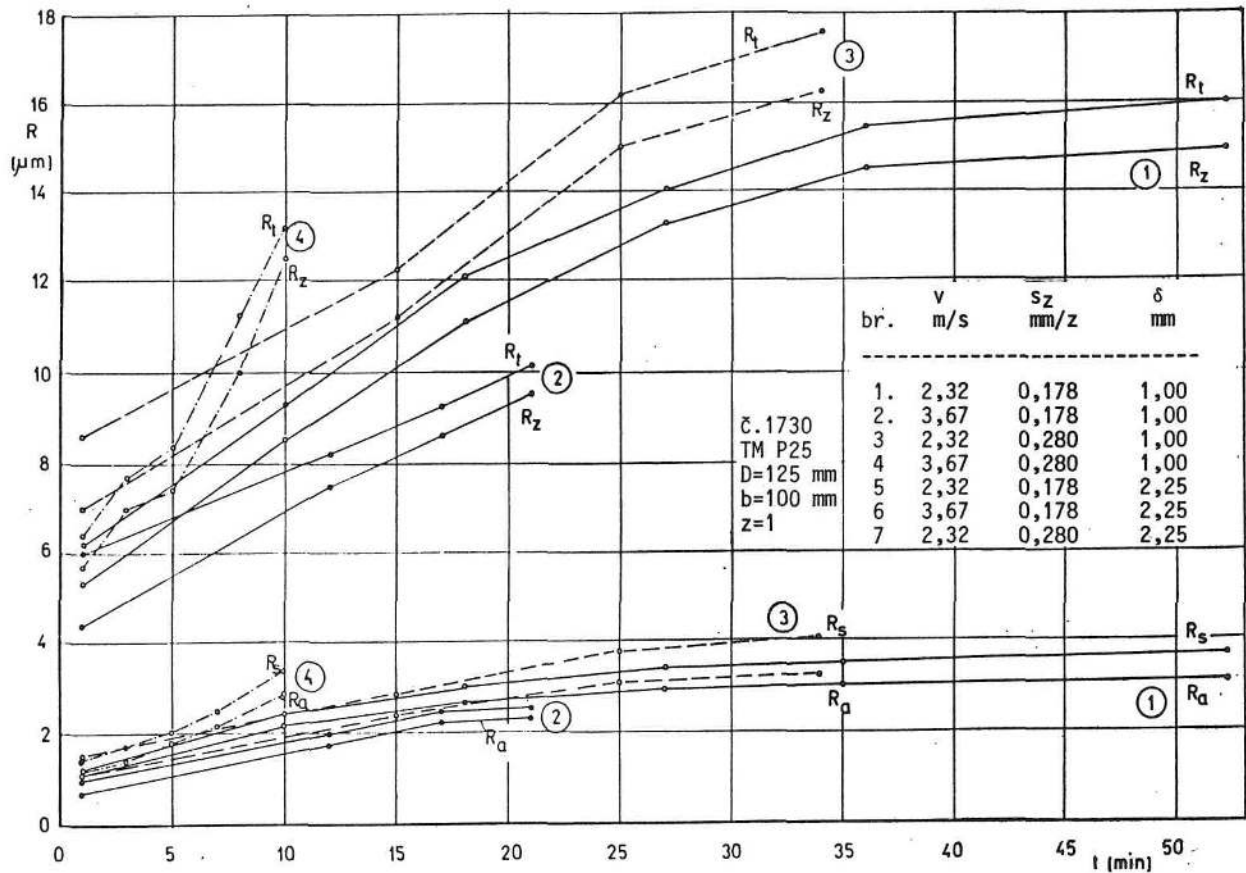
Obradak je bio velikih dimenzija i stegnut na mašini, tako da su u toku rezanja povremeno uzimani otisci obradjene površine pomoću plastićne mase za uzimanje otisaka površine. To je bila plastićna masa tipa "Technovit" 3040, crne boje. Proizvođać je "Kulzer"-SR Nemaćka. To je, u stvari, dvokompon-



Slika 3. Parametri habanja alata u vremenu rezanja



Zavisnost hrapavosti obradjene površine od habanja alata



Slika 4. Parametri hrapavosti obradjene površine u vremenu rezanja.

ntni polimer - plastična masa koja se pre upotrebe pomeša u odgovarajućem odnosu. Posle mešanja dobija se tečna masa koja se posle nanošenja brzo stvrdne i onda se može skinuti mehanički.

Pri merenju otisak se postavlja na sto Perthometra u plastelin i izravna u horizontalni položaj.

#### 4. REZULTATI MERENJA

Da bi se odredile konstante u matematičkim modelima (1) i (2) potražene su promene u vremenu, parametara hrapavosti obradjene površine do zatupljenja alata, kao i promenu parametara habanja alata u vremenu rezanja. Ove promene praćene su za različite režime rezanja (tabela 1).

Na slici 3 su prikazane promene parametara habanja alata u vremenu rezanja, a na slici 4 promene parametara hrapavosti obradjene površine u vremenu rezanja, za ispitivane režime rezanja.

#### 5. OBRADA PODATAKA

Na osnovu izmerenih vrednosti parametara hrapavosti obradjene površine u funkciji vremena rezanja i promene parametara habanja alata u funkciji vremena rezanja mogu se naći zavisnosti parametara hrapavosti obradjene površine od bilo kog parametra habanja, pri različitim režimima rezanja. U radu je usvojen parametar VB.

U tabeli 2 su date konstante  $a_1$  i  $b_1$  i pripadajući koeficijenti korelacije R linearne zavisnosti (1) a u tabeli 3 konstante  $a_2$  i  $b_2$  i pripadajući koeficijenti korelacije u eksponencijalnoj zavisnosti (2) parametara hrapavosti obradjene površine od širine pojasa habanja VB.

#### 6. ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA

U ispitivanom intervalu režima rezanja najveći uticaj na habanje alata ima brzine rezanja, zatim pomak po zubu a najmanje utiče dubina rezanja (sa povećanjem dubine rezanja izrazito se povećava habanje na grudnoj površini KB i KT).



Tabela 2.

Režim	R <sub>a</sub>			R <sub>s</sub>			R <sub>z</sub>			R <sub>t</sub>		
	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	R	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	R	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	R	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	R
1	1,020	7,014	0,888	1,073	8,636	0,906	2,388	44,890	0,978	4,658	36,365	0,935
2	0,712	5,167	0,959	0,746	5,677	0,922	3,929	17,890	0,928	5,424	15,800	0,944
3	1,232	6,753	0,848	1,511	8,287	0,873	6,736	30,537	0,893	8,332	29,170	0,911
4	0,647	6,777	0,993	0,732	8,032	0,997	3,320	27,947	0,992	4,154	28,264	0,985
5	0,775	10,002	0,911	0,905	10,952	0,922	2,930	45,942	0,971	4,248	47,512	0,968
6	0,673	6,151	0,953	0,862	6,410	0,948	5,301	12,265	0,950	6,617	10,047	0,894
7	1,500	3,295	0,903	1,946	3,160	0,832	8,547	9,098	0,838	9,585	9,782	0,862
8	1,007	4,448	0,953	1,213	5,067	0,970	5,606	19,356	0,998	6,504	20,851	0,998
9	1,271	2,029	0,958	1,511	2,372	0,961	6,089	10,82	0,921	8,480	7,582	0,842
10	1,196	2,140	0,989	1,421	2,925	0,963	6,115	14,923	0,960	7,503	13,951	0,966
11	1,184	4,884	0,945	1,668	5,519	0,870	6,476	29,451	0,956	8,589	25,977	0,970
12	1,062	4,308	0,990	1,457	4,695	0,991	6,304	21,631	0,988	7,774	21,864	0,990
13	-0,364	20,946	0,988	-0,0849	22,195	0,983	1,863	73,086	0,977	4,293	68,098	0,966
14	0,926	1,132	0,886	1,110	1,535	0,939	5,894	5,421	0,895	5,856	8,649	0,962
15	0,136	9,693	0,992	0,148	11,661	0,994	1,590	42,295	0,996	2,960	40,867	0,989
16	1,775	3,312	0,889	2,107	3,630	0,927	9,286	11,604	0,878	10,338	11,913	0,910
17	1,024	3,680	0,893	1,181	4,752	0,930	5,616	14,320	0,920	6,407	15,504	0,912
18	0,829	6,837	0,934	1,244	6,412	0,888	5,896	23,678	0,904	7,661	22,073	0,936
19	0,575	13,147	0,925	0,626	15,347	0,937	1,614	66,123	0,985	3,871	61,665	0,968
20	1,064	1,024	0,907	1,225	1,094	0,922	5,454	3,974	0,939	5,608	4,616	0,996
21	0,590	6,170	0,967	0,714	7,366	0,983	4,093	22,396	0,967	4,886	22,826	0,972
22	1,043	7,275	0,994	1,461	6,877	0,987	7,342	13,773	0,989	8,915	13,221	0,987
23	0,974	2,990	0,915	1,219	3,150	0,909	5,702	12,430	0,892	6,472	13,492	0,917
24	0,917	5,545	0,996	1,197	6,031	0,996	6,198	18,810	0,994	7,393	20,308	0,996

Tabela 3.

Režim	R <sub>a</sub>			R <sub>s</sub>			R <sub>Z</sub>			R <sub>t</sub>		
	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	R	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	R	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	R	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	R
1	7,656	0,6961	0,948	9,299	0,7309	0,962	34,768	0,6940	0,972	34,301	0,6392	0,979
2	6,022	0,7733	0,962	5,431	0,6323	0,949	16,714	0,4829	0,963	14,760	0,3212	0,956
3	7,450	0,6428	0,950	8,507	0,5941	0,956	29,621	0,5016	0,959	28,707	0,4239	0,958
4	5,510	0,6178	0,980	6,437	0,6186	0,985	22,375	0,5619	0,982	23,974	0,5336	0,970
5	11,876	0,8983	0,956	12,231	0,8461	0,936	42,144	0,7619	0,991	42,494	0,6866	0,990
6	5,070	0,5960	0,965	5,309	0,5495	0,963	12,767	0,2958	0,987	12,622	0,2248	0,957
7	3,414	0,2535	0,966	3,840	0,2306	0,940	13,633	0,1567	0,942	14,959	0,1489	0,958
8	2,506	0,2491	0,984	2,749	0,1995	0,946	11,780	0,1773	0,930	12,966	0,1773	0,992
9	2,338	0,1867	0,909	2,847	0,2060	0,974	13,502	0,2397	0,993	13,376	0,1591	0,984
10	2,415	0,2275	0,9999	3,171	0,2634	0,994	15,291	0,2998	0,993	15,710	0,2427	0,996
11	4,229	0,4099	0,970	5,192	0,3821	0,918	23,826	0,4058	0,966	22,449	0,2975	0,960
12	3,543	0,3676	0,993	4,028	0,3116	0,987	18,440	0,3306	0,991	19,674	0,2884	0,991
13	23,187	1,1354	0,996	22,375	1,0245	0,993	57,307	0,7683	0,979	47,552	0,6011	0,946
14	1,408	0,1526	0,964	1,752	0,1625	0,989	8,156	0,1189	0,969	9,438	0,1678	0,997
15	10,221	0,9875	0,995	11,694	0,9600	0,997	35,664	0,7782	0,992	31,952	0,6433	0,977
16	4,075	0,3031	0,961	4,590	0,2814	0,975	17,001	0,2237	0,959	17,905	0,2010	0,975
17	3,722	0,4420	0,946	4,619	0,4571	0,963	15,079	0,3368	0,969	16,635	0,3271	0,964
18	6,260	0,6380	0,975	6,062	0,5271	0,946	21,982	0,4385	0,954	20,796	0,3277	0,963
19	16,980	1,0331	0,968	18,823	1,0073	0,976	63,069	0,8992	0,993	58,087	0,7823	0,990
20	1,744	0,1930	0,954	1,942	0,1796	0,962	7,766	0,1298	0,886	8,406	0,1514	0,975
21	5,838	0,6891	0,971	6,589	0,6635	0,982	19,647	0,4765	0,990	21,487	0,4804	0,998
22	5,934	0,5101	0,970	5,710	0,4080	0,939	15,298	0,2348	0,944	16,276	0,1940	0,929
23	2,957	0,3739	0,951	3,281	0,3356	0,950	13,723	0,3010	0,944	14,975	0,2863	0,972
24	4,490	0,4796	0,996	4,979	0,4375	0,997	17,142	0,3234	0,999	18,607	0,2898	0,987

Dubina rezanja najmanje utiče na širinu pojasa habanja na ledjnoj površini (VB)(koja se najčešće uzima kao kriterijum postojanosti alata). Dubina rezanja najviše utiče na širinu kratera (KB), u početku ona naglo raste, dok je dalja promena blaga.

Promena parametara hrapavosti obradjene površine u vremenu rezanja je značajna (sl.4). Na dijagramima se uočava sličnost promena hrapavosti obradjene površine sa karakterističnim fazama kao u toku habanja alata.

Predložene zavisnosti, za parametre hrapavosti obradjene površine i širine pojasa habanja na ledjnoj površini  $VB_s$  imaju visoke vrednosti koeficijenata korelacije, što svedoči o čvrstoj korelaciji izmedju promenljivih (pri različitim režimima tabela 2 i 3.). U većini slučajeva eksponencijalni oblik ima veće vrednosti koeficijenta korelacije u odnosu na linearni pri istom režimu rezanja. U nekim slučajevima eksponent  $b_2$  je blizak jedinici pa se ova zavisnost može predstavljati linearnim oblikom, koji je pogodniji sa stanovišta upravljanja procesom.

Najveći uticaj na hrapavost obradjene površine ima pomak po zubu, pri rezanju oštrim alatom veća hrapavost se dobija pri većem pomaku po zubu.

U ispitivanom intervalu (1,83 m/s-4,65 m/s), u početnoj fazi rezanja, brzina rezanja ima manji uticaj na parametre hrapavosti a u produženom periodu značajniji.

Dubina rezanja ima najmanji uticaj na hrapavost obradjene površine, kako u početnom tako i u produženom periodu rezanja.

## 7. ZAKLJUČCI

Na osnovu napred izloženog mogu se doneti sledeći zaključci:

- Parametri hrapavosti obradjene površine u vremenu menjaju se po karakteru slično kao parametri habanja.
- korelacija izmedju parametara hrapavosti obradjenje površine i širine pojasa habanja na ledjnoj površini može se prikazati u linearnom i eksponencijalnom obliku.

## 8. LITERATURA

- |1| Pavlovski, V.: Prilog identifikaciji medjuzavisnosti habanja glodala i kvaliteta obradjene površine. Zbornik radova X Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, knj. III, Beograd, 1975.
- |2| Šolaja, V., Radonjić, S., Lukić, Lj.: Dva priloga stavu o koncentrisanom habanju reznog alata kao univerzalnom fenomenu. Zbornik radova XX Savetovanja proizvodnog mašinstva, Proizvodne tehnologije, Beograd, 1986.
- |3| Kovač, P., Milikić, D.: O potrebnosti reznog klina a drsnost obradbenog povrhu pri čelnom frézovanju. Zbornik prác 3. Sympózium INTERTRIBO '87, Visoké Tatry, 1987.
- |4| Kovač, P.: Istraživanje podloga za upravljanje procesom čeonog glodanja. Doktorska disertacija, FTN, IPM, Novi Sad 1987.