

<https://doi.org/10.24867/JPE-1986-03-089>

PRETHODNO SAOPŠTENJE

Sovilj, B., Banjac, D., Mitrović, R., Kostić, Lj. \*)

## ODREĐJIVANJE VEZE IZMEDJU POSTOJANOSTI JEDNOZUBOG I INTEGRALNOG ODVALNOG GLODALA

### Rezime

*U radu su analizirani procesi izrade zuba cilindričnih zupčanika jednozubim i integralnim odvalnim glodalom. Na osnovu izvedenih eksperimenata određena je veza između postojanosti jednozubog i integralnog odvalnog glodala.*

## DIE BESTIMMUNG DES ZUSAMMENHANG ZWISCHEN STANDZEIT FÜR EINZAHN UND INTEGRAL WALZFRASER

### Zusammenfassung

*In der Arbeit wird Fertigungsprozess für Herstellung von zylindrischen Zahnrädern mit einzahn und integral Walzfräser analysiert. Auf grund der experimentelle Ergebnisse wird ein Zusammenhang zwischen Standzeit für einzahn und integral Walzfräser ermittelt.*

### 1. U V O D

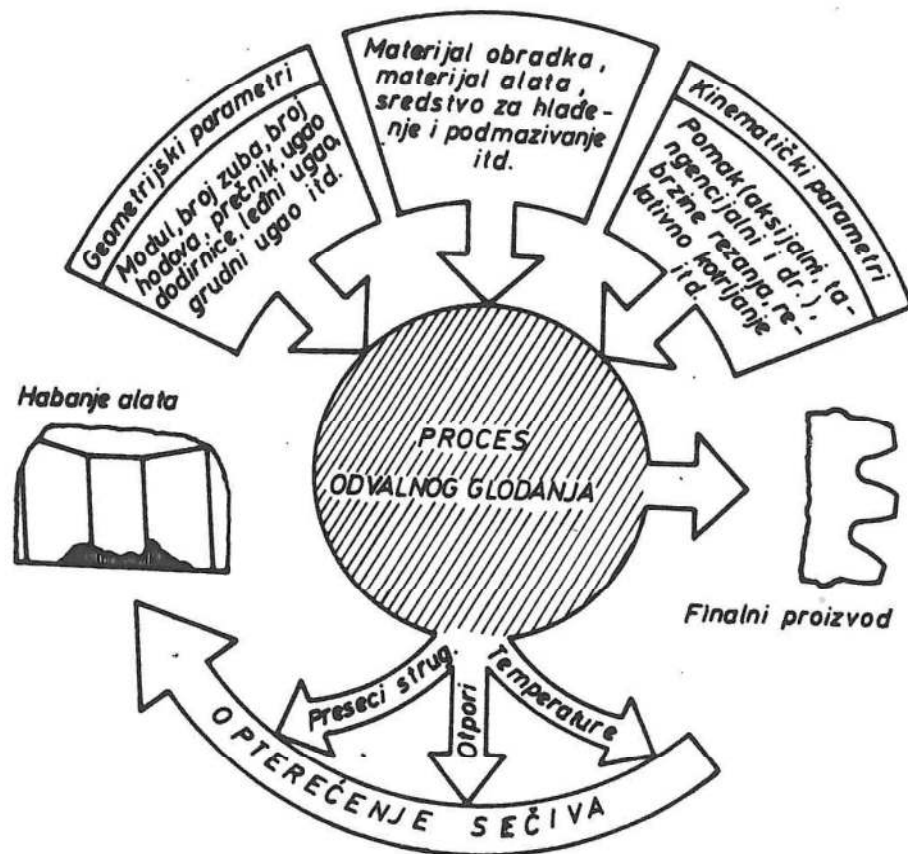
Pri definisanju postojanosti odvalnog glodala neophodno je izvesti dugotrajna eksperimentalna ispitivanja, koja zahtevaju znatna sredstva i napore, a teško ih je sprovesti u normalnom procesu proizvodnje. U cilju pojednostavljenja ovih eksperimenata traga se za brzim i jeftinijim postupcima ispitivanja koji će dati pouzdane informacije o istraživanom procesu obrade.

\*)Sovilj mr Bogdan, dipl.ing.asistent, Banjac mr Dragan, dipl.ing., predavač, Institut za proizvodno mašinstvo, Fakultet tehničkih nauka, 21000 Novi Sad, Veljka Vlahovića 3.  
Mitrović dr Ratko, dipl.ing., vanr.prof., Mašinski fakultet, 34000 Kragujevac, Sestre Janjića 6.  
Kostić Ljubiša, dipl.ing., RO "JUGOALAT", OOUR "OZUBLJENJE", 21000 Novi Sad, Futoški put 8.

Za proces odvalnog glodanja postoji mogućnost da se umesto integralnim odvalnim glodalom vrše istraživanja jednozubim alatom |1,2,3|.

## 2. ANALIZA PROCESA IZRADE ZUBA CILINDRIČNIH ZUPČANIKA JEDNOZUBIM I INTEGRALNIM ODVALNIM GLODALOM

Na proces odvalnog glodanja utiče veoma veliki broj kontrolisanih i nekontrolisanih faktora, koji ovu vrstu obrade čine izuzetno složenom |2,3,4|. Mnogobrojnost i povezanost tih faktora otežava ispitivanje i matematičko definisanje obradnog procesa (sl. 1). Poznato je da na efikasnost ovog procesa osnovne uticaje imaju, pored ostalog, izbor režima rezanja i rezne geometrije sečiva. Za izbor racionalnih vrednosti ovih parametara neophodna su opsežna i vrlo skupa istraživanja funkcija obradljivosti.



Slika 1. Značajni ulazno-izlazni parametri procesa.

Kod odvalnih glodala u poredjenju sa drugim vrstama obrade rezanja, mora se računati s velikim troškovima alata, a to je uslovljeno komplikovanom proizvodnjom odvalnih glodala, zahtevima visoke tačnosti i izrazito skupim materijalom alata. Najveći uticaj na troškove proizvodnje zupčanika imaju postojanost alata i režimi rezanja. Kraće vreme proizvodnje smanjuje troškove proizvodnog i stručnog radnika i troškove mašina, a velika postojanost odražava se povoljno na troškove održavanja alata i zamene. Primenom ispitivanja sa jednozubim alatima se s jedne strane mogu znatno reducirati troškovi alata, a s druge je i vreme ispitivanja kraće zbog ubrzanog razvoja habanja. Takodje su i troškovi bitno manji za uzorke ispitivanja.

Ideja za ovakvu vrstu ispitivanja potiče od praktične primene jednozubih alata za proizvodnju pužnih točkova u pojedinačnoj proizvodnji tangencijalnim postupkom. Za ispitivanje procesa odvalnog glodanja uspešno se vrše istraživanja sa jednozubim alatom od brzoreznog čelika i tvrdog metala [1, 2, 3, 4]. Pored toga još uvek vlada određena nesigurnost u odnosu na dobijene rezultate. Zbog navedenog treba ovaj princip ukratko i temeljno objasniti.

Odvalno glodalo, ustvari, predstavlja niz zuba pravilno rasporedjenih po spirali osnovnog puža glodala. Kako odvalno glodalo izvodi glavno kružno kretanje, to profili svih zuba alata formiraju kružne trajektorije aksijalno pomerene u odnosu na osu odvalnog glodala za veličinu aksijalne podele  $e$ .

Pri razmatranju zahvata dva uzastopna zuba odvalnog glodala, slika 2 [2], uočava se da se posle prolaska  $(n-1)$  zuba kroz materijal obradka formira trenutna kontura medjuzublja  $k(n-1)$ . Zub označen sa  $(n)$  je ugaono zakrenut za veličinu ugla  $2\pi/n_1$  u odnosu na zub  $(n-1)$  iza koga se neposredno nalazi. Kada zub  $(n)$  počne formiranje trenutne konture medjuzublja  $k(n)$ , obradak se zakrene za ugao:

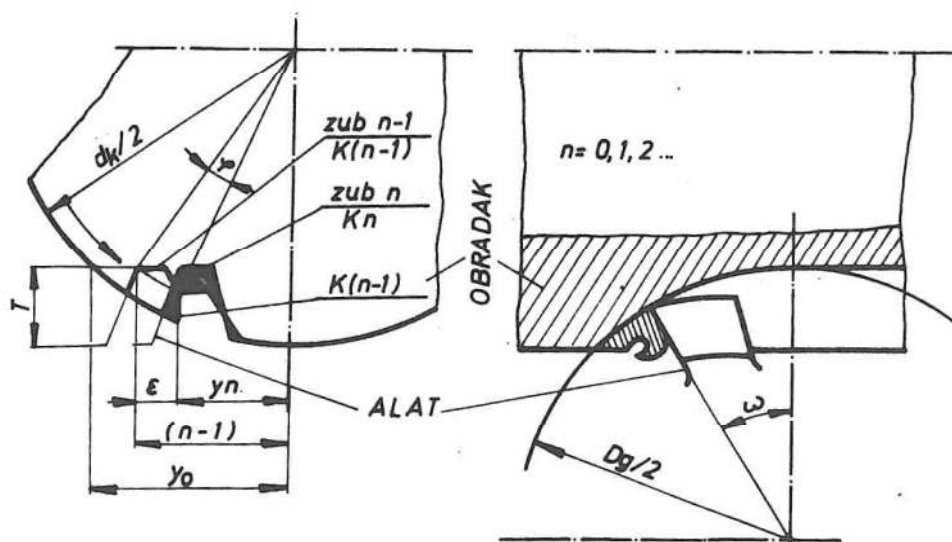
$$\phi = \frac{2\pi}{z_2 \cdot n_1} \frac{1}{\cos \omega_1}$$

gde je:

$z_2$  - broj zuba obradka

$\omega_1$  - ugao zahvata zuba odvalnog glodala

$n_i$  - broj žljebova po obimu odvalnog glodala.



Slika 2. Šema zahvata dva uzastopna zuba odvalnog glodala.

Veličina aksijalne podele na odvalnom glodalu, u opštem slučaju može se dati u obliku:

$$\epsilon = \frac{m_n \cdot z_1 \cdot \pi}{n_i \cdot \cos \omega_0} \frac{\cos \omega_0 - \sin^2 \omega_0}{\cos \omega_0} \quad (2)$$

Za aksijalno ožljebljena odvalna glodala  $\sin^2 \omega_0 = 0$ .

Veličina  $y_n$  vezana je za konstrukciju odvalnog glodala i obradka a predstavlja promenljivu veličinu koja zavisi od broja zuba u zahvatu  $n$ , pa je

$$y_n = y_0 - \epsilon \cdot n \quad (3)$$

Kod obrade medjuzublja na obradku pomoću jednozubog odvalnog glodala, proces rezanja odvija se uz dopunsko tangencijalno kretanje alata. U slučaju da se kružna trajektorija zuba jednozubog odvalnog glodala nalazi na rastojanju  $y_{n-1}$  od nultog zuba, tada će se formirati trenutna kontura medjuzublja obradka  $k(n-1)$ , po istovetnim principima kao za slučaj rada  $(n-1)$ -og zuba integralnog odvalnog glodala. Da bi se u sledećem obrtu

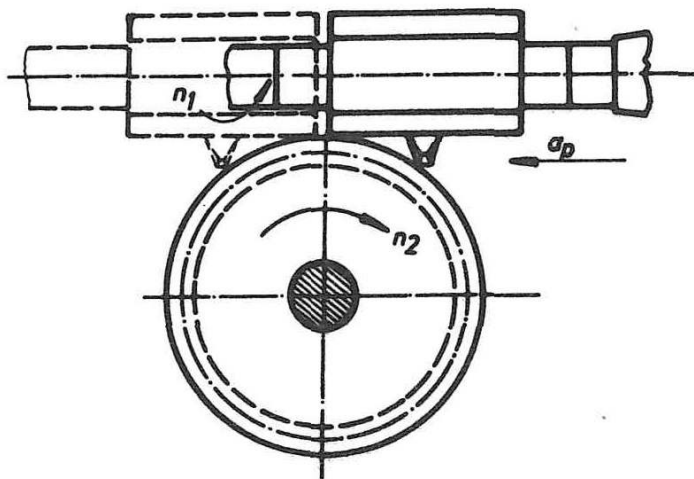
jednozubog alata formirala trenutna kontura  $k(n)$ , koja odgovara  $n$ -tom zubu stvarnog odvalnog glodala, treba u toku jednog obrta, jednozubog odvalnog glodala tangencijalno pomeriti prema nultom zubu i to za veličinu aksijalne podele  $\epsilon$  koju ima kompletno odvalno glodalo. Dopunskim tangencijalnim pomakom  $a_p = \epsilon$  omogućava se izrada svih kompletnih medjuzublja na obradku. Po izlasku zuba iz zahvata sa obradkom, u cilju zauzimanja aksijalnog pomaka  $s_a$ , vrši se njegovo vraćanje u početni položaj brzim tangencijalnim hodom. Zauzimanje aksijalnog pomaka  $s_a$  vrši se ručno i proces rezanja se nastavlja sve do izlaska zuba odvalnog glodala iz obradka u aksijalnom pravcu.

Pri izboru tangencijalnog pomaka, tj. aksijalnog pomeranja  $a_p$ , neophodno je voditi računa o odnosu broja zuba obradivanog zupčanika i broja hodova odvalnog glodala. Ako je ovaj odnos ceo broj, zub posle svakog obrtaja obradka obradjuje isto medjuzublje. Veličina aksijalnog pomeranja treba tada da bude jednaka veličini aksijalne podele  $a_p = \epsilon$ , u slučaju da je pomenuti odnos racionalan broj, zub posle svakog obrta obradka obradjuje medjuzublje koje je pomereno u odnosu na prethodno obradivano. To pomeranje odredjuje broj hodova alata. Tada se aksijalno pomeranje  $a_p$  bira kao odnos aksijalne podele i broja hodova, tj.

$$a_p = \epsilon / z_1 \quad (4)$$

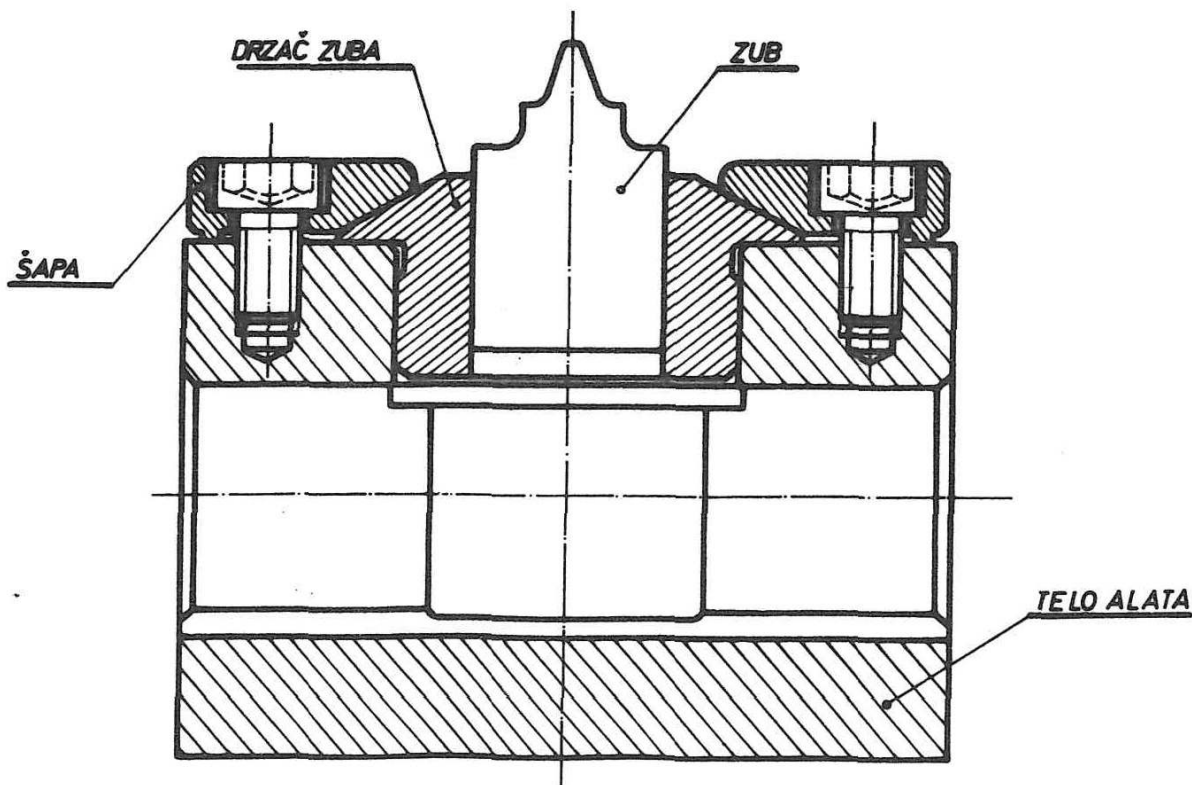
Na slici 3 [2] data je šema modelskog odvalnog glodanja jednozubim alatom.

Na ovaj način, pri obradi cilindričnih zupčanika, jednozubi alat prelazi sve faze rezanja kroz koje prolaze svi radni zubi integralnog odvalnog glodala. Kod integralnog odvalnog glodala zubi koji se nalaze u zahvatu trpe različita toplotna i mehanička opterećenja, pa je i oblik habanja svakog zuba različit. Pri radu jednozubog glodala zub postepeno preuzima opterećenja svih zuba, alata, što ima za posledicu brži razvoj procesa habanja. Medjutim, to ne znači da ako jedan zub ovakvim modelskim rezanjem zamenjuje  $(z)$  režućih zuba, da će mu i intenzitet habanja biti  $(z)$  puta veći. Linearnost između broja zuba u zahvatu i intenziteta habanja jednozubog odvalnog



Slika 3. Modelsko glodanje jednozubim alatom.

bog alata. Medjutim, za prvi ciklus istraživanja izradjena je jedna od varijanti (sl.4.),

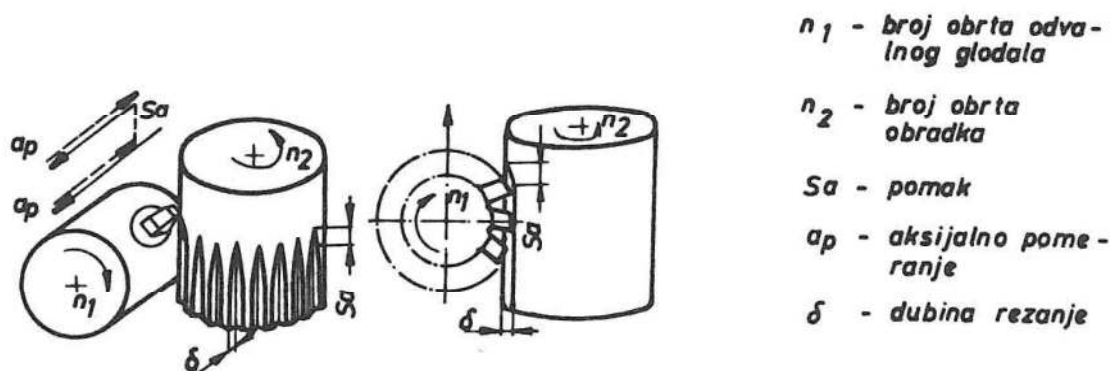


Slika 4. Izvedena varijanta jednozubog odvalnog glodala.

glodala ne postoji, jer se opterećenje premešta duž profila zuba [2].

Za potrebe sistematskih istraživanja procesa obrade odvalnim glodanjem na Katedri za obradu metala skidanjem strugotine, Instituta za proizvodno mašinstvo pri Fakultetu tehničkih nauka, konstruisane su tri varijante modelskog jednozuba

Uvodjenjem kratkih metoda za definisanje postojanosti odvalnog glodala, neophodno je odredjivanje veze izmedju triboloških karakteristika i habanja integralnog i jednozubog odvalnog glodala kojima se vrši modeliranje procesa odvalnog glodanja. Na slici 5 dato je poredjenje odvalnog glodanja jednozubim alatom i aksijalnog glodanja integralnim alatom [1].



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

Izloženi postupak modeliranja procesa odvalnog glodanja jednozubim alatom omogućuje simulaciju mehaničkog i termičkog opterećenja najopterećenijeg zuba jednog integralnog glodala koje radi sa aksijalnim pomeranjem.

### 3. KORELACIJA IZMEDJU POSTOJANOSTI INTEGRALNOG ODVALNOG GLODALA I JEDNOZUBOG ODVALNOG GLODALA

Ako se kao kriterijum zatupljenja alata pri završnoj obradi usvoji veličina parametra  $h_i = 0,35$  mm, onda se ova širina pojasa habanja postiže na zubu, bilo integralnog ili jednozubog odvalnog glodala, pri dužini puta rezanja označenoj kao  $L/0,35$ . Pri tome ne treba zaboraviti da se za integralno odvalno glodalo posmatra zub u opsegu dužine glodala  $L_s$  [4].

Integralno odvalno glodalo, koje radi u normalnim uslovima rada, ima  $L_s/a_p$  zuba koji rade pod istim režimom, pa će takvo glodalo moći da obradi za  $L_s/a_p$  puta veću dužinu  $L(0,35)$  od one koju može da obradi jedan zub. Iz tih razloga, postojanost integralnog glodala koje radi sa aksijalnim pomeranjem  $a_p$ ,

predstavlja vreme rezanja dužine  $L(0,35) L_s/a_p$ , odnosno:

$$T_I = \frac{z_2}{z_1 \cdot n} \cdot \frac{L(0,35)}{s_a} \cdot \frac{L_s}{a_p}, \quad (5)$$

pri čemu je:

- n - broj obrta glodala u min
- $z_1$  - broj hodova glodala
- $z_2$  - broj zuba obradka.

Postojanost zuba jednozubog glodala takodje predstavlja vreme rezanja dužine  $L(0,35)$ . Kako jednozubo glodalo mora da prodje sve faze rada ukupnog broja zuba u zahvatu N, koji leže u jednom radnom području, to je vreme rezanja dužine  $L(0,35)$  jednozubog glodala duže za  $N/n_i$  puta veće od jednog zuba integralnog glodala koji leži u opsegu  $L_s$ . Stoga se postojanost zuba jednozubog glodala može pisati u obliku:

$$T_1 = \frac{z_2}{z_1 \cdot n} \cdot \frac{L(0,35)}{s_a} \cdot \frac{N}{n_i} \quad (6)$$

Broj zuba u zahvatu - N dobija se kao izlazni podatak pri proračunu poprečnih preseka strugotine i komponentnih otpora rezanja primenom računara [2].

Iz odnosa postojanosti  $T_I$  i  $T_1$  dolazi se do medjusobne veze u obliku:

$$T_I = \frac{n_i}{N} \cdot \frac{L_s}{a_p} \cdot T_1 \quad (7)$$

Na osnovu ove veze može se ustanoviti da je postojanost integralnog odvalnog glodala koje radi sa periodičnim aksijalnim pomeranjem proporcionalna postojanosti jednozubog glodala.

Koeficijent proporcionalnosti je zavisano od broja žljebova glodala, broja zuba u zahvatu, aksijalne dužine glodala na kojoj se izvodi aksijalno pomeranje i veličine aksijalnog pomeranja i izračunava se iz jednačine:

$$K = \frac{n_i}{N} \cdot \frac{L_s}{a_p} \quad (8)$$

Ako bi dužina  $L_s$  na kojoj se izvodi aksijalno pomeranje  $a_p$  bila manja od maksimalno moguće, onda bi ukupna postojanost



integralnog odvalnog glodala bila manja, odnosno koeficijent nagiba prave  $T_I = K \cdot T_1$ , bio bi manji |2|.

### 3.1 Odredjivanje koeficijenta korelacije za konkretan slučaj

Postojanost integralnog odvalnog glodala koje radi sa aksijalnim pomeranjem  $a_p = \varepsilon$ , predstavlja vreme rezanja dužine  $L(0,35) \cdot L_s/a_p$  i data je izrazom:

$$T_I = \frac{z_{2i}}{z_1 \cdot n} \cdot \frac{L(0,35)}{s_a} \cdot \frac{L_s}{a_p} \quad (9)$$

gde je:

$z_{2i}$  - broj zuba zupčanika koji se obradjuje integralnim glodalom

$z_1$  - broj hodova glodala

$n$ -broj obrta glodala u min

$s_a$  - pomak

$a_p$  - aksijalno pomeranje.

Postojanost zuba jednozubog glodala takodje predstavlja vreme rezanja dužine  $L(0,35)$ . Na osnovu analize izraz za postojanost zuba jednozubog glodala može se napisati u obliku:

$$T_1 = \frac{z_{21}}{z_1 \cdot n} \cdot \frac{L(0,35)}{s_a} \cdot \frac{N}{n_i} \quad (10)$$

gde je:

$z_{21}$  - broj zuba obradka koji se obradjuje jednozubim glodalom

$N$  - broj zuba u zahvatu

$n_i$  - broj žljebova.

Iz odnosa postojanosti  $T_I$  i  $T_1$  dolazi se do medjusobne veze u obliku:

$$T_I = \frac{z_{2i}}{z_{21}} \cdot \frac{n_i}{N} \cdot \frac{L_s}{a_p} \cdot T_1 = K_1 \cdot K \cdot T_1 \quad (11)$$

gde je:

$$K = \frac{n_i}{N} \cdot \frac{L_s}{a_p}$$

Pošto u konkretnom slučaju nije bilo moguće imati identične uslove pri izvodjenju eksperimenta sa integralnim i jednozubim glodalom, to koeficijent  $K_1 = z_{2i}/z_{21}$  obuhvata razliku u broju zuba obradka pri radu sa integralnim i jednozubim glodalom.

Na osnovu analiza poprečnih preseka strugotine pri odvalnom glodanju, po programu koji je uradjen u laboratoriji za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, uveden je još jedan koeficijent -  $K_2$ . [2,4]. On obuhvata razliku u poprečnim presecima strugotine, pri obradi zupčanika sa  $z_{2i}$  i  $z_{21}$  zuba odvalnim glodalima sa prečnicima  $D_{gi}$  u  $D_{g1}$ .

Tada izraz za vezu izmedju postojanosti integralnog i jednozubog glodala dobija oblik:

$$T_I = K \cdot K_1 \cdot \frac{1}{K_2} \cdot T_1 \quad (12)$$

Pošto je kao kriterijum postojanosti u ovom radu uzeta dužina obradjenog venca  $L$  (mm), koja se obradi dok se na glodalu ne postigne širina pojasa habanja na izlaznom bočnom sečivu od 0,35 mm za završnu obradu, to izraz za vezu izmedju postojanosti integralnog i jednozubog glodala dobija konačan oblik:

$$L_I = K \cdot K_1 \cdot \frac{1}{K_2} \cdot L_1 \quad (13)$$

gde su za dati primer:

$n_i = 15$  - broj žljebova

$N = 33$  - broj zuba u zahvatu (odredjen po programu: Zahar - Mitrović - Sulzer)

$L_s = 65,26$  mm - raspoloživa dužina glodala za aksijalno pomeranje

$a_p = 0,63$  mm - aksijalno pomeranje

$K_1 = z_{2k}/z_{21} = 25/50 = 0,5$

$K_2 = 1,11$  (Na osnovu podataka iz T.1).

Koeficijent korelacije (nagib prave koja daje odnos postojanosti) iznosi:

$$K_R = K \cdot K_1 \cdot \frac{1}{K_2} = \frac{1}{N} \cdot \frac{s}{a_p} \cdot K_1 \cdot \frac{1}{K_2}$$

$$K_R = \frac{15}{33} \cdot \frac{65,26}{0,63} \cdot 0,50 \cdot \frac{1}{1,11} \quad (14)$$

$$K_R = 21,209$$

Tabela br. 1. Poprečni preseći strugotine na izlaznom boku  
Po varijanti: Zahar - Mitrović - Sulzer

PODACI O GLODALIMA						
INTEGRALNO			JEDNOZUBO			
PREČNIK 90 mm			PREČNIK 112 mm			
PODACI O OBRADCIMA						
BROJ ZUBA z = 25			BROJ ZUBA z = 50			
RAVNI PRESEKA			ZUB BROJ	RAVNI PRESEKA		
I	II	III		I	II	III
0,5740	0,5724	0,2500	-5	0,3035	0,3218	0,1906
0,3882	0,4311	0,2620	-4	0,4028	0,3659	0,2742
0,4037	0,4378	0,3509	-3	0,4694	0,7477	0,3179
0,5516	0,9366	0,3582	-2	0,3943	0,8210	0,4527
0,4442	0,8731	0,5730	-1	0,3701	0,6528	0,4425
0,3913	0,6581	0,4585	0	0,3737	0,4750	0,3903
0,3864	0,3926	0,3871	1	0,3843	0,331	0,3172
0,4831	0,3469	0,3083	2	0,3329	0,2979	0,2295
0,4461	0,3700	0,2280	3	0,2149	0,2184	0,1797
0,2149	0,2261	0,1734	4	0,1296	0,1327	0,1039
0,0469	0,0535	0,0345	5	0,0336	0,0346	0,0299

### 3.2 Eksperimentalna identifikacija korelacije postojanosti

U tabeli 2. date su vrednosti koeficijenta korelacije  $K_R$  izračunate na osnovu korišćenja dobijenih modela funkcija

postojanosti za jednozubo glodalo:

$$L_1 = 344,8 \cdot v^{-0,368} \cdot s_a^{-0,138} \quad (15)$$

i za integralno odvalno glodalo

$$L_I = 14827 \cdot v^{-0,511} \cdot s_a^{-0,138} \quad (16)$$

Eksperimentalna ispitivanja sa jednozubim alatom izvedena su u Laboratoriji Katedre za obradu metala skidanjem strugotine, a eksperimentalno ispitivanje sa integralnim alatom izvedena su u "POBEDI", OOUR "METALAC" [4].

Grafička interpretacija data je na slici 6.

Tabela 2. Koeficijent korelacije

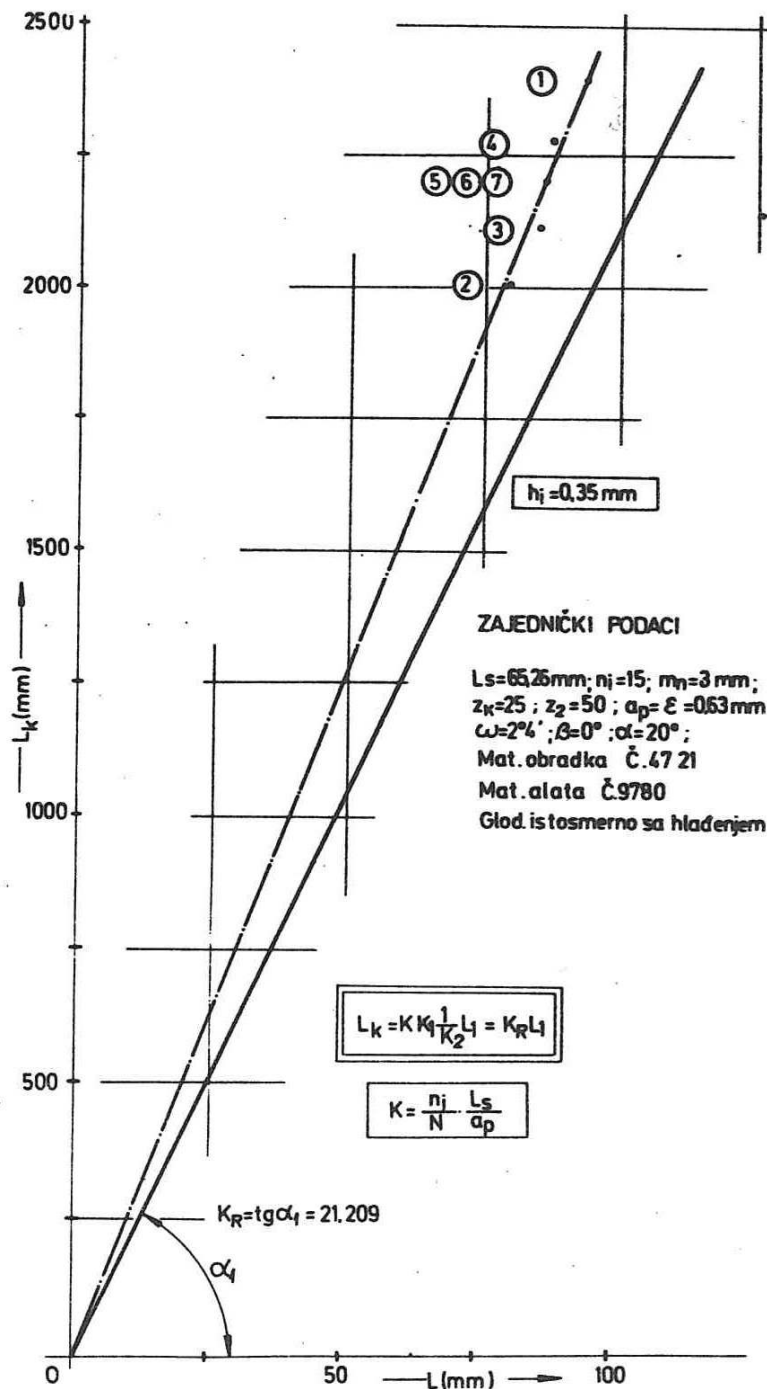
Tačka u dija- gramu	V (m/min)	S (mm/o)	POSTOJANOST (mm)		KOEFIG. KORELAC. $K_{RI}$	ODSTUPANJA U %
			$L_I$	$L_1$		
1	2	3	4	5	6	7
1.	35,34	1,00	2398,27637	92,92767	25,80	17,79
2.	45,24	1,60	2007,86816	79,51541	25,25	16,00
3.	45,24	1,00	2113,93359	84,85901	24,91	14,85
4.	35,34	1,60	2277,94434	87,07599	26,16	18,92
5.	39,58	1,28	2202,98437	86,14117	25,57	17,05
6.	39,58	1,28	2202,98437	86,14117	25,57	17,05
7.	39,58	1,28	2202,98437	86,14117	25,57	17,05

Na osnovu eksperimentalnih rezultata prikazanih u tabeli 2. jasno se može uočiti da postoje odstupanja teoretskog stepena korelacije  $K_R = 21,209$  i eksperimentalno odredjenih koeficijenata korelacije. Odstupanja se kreću od 14,85 - 18,92%, a mogu se objasniti sledećim:

1. Ledjni ugao zuba jednozubog glodala iznosio je  $10^0$ . U toku tog dela eksperimenta korišćen je samo jedan nož koji je imao izradjenu ravnu ledjnu površinu.

Usled oštrenja alata (sest puta u toku eksperimenta), došlo je do smanjenja ledjnog ugla za oko  $3^{\circ}$  što se odrazilo na povećanje površine kontakta i izazvalo intenzivnije habanje alata (smanjena postojanost).

2. Temperaturne pojave su različite s obzirom da toplotno opterećenje kod jednozubog glodala prima jedan zub, a kod integralnog glodala se generisana toplota rasprostire na veći broj zuba (veću masu). Takodje treba istaći da sa smanjenjem ledjnog ugla dolazi do povećania generisane toplote.



Slika 6. Uspostavljanje veze izmedju postojanosti jednozubog i integralnog odvalnog glodala.

3. Različiti poprečni preseki strugotine prouzrokovali su i različite otpore rezanja. Sile rezanja po Kinzleu date su izrazom:

$$F = A \cdot k_s = A \cdot k_{s1} \cdot h^{-c} \quad (17)$$

gde su:

A - poprečni presek strugotine

$k_s$  - specifični otpor rezanja

$k_{s1}$  - specifični otpor rezanja za zadatu debljinu strugotine

h - debljina strugotine

c - koeficijent zavisn od debljine strugotine

omogućavaju tačan proračun sila rezanja, pri čemu se, usled različitih opterećenja javljaju različite postojanosti.

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu ovih istraživanja određena je veza između postojanosti jednozubog i integralnog odvalnog glodala.

Odstupanja koeficijenta korelacije posledica su različitog broja zubaca obradaka pri eksperimentalnim uslovima rada alata, kao i razlike u lednjom uglu jednozubog i integralnog odvalnog glodala.

#### 5. LITERATURA

- [1] Joopa, K., Leistungssteigerung beim Wälzfräsen mit Schnellarbeitsstahl durch Analyse Beurteilung und Beeinflussung des Zerspanprocess, Diss., T.H. Aachen, 1977.
- [2] Mitrović, R., Modelna ispitivanja procesa odvalnog glodanja, Disertacija, FSB, Zagreb, 1977.
- [3] Sovilj, B., Optimizacija geometrijskih parametara odvalnog glodala, Magistarski rad, FTN, Novi Sad, 1980.
- [4] Banjac, D., Sovilj, B., i dr.: Tehnoekonomska optimizacija elemenata tehnologije mašinske obrade, Deo III, Elaborat, Novi Sad, 1980.
- [5] Kostić, Lj., Diplomski rad, FTN, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, 1980.