

<https://doi.org/10.24867/JPE-1992-09-135>

ORIGINALNI NAUČNI RAD

Sovilj B., Vukeljić M., Pejić V., Ilić B., Tomić D., Stević M.\*

**ODREDJIVANJE FUNKCIJE POSTOJANOSTI JEDNOZUBOG  
ODVALNOG GLODALA U ZAVISNOSTI OD REŽIMA REZANJA**

**DETERMINATION OF THE TOOL - LIFE FUNCTION OF ONE  
TEETH HOBGING IN DEPENDENCE ON CUTTING CONDITION**

**S u m m a r y**

The hobbing process is one of the most important characteristics in machining chain of processing because it determines in large scale, productivity, final geometrical accuracy and quality of machined surface of gear teeth.

The hobbing process is a complex one with very extensive spectrum of factors and process parameters which are important for finding optimal conditions of processing. The optimum of treatment processing is based on the reliable mathematical dependence on its particular parameters, and the analysis of the technical-economic functions of the process quality. It is known that the main problem, in the theory of technic-economic optimum, presents the functions of state and limitation of process, respectively, their reliability. This problem is bigger with gear hobbing, because there is often present shortage of some primary, already mentioned, functions. The reason for this lies first of all, on the difficulties of economy of an experimental identification of process in real production conditions.

In this paper, on the basis of analysis of complex hobbing process, using mathematical theories of planning of experiment, the authors have determined experimentally the function of the gear hob stability, as primary function of state, in dependence on cutting conditions.

---

\* Dr Bogdan Sovilj, docent, FTN, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, Vladimira Perića Valtera 2  
Mirko Vukeljić, dipl.inž., PDS, Fabrika menjača Sarajevo  
Vlastimir Pejić, apsolvant, FTN, Novi Sad  
Boško Ilić, apsolvant FTN, Novi Sad  
Dragan Tomić, apsolvant, FTN Novi Sad  
Miodrag Stević, apsolvant, FTN Novi Sad

## Re z i m e

Proces odvalnog glodanja je jedna od najznačajnijih karika u lancu mehaničke obrade, jer od njega u velikoj meri zavisi produktivnost, završna geometrijska tačnost i kvalitet površine ozubljenja. U ovom radu su autori na osnovu analize složenog procesa obrade eksperimentalno odredili funkciju postojanosti odvalnog glodala u zavisnosti od režima rezanja.

### 1. UVODNA RAZMATRANJA

Polazeći od osnovnih zakonitosti procesa odvalnog glodanja zubaca cilindričnih zupčanika u Naučno-obrazovnom Institutu za proizvodno mašinstvo FTN u Novom Sadu dosadašnja istraživanja bazirana su na: istraživanju optimalne geometrije odvalnog glodala identifikaciji triboloških procesa pri odvalnom glodanju i istraživanju optimalnih parametara režima rezanja. U ovom radu iznosi se deo rezultata tih istraživanja koji se odnose na optimizaciju režima rezanja.

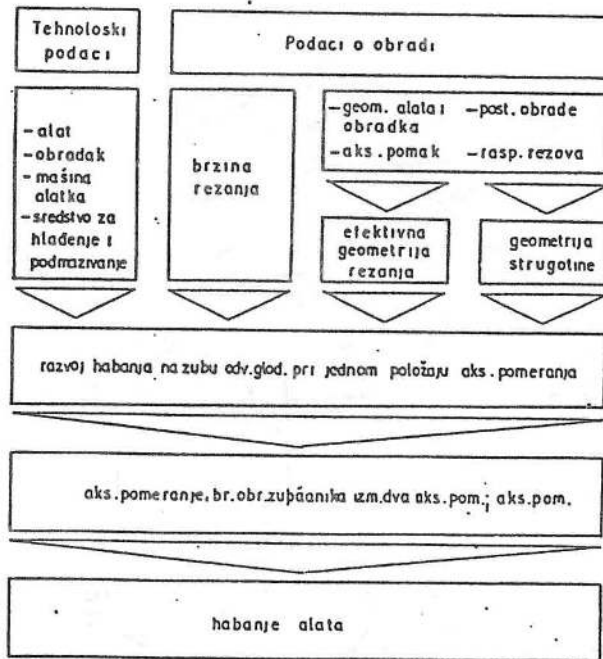
Proces odvalnog glodanja je složen proces sa vrlo širokim spektrom faktora i parametara procesa bitnih za iznalaženje optimalnih uslova obrade. Optimizacija obradnog procesa bazira na pouzdanim matematičkim zavisnostima, koji definišu tok procesa u zavisnosti od pojedinih njegovih parametara, i analizi tehnoekonomske funkcije kvaliteta procesa. U teoriji tehnoekonomske optimizacije poznato je da osnovni problem predstavljaju funkcije stanja i ograničenja procesa, odnosno njihova pouzdanost. Kod odvalnog glodanja taj problem je još zaoštreniji, jer za njega često ne dostaju i neke osnovne od navedenih funkcija. Razlog za to leži pre svega u teškoćama ekonomike eksperimentalne identifikacije procesa u realnim proizvodnim uslovima.

Ekonomičnost obrade pri odvalnom glodanju zavisi pre svega od karaktera habanja odvalnog glodala. Višebrojnost veličina i njihovo naizmenično dejstvo veoma otežavaju istraživanje procesa habanja odvalnog glodanja (sl. 1). Detaljna analiza najvažnijih uticajnih parametara može poslužiti kao osnova za sagledavanje puteva povećanja ekonomičnosti obrade ozubljenja cilindričnih zupčanika odvalnim glodalom.

Razvoj habanja na pojedinom zubu odvalnog glodala zavisi od veličine aksijalnog pomeranja i broja tih pomeranja, a takodje na njega utiče i kombinacija materijala odvalnog glodala i zupčanika, mašine i primenjenog sredstva za hladjenje i podmazivanje. Sem navedenog na razvoj procesa habanja značajan uticaj imaju parametri obrade prikazani na slici 1. Većina parametara su promenljive veličine sa širokim rasponom vrednosti što je određeno komplikovanim procesom obrade kao i složenom geometrijom alata i obradka.

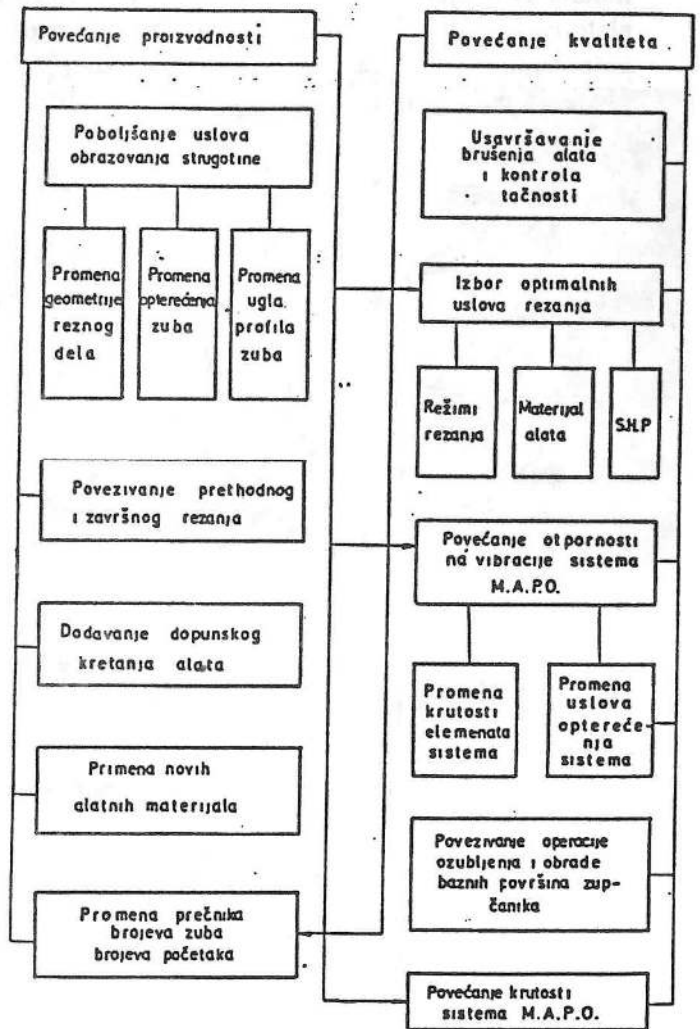
Proces habanja prostire se na sve rezne elemente odvalnog glodala. Medjutim, nemaju procesi habanja na svim radnim elementima odvalnog glodala jednak značaj. Najveći značaj i presudni uticaj imaju primarni procesi habanja. Od njih upravo zavisi rezna sposobnost odvalnog glodala, jer je uticaj sekundarnih procesa habanja vrlo mali ili beznačajan.

Proces habanja zuba odvalnog glodala manifestuje se u vidu zona habanja. Zone habanja koje su posledice procesa habanja odvalnog glodala, razlikuju se po obliku i po lokaciji. One se javljaju kao pojas habanja na ledjnoj i kao krater na grudnoj površini zuba odvalnog glodala (sl. 3). Kada će i koja zona habanja biti pimarna zavisi od brojnih tehnoloških uslova: vrste i karakteristika materijala obradka, postupka odvalnog glodanja, brzine rezanja pomaka, modula i dr. Ledjna površina, kao što je već napomenuto, haba se po ulaznom bočnom ledjnom sečivu, temenom ledjnom sečivu i izlaznom bočnom ledjnom sečivu (sl. 4).



Slika 1. Uticajni parametri na proces habanja odvalnog glodala pri obradi ozubljenja cilindričnih zupčanika.

III.1. Influential parameters on wearing process of hob milling cutter during processing of toothing of cylindrical gears

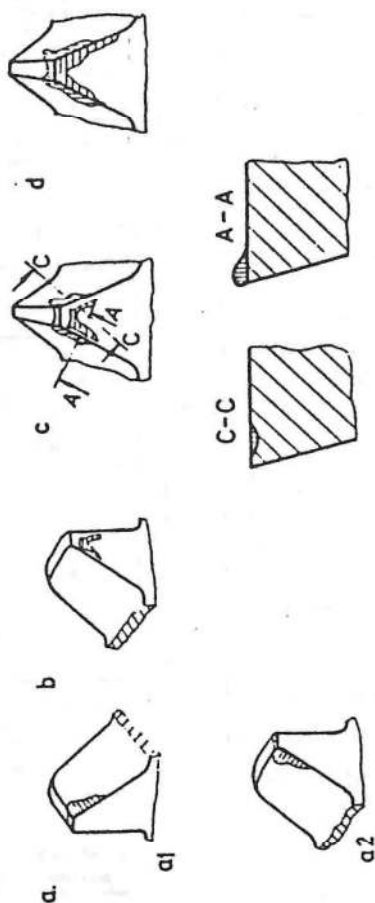


Slika 2. Pravci usavršavanja odvalnog glodanja ozubljenja cilindričnih zupčanika.

III.2. Directions of advanced of hob milling of toothing of cylindrical gears

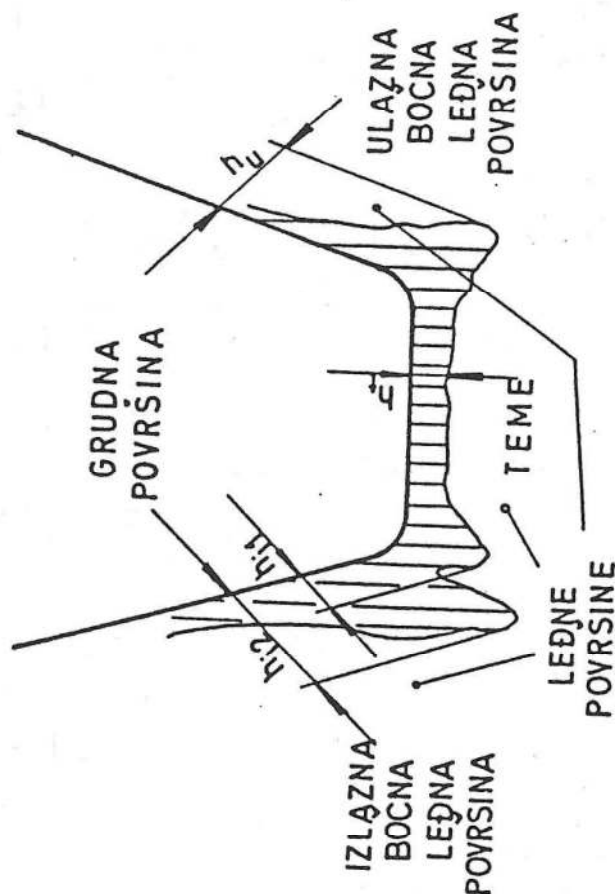
Proces habanja zuba odvalnog glodala manifestuje se u vidu zona habanja. Zone habanja koje su posledice procesa habanja odvalnog glodala, razlikuju se po obliku i po lokaciji. One se javljaju kao pojas habanja na ledjnoj i kao krater na grudnoj površini zuba odvalnog glodala (sl. 3). Kada će i koja zona habanja biti primarna zavisi od brojnih tehnoloških uslova: vrste i karakteristika materijala obradka, postupka odvalnog glodanja, brzine rezanja pomaka, modula i dr. Ledjna površina, kao što je već napomenuto, haba se po ulaznom bočnom ledjnom sečivu, temenom ledjnom sečivu i izlaznom bočnom ledjnom sečivu (sl. 4).

Pri definisanju postojanosti odvalnog glodala, kao funkcije stanja, neophodno je izvesti dugotrajna eksperimentalna ispitivanja, koja zahtevaju znatna sredstva i napore a teško ih je sprovesti u realnom procesu proizvodnje. U laboratoriji Katedre za obradu metala skidanjem strugotine razvijena je metoda obrade ozubljenja zupčanika jednozubim alatom. Radi korišćenja dobijenih rezultata neophodno je znati vezu izmedju postojanosti jednozubog i integralnog odvalnog glodala, a na slici 5 je dato poredjenje odvalnog glodanja jednozubim alatom i aksijalnog odvalnog glodanja integralnim alatom.



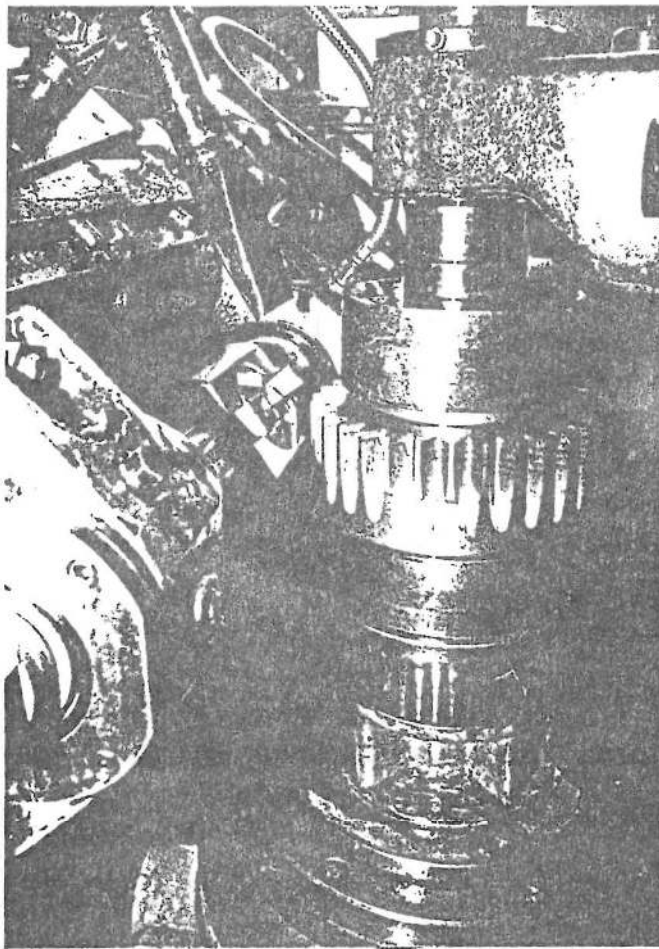
Slika 3. Oblik i položaj zona habanja na zubu odvalnog glodala

III.3. Shape and position of zones of wearing on a tooth of hob milling cutter



Slika 4. Osnovni oblici ledjnog pojasa habanja

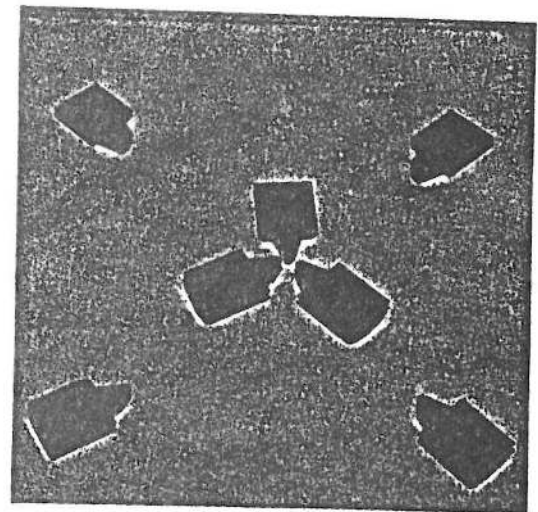
III.4. Basic shapes of back zone wearing



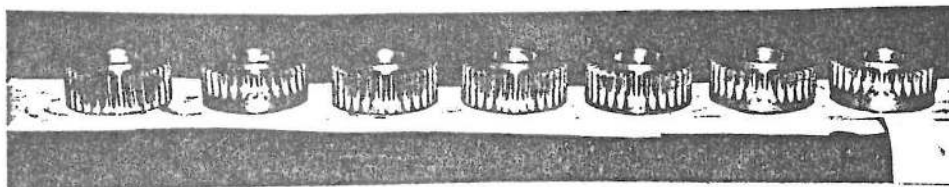
a)



b)



c)



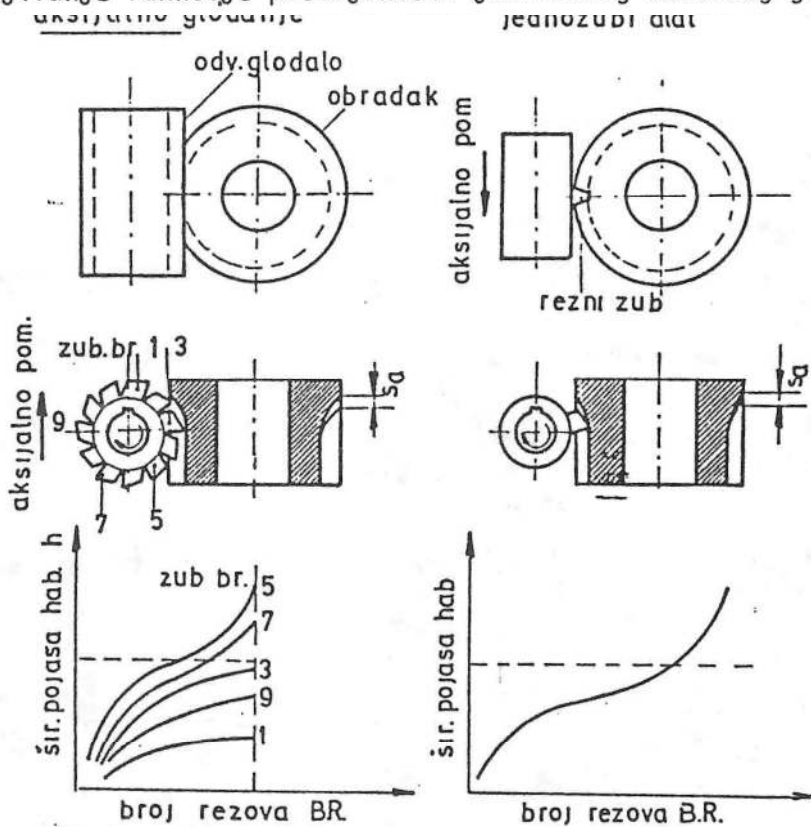
d)

Slika 6. Detalj odvalne glodalice sa alatom i obradkom u radu (a), obradak (b), jednozubi neoslojeni alati (c) i obradjivani zupčanici prema planu višefaktornog eksperimenta.

III.6. A detail of hobber with tool and work piece in process(a), work piece(b), one tooth uncoated tools(c) and treated gears according to plan of multifactor experiment

Na osnovu statističke obrade odbijenih rezultata utvrđena je funkcija postojanosti neoslojenog odvalnog glodala oblika:

$$L = \frac{1237,5}{v^{0,649} \cdot s_2^{0,253}} \quad (5)$$



Slika 5. Poredjenje odvalnog glodanja jednozubim alatom i aksijalnog odvalnog glodanja integralnim alatom

III.5. Comparison of hob milling by one tooth tool and hob milling by integral tool

2. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA I ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA

Na osnovu literaturnih informacija i sopstvenih istraživanja procesa odvalnog glodanja usvojen je eksponencijalni oblik funkcije postojanosti.

Opšti oblik takve funkcije ima oblik i izgled:

$$T(v, s_a, a_p, m, z_1, z_2, \alpha) = C \cdot v^p \cdot s_a^q \cdot a_p^r \cdot m^n z_1^w \cdot z_2^j \cdot \alpha^k \quad (1)$$

$$L(v, s_a, a_p, m, z_1, z_2, \alpha) = C \cdot v^p \cdot s_a^q \cdot a_p^r \cdot m^n z_1^w \cdot z_2^j \cdot \alpha^k \quad (2)$$

gde je:

T - postojanost (min)

L - postojanost (mm)

v - brzina rezanja (m/min),

$s_a$  - korak (mm/ob)

$a_p$  - aksijalno pomeranje (mm)

m - modul (mm)

$z_1$  - broj hodova odvalnog glodala

$z_2$  - broj zuba zupčanika

$\alpha$  - ugao profila alata

Složenost navedene funkcije upućuje na ispitivanje postojanosti odvalnog glodala u laboratorijskim i realnim proizvodnim uslovima pri čemu se izrazi (1) i (2) mogu značajno uprostiti, pa je u konkretnim istraživanjima usvojen sledeći oblik funkcije postojanosti:

$$T = C_T \cdot v^p \cdot s_a^q \quad (3)$$

$$L = C^L \cdot v^p \cdot s_a^q \quad (4)$$

Utvrđivanje pouzdane funkcije stanja u laboratorijskim uslovima izvršeno je primenom metode modelskog ispitivanja i savremenim metodama matematičke statistike zasnovane na višefaktornom eksperimentu. Ispitivanja su izvedena u laboratoriji Katedre za obradu metala skidanjem strugotine Instituta za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, pri sledećim uslovima:

Obradak: cilindrični zupčanik sa pravim zubima:

- modul  $m^n = 5$  (mm)
- broj zuba zupčanika  $z_2 = 32$
- dužina venca zupčanika  $l_v = 32$  (mm)
- ugao dodirnice  $= 20^\circ$
- materijal zupčanika Č4321

Alat: jednozubo odvalno glodalo izradjeno u PDS Fabrika menjača Sarajevo, Hrasnica, kao model integralnog odvalnog glodala

- prečnik odvalnog glodala  $D_g = 125$  (mm)
- broj hodova odvalnog glodala  $z_1 = 1$
- broj žljebova po obimu odvalnog glodala  $n_i = 15$
- materijal Č6980

Mašina: odvalna glodalica MODUL - 2fwc - 250 X 5a proizvođača VE, STARKSTROM  
- Anlogenbau, Karl - Marx - Stadt, DDR.

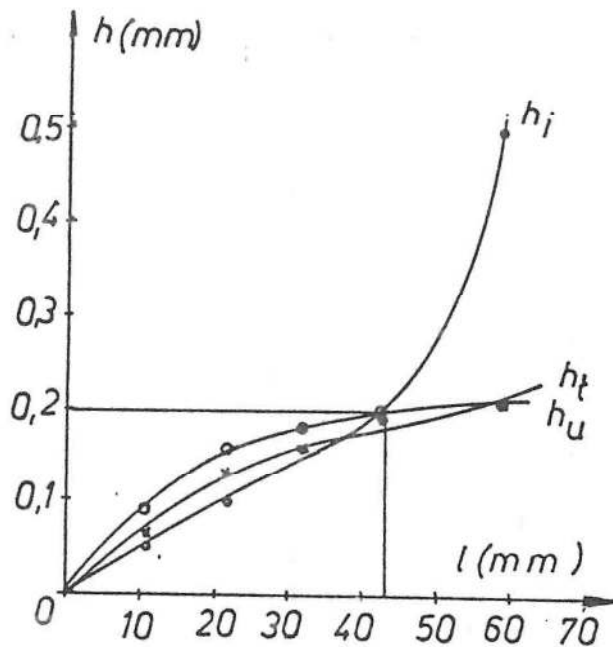
Pri ovim ispitivanjima kao sredstvo za hladjenje i podmazivanje korišćeno je TEXACO CLERTEX-D ulje za rezanje - neaktivno JUS.B.H3.525.

Istraživanja su obuhvatila odredjivanje funkcije postojanosti odvalnog glodala, a izvedena su na bazi primene dvofaktornog plana eksperimenta. Brzina rezanja i korak su bili promenljivi, a aksijalno pomeranje konstantno za sve eksperimentalne tačke i iznosilo je  $a_p = 1,00$  (mm). Merenje širine pojasa habanja na ledjnim površinama vršeno je na univerzalnom alatnom mikroskopu, a zatim fotografisanje tih površina sa fotografskim aparatom postavljenim na univerzalni alatni mikroskop pomoću dodatnih elemenata i pri tome je obezbedjeno specijalno osvetljavanje. Obrada eksperimentalnih rezultata (tabela 1) izvršeno je na računaru. U tabeli 1 data je plan matrica sa usvojenim nivoima analiziranih režimskih parametara i dobijenim rezultatima ispitivanja.

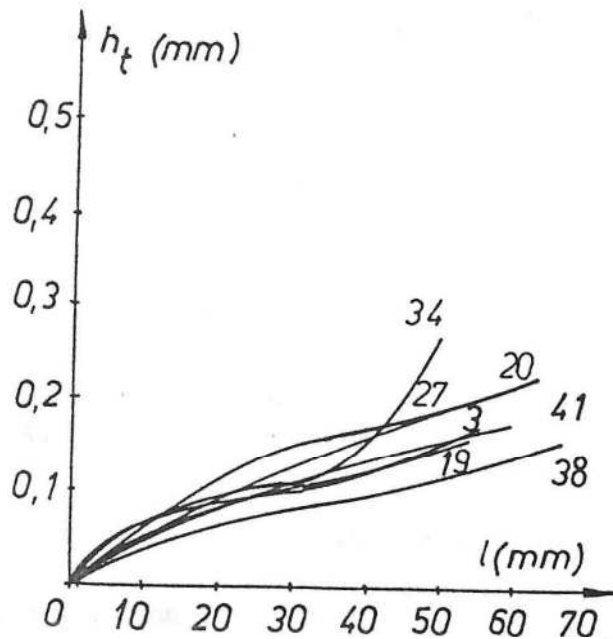
Pri odredjivanju postojanosti kao kriterijum habanja odvalnog glodala usvojen je  $h=0,2$  (mm), a na slikama 7,8 i 10 prikazani su razvoji procesa habanja alata za jednu i sve eksperimentalne tačke. Na slici 9 dati su snimci oblika habanja zuba odvalnog glodala za jednu eksperimentalnu tačku.

Tabela 1.

USLOVI OBRADE		Komponente plana	PLAN MATRICA						Eksperimentalni rezultati L(mm)	
$a_p = 1,0$ (mm) $l_v = b = 32$ (mm) MO Č4321 MA Č6980 $h = 0,2$ (mm)			Visoki nivo		139,33 7,0					
			Srednji nivo		123,63 5,3					
			Niski nivo		109,9 4,0					
Režimski parametri		Skup tačaka na temenima kvadrata	br.eks.	br.al.	Kod red.iz.	$x_0$	$x_1$	$x_2$		
$v$ (m/min)	$s_a$ (mm)									
109,9	4,0		1	3	2	1	-1	-1		32
109,9	7,0		2	38	3	1	-1	1		39,5
139,33	7,0		3	41	5	1	1	1		40
139,33	4,0		4	34	6	1	1	-1		32
123,63	5,3		5	20	1	1	0	0		43
123,63	5,3		6	19	4	1	0	0		40
123,63	5,3		7	27	7	1	0	0		26

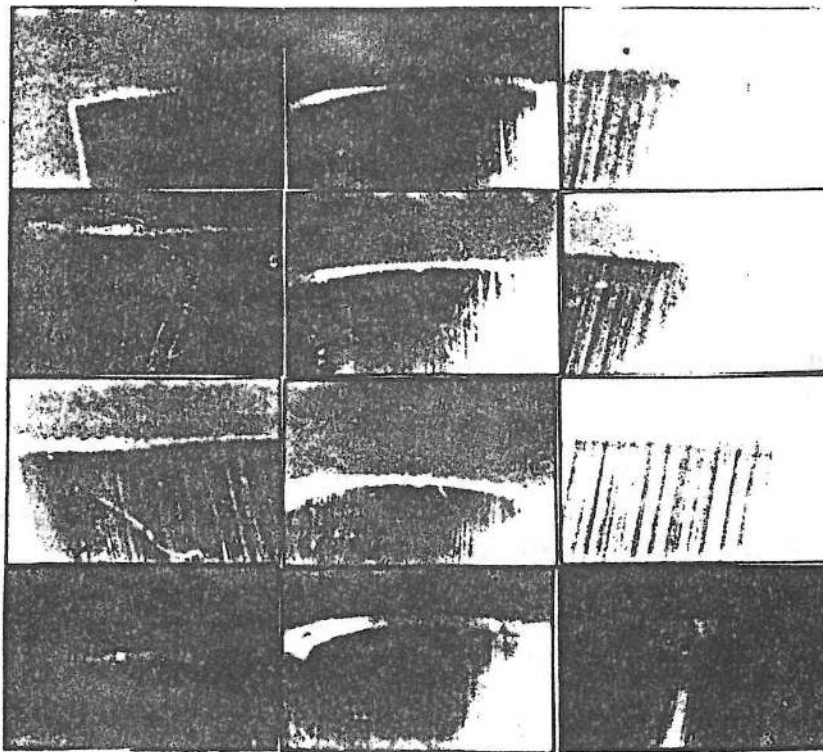


Slika 7. Razvoj procesa habanja jednozubog odvalnog glodala za jednu eksperimentalnu tačku (5,20,1)



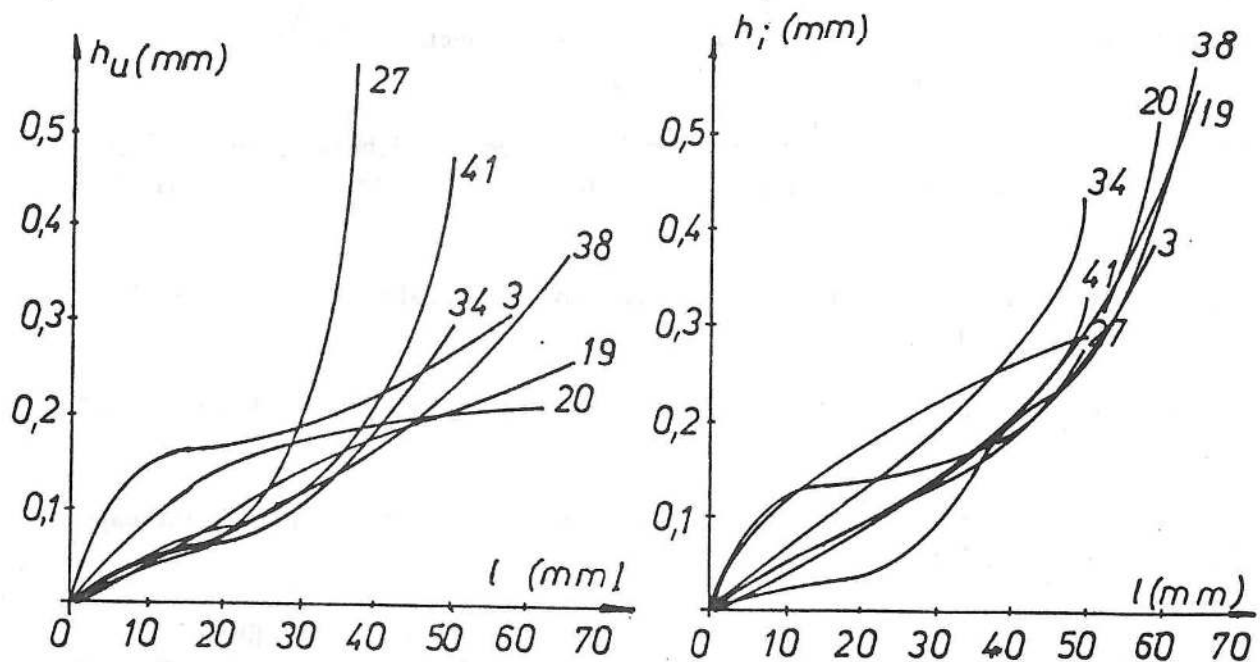
Slika 8. Razvoj procesa habanja jednozubog odvalnog glodala na temenoj lednoj površini za sve eksperimentalne tačke.





Slika 9. Snimci oblika habanja zuba odvalnog glodala za jednu eksperimentalnu tačku (5,20,1)

III.9. Snapshots of shapes of wearing for one experimental point(5,20,1)



Slika 10. Razvoj procesa habanja jednozubog odvalnog glodala na ulaznoj bočnoj ledjnoj površini i izlaznoj bočnoj ledjnoj površini za sve eksperimentalne tačke.

III.10. Development of wearing process on input lateral back surface for all experimental points

Odredjivanje informacije o prirodi istraživačkog procesa daju nam parametri modela i model, jer oni u celini iskazuju određenu zakonitost. Na postojanost neoslojenog jednozubog odvalnog glodala ima veći uticaj brzina rezanja od koraka.

### 3. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata istraživanja procesa odvalnog glodanja može se konstatovati sledeće:

- \* Ispitan je na sistematski način korišćenjem matematičke teorije planiranja eksperimenti i određena funkcija postojanosti, kao primarna funkcija stanja, u zavisnosti od brzine rezanja i koraka.
- \* Dobijeni rezultati ukazuju da je uticaj brzine rezanja veći nego koraka na postojanost neoslojenog jednozubog odvalnog glodala pri obradi ozubljenja cilindričnog zupčanika.

### 4. LITERATURA

- (1) Ivković B. Osnovi tribologije u industriji prerade metala, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1983.
- (2) Joppa, K. Leistungssteigerung beim Walzfräsen mit Schnellarbeitsstahl durch Analyse Beurteilung und Beeinflussung des Zerspan process Diss. TH Aachen 1977.
- (3) Mitrović R. Modelska ispitivanja procesa odvalnog glodanja, Disertacija, FSB, Zagreb, 1977.
- (4) Zahor S. Analiza procesa odvalnog glodanja. Disertacija, Mašinski fakultet Kragujevac, 1977.
- (5) Sovilj B. Identifikacija triboloških procesa, pri odvalnom glodanju, Disertacija, Novi Sad, 1988.
- (6) Sovilj B. Uticaj režima rezanja na postojanost oslojenih odvalnih glodala u modelskim uslovima, JUTRIB '91, Druga jugoslovenska konferencija tribologiji, Kragujevac, 1991.  
Vukeljić, M.  
Jugović, V.  
Pejić V.  
Kušlaković, J.  
Sekulić M.