

PRETHODNO SAOPŠTENJE

B. Sovilj, R. Mitrović*

RAVNOMERNOST RASPODELE HABANJA ZUBA ODVALNOG
GLODALA

Rezime

U radu je analizirana ravnomernost habanja zuba odvalnog glodala i odredjena optimalna veličina aksijalnog pomeranja odvalnog glodala u proizvodnim uslovima. Primenom optimalnog pomeranja povećava se postojanost alata, a kao rezultat istog imamo smanjenje troškova alata i troškova obrade.

GLEICHMÄSSIGKEIT DER AUSNUTZUNGSVERTEILUNG DER
ZAHNE DES WÄLZFRÄSERS

Summary

In der Arbeit wurde die Gleichmassigkeit des Verschleisses von Zähnen des Wälzfräasers analysiert und der optimale Axialvorschub in Betriebsbedingungen bestimmt. Die Verwendung des optimalen Vorschubs hat die Vergrösserung der Lebensdauer und die Verminderung der Fertigungskosten zur Folge.

1. UVOD

Odvalno glodanje nalazi najširu primenu pri obradi cilindričnih zupčanika zahvaljujući velikoj produktivnosti procesa. Komplikovana kinematska veza između alata i obradka prouzrokuje niz teškoća koje sprečavaju optimalno iskorišćenje alata, pribora i mašine alatke, a samim tim i optimizaciju celokupnog postupka obrade zupčanika. Navedeno se najbolje može videti i kroz nezadovoljavajuću postojanost alata od brzoreznog čelika i još

*) Sovilj mr Bogdan, dipl.ing., asistent, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, V.Perića-Valtera 2.

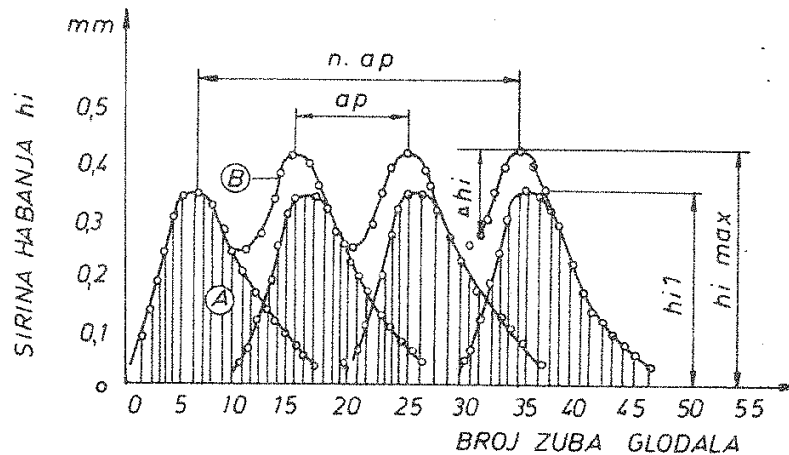
Mitrović dr Ratko, dipl.ing., vanr.prof., Mašinski fakultet, 34000 Kragujevac, Sestre Janjića 6.

uvek nepoznato i nedovoljno kontrolisana krzanja alata od tvrdog metalnog karbida.

Bolji rezni materijali i odvalne glodalice veće statičke i dinamičke krutosti omogućuju da se putem sistematskih ispitivanja tačnije utvrdi upotrebljivost odvalnih glodala povećanih dimenzija od brzoreznog čelika i postave nove smernice za najekonomičniju njihovu primenu.

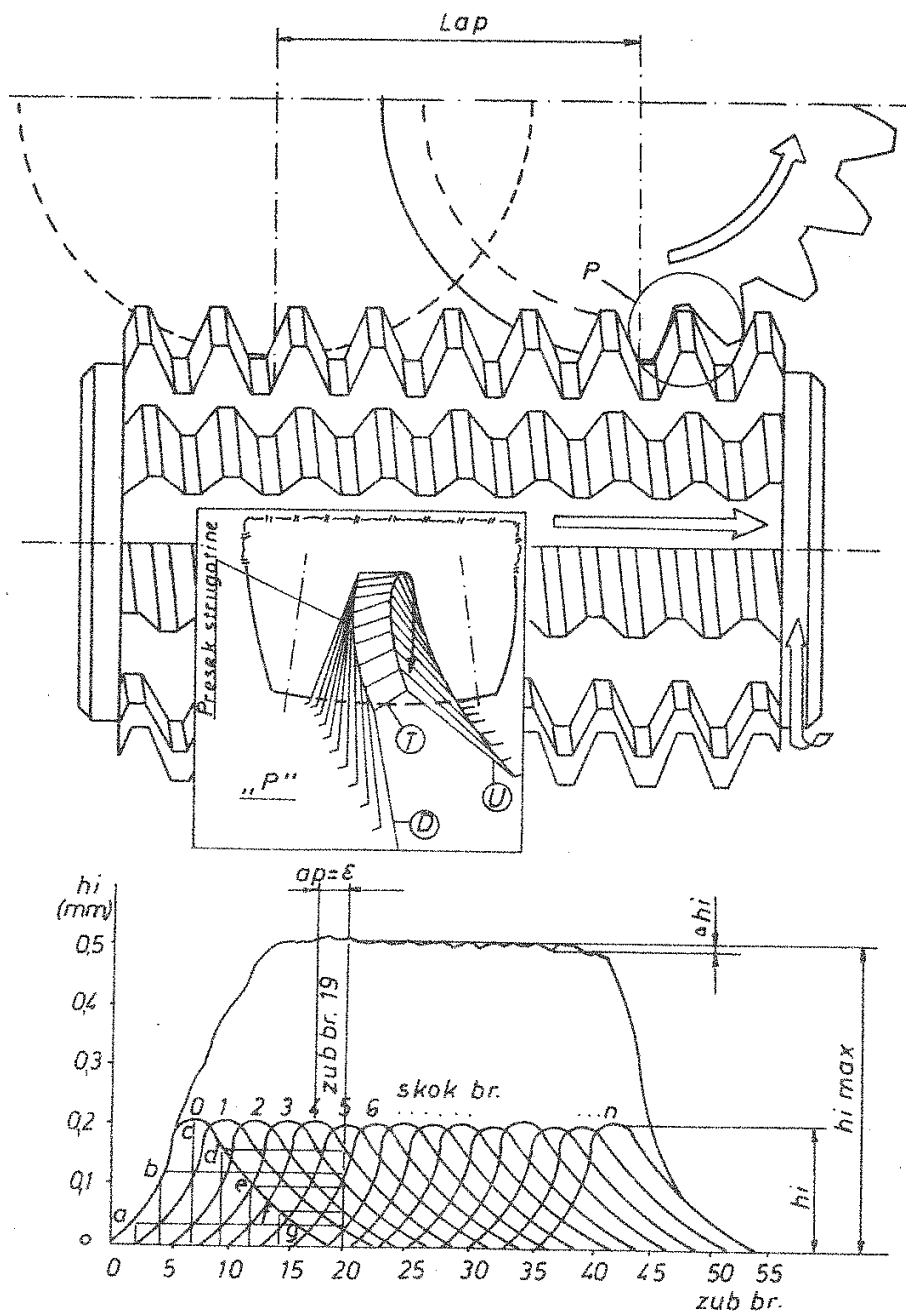
2. TEORIJSKA RAZMATRANJA

Poznato je da pri odvalnom glodanju cilindričnih ozubljenja pojedini zubi glodala imaju različit oblik i intenzitet habanja. Najopterećeniji zub glodala sa najvećim habanjem nalazi se udaljen oko 1/3 od početka zone rezanja. Za glodala koja rade bez aksijalnog pomeranja daje se kriterijum habanja na osnovu opterećenja maksimalno opterećenog zuba. Zbog toga su takva glodala loša za potpunu eksploataciju pa se sada izradjuju alati većih dužina da bi se mogli aksijalno pomerati prema odgovarajućoj širini habanja. Maksimalno opterećenje se na taj način pomera na ranije manje opterećene zube koji leže u području zone koja se nastavlja na prethodnu. Od veličine aksijalnog pomeranja odvalnog glodala zavisi koji će zub biti maksimalno opterećen.



Slika 1. Teoretska podela habanja na zubima odvalnih glodala pri glodanju sa velikim aksijalnim pomeranjem alata

Iako moderne glodalice imaju mogućnost za aksijalno pomeranje alata, još uvek su dva pitanja od značajnog uticaja na optimalno iskorišćenje odvalnog glodala od brzoreznog čelika ostala nerazjašnjena:



Slika 2. Šema odvalnog glodanja sa teoretskom raspodelom habanja zuba alata pri odvalnom glodanju sa malim aksijalnim pomeranjem alata

- posle koje količine skinute strugotine, odnosno broja obradjenih cilindričnih zupčanika treba preduzeti aksijalno pomeranje odvalnog glodala;
- koliko treba da iznosi to pomeranja.

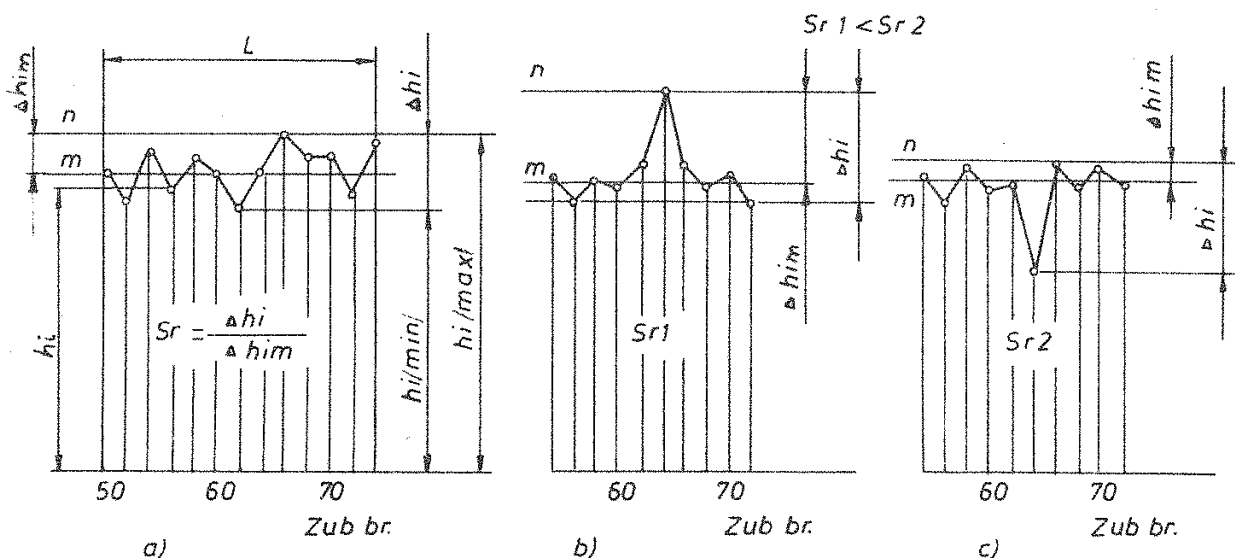
Za definisanje oblika habanja sečiva zuba odvalnog glodala na ledjnoj površini usvojena su tri parametra habanja i to (sl.4):

- h_1 - širina koncentrisanog habanja po ledjnoj površini zuba na delu prelaznog radijusa od izlaznog bočnog prema temenom sečivu,
- h_t - širina koncentrisanog habanja po ledjnoj površini na delu prelaznog radijusa od ulaznog bočnog prema temenom sečivu.
- h_u - širina koncentrisanog habanja po ledjnoj površini na delu prelaznog radijusa od ulaznog bočnog prema temenom sečivu.

Na bazi brojnih eksperimentalnih merenja utvrđeno je da se kao kriterijum za ocenu potpune zastupljenosti odvalnog glodala može usvojiti parametar h_1 .

Kriva označena sa A na slici 1 [5] i kriva označena sa a, b, c, d, e, f, g na slici 2 [5] odnosi se na širinu habanja h_1 na pojedinim zubima odvalnog glodala pri glodanju bez aksijalnog pomeranja alata. Posle prvog aksijalnog pomeranja za dužinu a_p očekuje se novo habanje novog radnog područja prema istim zakonitostima kao i pre pomeranja. Obzirom da dolazi do presecanja radnog područja u zoni obeleženoj sa p_{ap} , nastaje nešto veća širina habanja u području p_{ap} od očekivane. Posle n istih aksijalnih pomeranja odvalnog glodala, nastaje veća stvarna širina habanja (kriva B na slici 1, odnosno kriva K na slici 2.).

Ukupno habanje odvalnog glodala procenjuje se na osnovu podele habanja od zuba do zuba utvrđivanjem najveće širine habanja h_{max} . Odnos između h_{max} i h_1 (pre prvog pomeranja odvalnog glodala) približava se broju 1 ako pomeranje raste. Na osnovu ovoga proizilazi da se pomoću izbora malih pomeranja i malih širina habanja h_1 može postići ravnomerno habanje svih reznih zuba koji leže u području $n \cdot a_p = L$.



Slika 3. Osnovni pojmovi za definisanje stepena ravnomernosti raspodele habanja S_r (a), habanje odvalnog glodala sa malim S_r (b) i habanja odvalnog glodala sa velikim S_r (c)

U cilju definisanja ravnomernosti habanja svih rezućih zuba integralnog odvalnog glodala koje radi sa aksijalnim pomeranjem, neophodno je uvođenje sledećih pojmova (sl.3):

- Δh_i - maksimalna disperzija širine pojasa habanja h_i na dužini L periodično očekivane raspodele habanja,
- n - linija nivoa maksimalne širine pojasa habanja $h_{i_{max}}$,
- m - srednja linija, paralelna liniji nivoa n , je aritmetička srednja vrednost širina pojasa habanja h_i na dužini L ,
- Δh_{i_m} - srednja disperzija širine pojasa habanja h_i računata od linije nivoa n do njoj paralelne srednje linije m .

Prema ovako usvojenim osnovnim pojmovima i definicijama uvođi se pojam stepena ravnomernosti raspodele habanja S_r , kao odnos maksimalne i srednje disperzije širine pojasa habanja h_i , odnosno

$$S_r = \frac{\Delta h_i}{\Delta h_{i_m}}$$

Uvedeni stepen ravnomernosti raspodele habanja bliže definiše kvalitet odvalnog glodala sa istom maksimalnom disperzijom h_i , ali različitom srednjom disperzijom h_{im} .

Na slici 3a i 3c prikazane su dve različite konfiguracije širine pojasa habanja dva odvalna glodala pri radu sa istim aksijalnim pomeranjem, koje imaju iste maksimalne disperzije Δh_i , ali sa različitim srednjim disperzijama Δh_{im} .

Slučaj (b) odgovara manjem, a slučaj (c) većem stepenu ravnomernosti raspodele habanja S_r . Znači da mali stepen ravnomernosti raspodele habanja karakteriše lošije iskorišćenje odvalnog glodala u odnosu na ono sa postignutim većim stepenom ravnomernosti habanja S_r .

Prisutna je činjenica da pri optimizaciji procesa odvalnog glodanja svaka zemlja ili značajnija fabrika, koju interesuju ova problematika, mora prilagoditi istraživanja sopstvenim proizvodnim uslovima. Zbog kompleksnosti problema, istraživanja optimizacije procesa odvalnog glodanja zahtevaju znatna ulaganja i napore koji se ne mogu uvek sprovesti u normalnom procesu proizvodnje.

3. REZULTATI ISPITIVANJA

Ispitivanja su izvršena u proizvodnim uslovima na odvalnoj glodalici za zupčanike tipa MODUL-ZFWZ 250x5A - DR Nemačka sa odvalnim glodalom $m_n=3$ mm, prečnika $D_g=\phi 90$, dužine $L_g=125$ mm od č9780, tvrdoće posle termičke obrade $65,5 \pm 0,5$ HRC, proizvođača "JUGOALAT"-Novi Sad, a kao reprezentativni materijal za uzorke zupčanika usvojen je č4721.

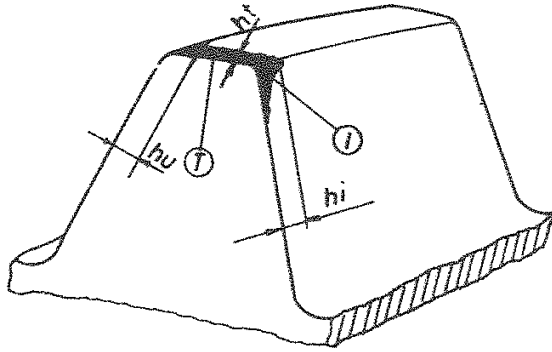
Pri obradi zubaca korišćeno je sredstvo za hladjenje i podmazivanje: ulje "REZANOL 20 EP".

Merenje širine pojasa habanja ($h_{i,u,t}$) ostvareno je sa tačnošću $\pm 0,05$ mm na UNIVERZALNOM alatnom mikroskopu "ZEISS".

Pri merenju uočen je znatno brži razvoj procesa habanja h_i u odnosu na parametar h_t . Veličina parametra h_t u funkciji broja obradjenih komada, odnosno u funkciji vremena rezanja može da se dobro aproksimira eksponencijalnom krivom oblika:

$$h_t = C_t \cdot T^{z_t}$$

pri čemu su C_t i z_t - konstantne vrednosti koje zavise od uslova obrade. Veličina parematra h_u je za sve slučajeve pravog ozubljenja u blagom zaostajanju za parametrom h_i .

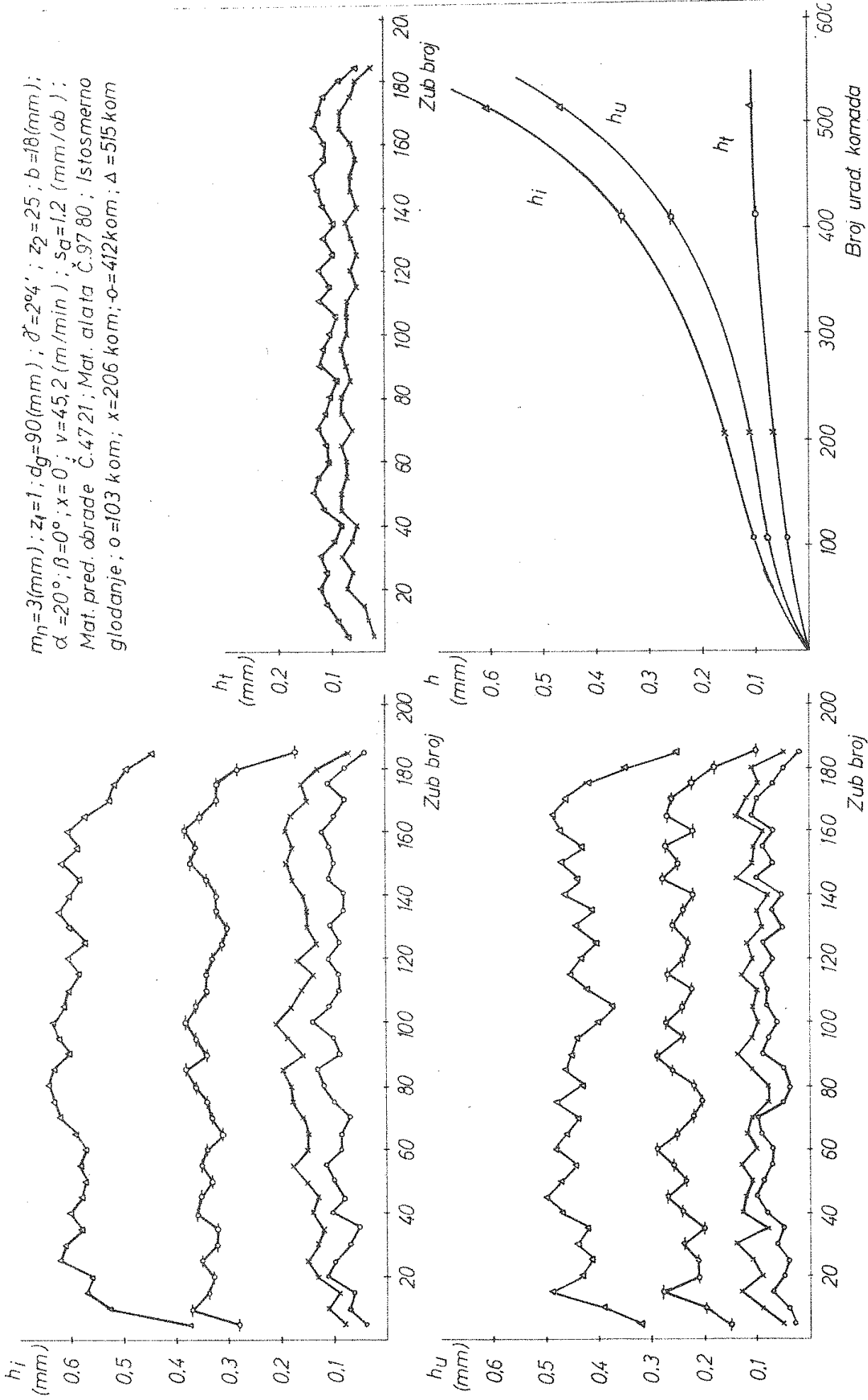


Slika 4. Karakteristični oblici habanja zuba odvalnog glodala

Habanje po grudnoj površini zuba je u vidu kratera i za režimske uslove izvedenih eksperimenata izraženo je u znatno manjoj meri u odnosu na habanje po ledjnoj površini. Kao kriterijum postojanosti alata usvojena je veličina širine pojasa habanja $h_j=0,6$ mm (širina habanja temenog sečiva na svim zubima odvalnog glodala, pri $h_j=0,6$ mm nije prelazila 0,2 mm).

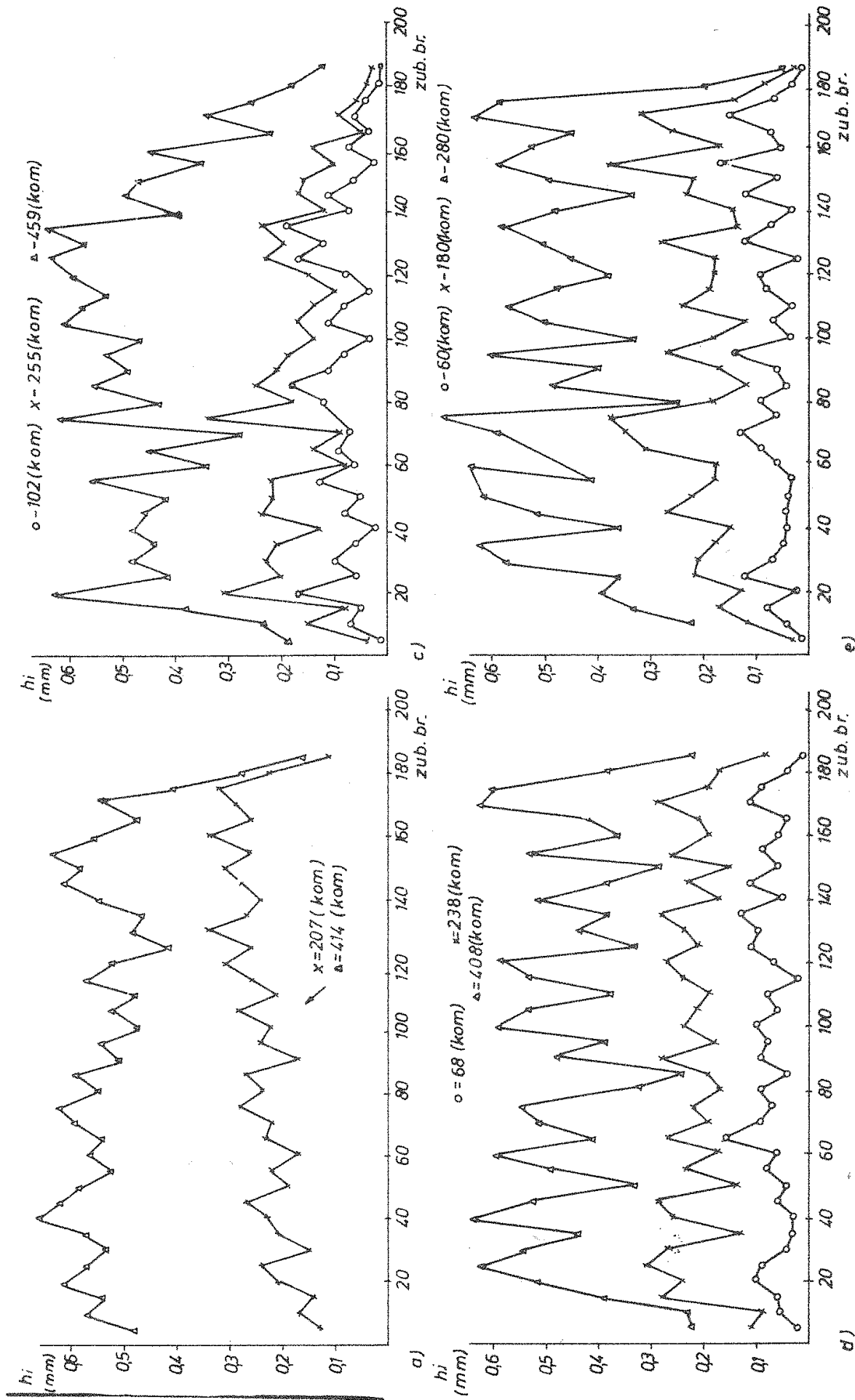
Odvalno glodanje zuba cilindričnih zupčanika vršeno je odvalnim glodalom veće aksijalne dužine uz primenu aksijalnog pomeranja koji odgovara veličini aksijalnog koraka zuba odvalnog glodala, tj. $a_p=\epsilon$. Tok razvoja procesa habanja zuba po ledjnoj površini dati su na slici 5. S obzirom na veličinu izabranog aksijalnog pomeranja svi zubi glodala koje pokriva dužina L (levi gornji dijagram) rade pod istim režimom rada. Merenje parametara habanja h_j , h_t i h_u posle obradjenih 103, 206, 412 i 515 komada omogućuju konstruisanje krivih $h=f(T)$ iz kojih se vidi razvoj pomenutih parametara. Sve veličine parametara habanja zuba koji su u opsegu dužine L podležu zakonu normalne raspodele, pa svaka tačka na dijagramu $h-T$ predstavlja aritmetičku sredinu odgovarajućeg niza izmerenih vrednosti posle odredjenog broja obradjenih komada, odnosno posle odredjenog vremena rezanja T .

Za odredjeni broj aksijalnih pomeranja na slikama 6 i 7 dati su tokovi i razvoji habanja odvalnog glodala. Sa slika 6 i 7 se uočava da pri postizanju iste širine pojasa habanja kao za slučaj veličine $a_p=\epsilon=0,63$ mm, broj obradjenih komada opada. Iskorišćenje pojedinih zuba glodala je znatno niže nego za slučaj aksijalnog pomeranja $a_p=\epsilon$. Sa daljim povećanjem aksijalnog pomeranja, na odvalnom glodalu veće aksijalne dužine, maksimalno opterećeni

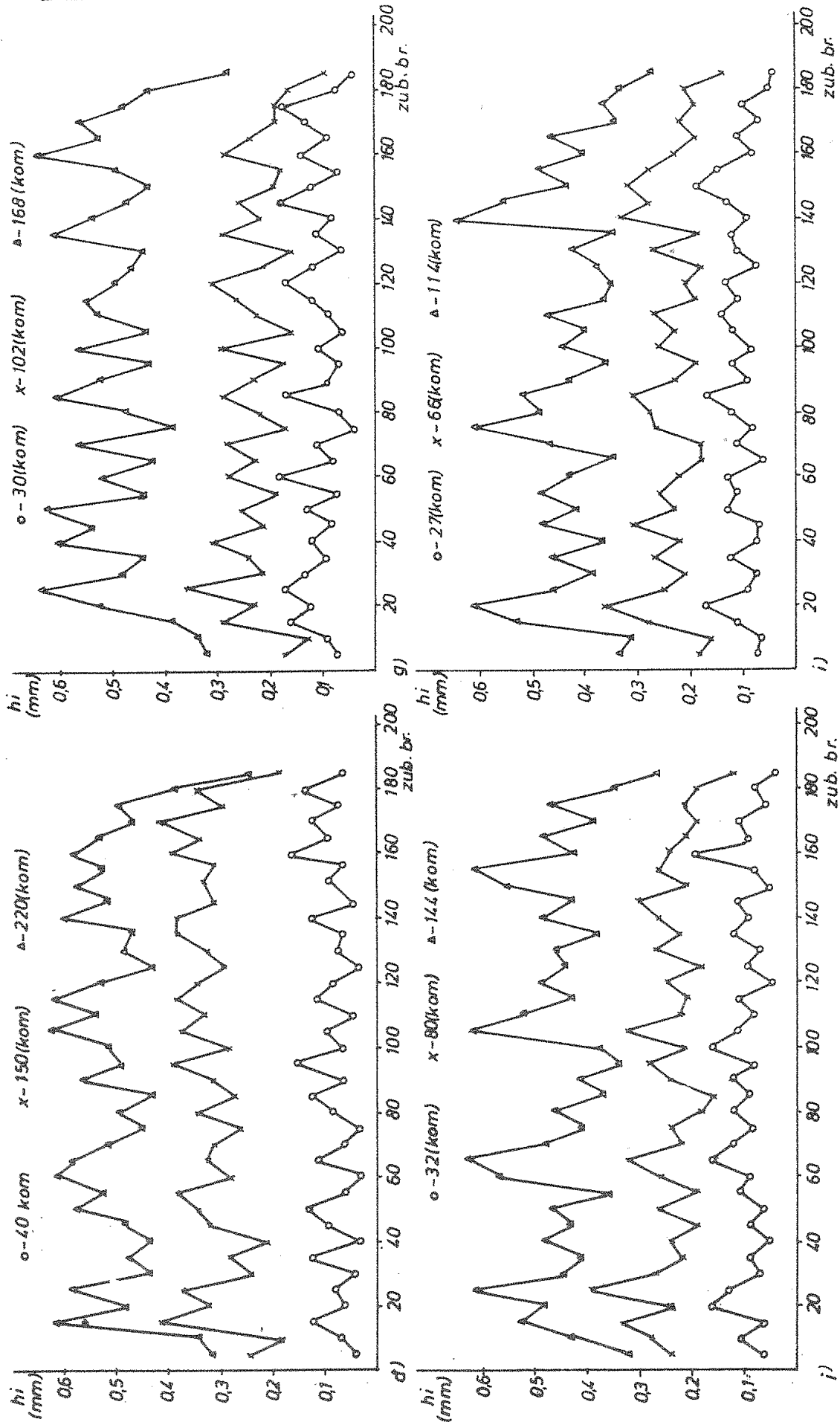


$m_n=3(\text{mm})$; $z_1=1$; $d_g=90(\text{mm})$; $\delta'=2'4''$; $z_2=25$; $b=18(\text{mm})$;
 $\alpha=20^\circ$; $\beta=0^\circ$; $x=0$; $v=45,2(\text{m/min})$; $s_g=1,2(\text{mm/ob})$;
 Mat. pred. obrade Č.4721; Mat. alata Č.97 80; Istosmerno
 glodanje; $o=103$ kom; $x=206$ kom; $o=412$ kom; $\Delta=515$ kom

Slika 5. Tok i razvoj procesa habanja odvalnog glodala pri radu sa aksijalnim pomeranjem $a_p=\epsilon=0,63$ mm. Meren je svaki isti zub.



Slika 6. Tok i razvoj procesa habanja odvalnog glodala pri radu sa aksijalnim pomeranjem:
 a) $a_p = 1/2\epsilon = 0,315$ (mm), c) $a_p = 2\epsilon = 1,26$ (mm), d) $a_p = 3\epsilon = 1,89$ (mm), e) $a_p = 5\epsilon = 3,15$ (mm)



Slika 7. Tok i razvoj procesa habanja odvalnog glodala (h_i) pri radu sa aksijalnim pomeranjem:
 f) $a_p=10\epsilon=6,3$ (mm), g) $a_p=15\epsilon=9,45$ (mm), h) $a_p=25\epsilon=15,75$ (mm), i) $a_p=30\epsilon=18,9$ (mm)

zubi odvalnog glodala bili bi sve udaljeniji jedan od drugoga, i izmedju njih je sve više potpuno neiskorišćenih zuba.

U cilju odredjivanja veličine optimalnog aksijalnog pomeranja eksperimentalni deo je izveden sa odvalnim glodalom aktivne aksijalne dužine od 119 mm. Pri većim aksijalnim skokovima ostvaruje se manji broj mogućih radnih prolaza na dužini glodala L, što povećava deo troškova operacije obrade koje se odnose na troškove alata.

Rezultati ispitivanja su pokazali da je veličina aksijalnog pomeranja $a_p = \epsilon$ optimalna (sl.8). Za slučajeve rada sa $a_p \geq \epsilon$ iskorišćenje postaje manje, jer dolazi do bržeg postizanja kriterijuma postojanosti, pa je u tim slučajevima ukupan broj obradjenih komada manji. Razlog pojačanog habanja zuba odvalnog glodala pri $a_p < \epsilon$ leži u tome što aksijalno pomeranje ima za cilj da rastereći maksimalno opterećeni zub odvalnog glodala i time to maksimalno opterećenje prenese na susedni ili neki drugi zub. Medjutim, u ovom slučaju posle izvodjenja aksijalnog pomeranja, maksimalno opterećeni zub glodala nije preuzeo ulogu režućeg zuba koji radi sa manjim opterećenjem i ima drugačiji raspored mehaničkog opterećenja duž sečiva zuba.

Na osnovu teorijskih razmatranja izvršen je proračun stepena ravnomernosti za svih 9 (devet) aksijalnih pomeranja:

$$a) a_p = \frac{1}{2}\epsilon \Rightarrow S_{r_i} = 2,222$$

$$b) a_p = \epsilon \Rightarrow S_{r_i} = 2,708$$

$$c) a_p = 2\epsilon \Rightarrow S_{r_i} = 2,44$$

$$d) a_p = 3\epsilon \Rightarrow S_{r_i} = 2,36$$

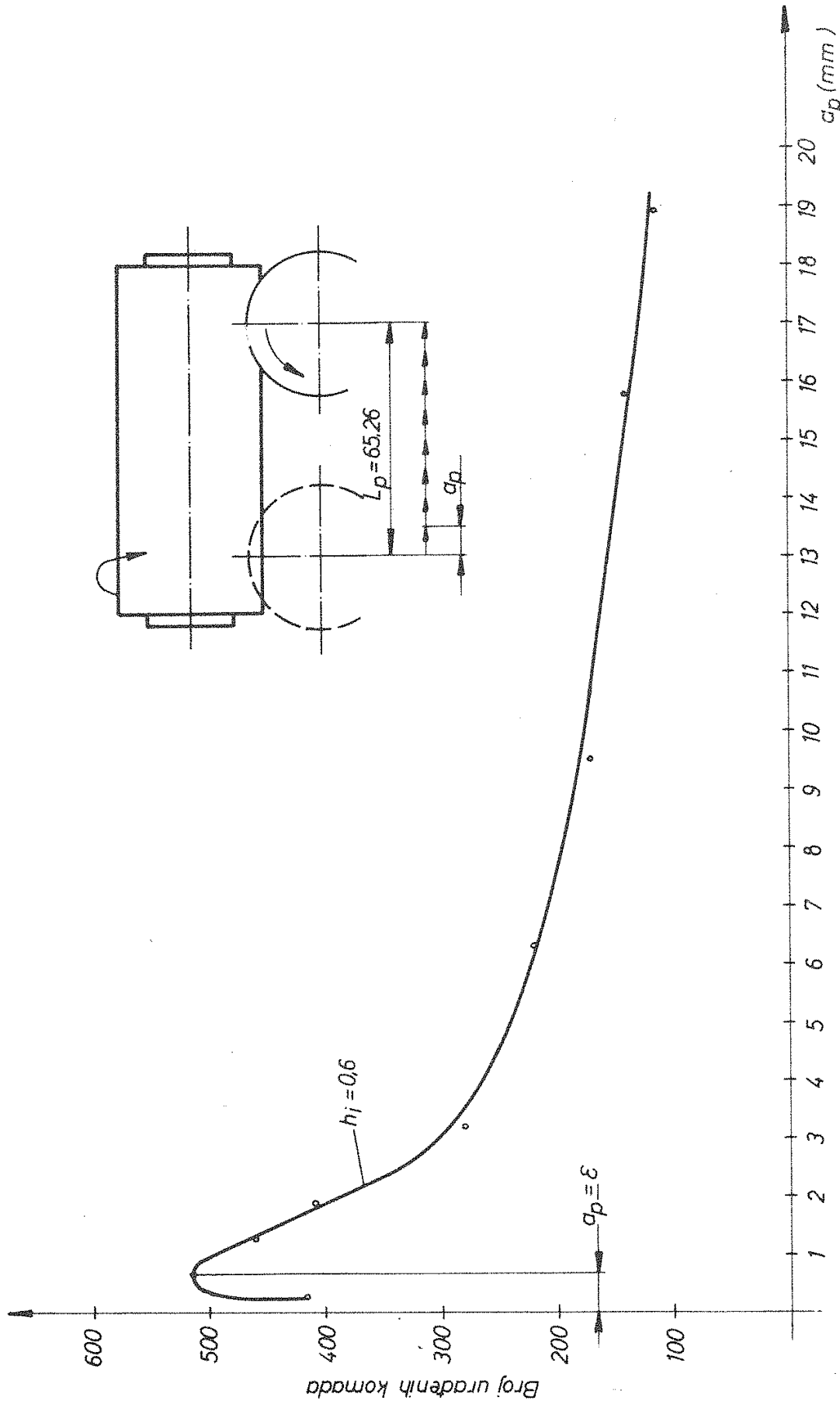
$$e) a_p = 5\epsilon \Rightarrow S_{r_i} = 2,15$$

$$f) a_p = 10\epsilon \Rightarrow S_{r_i} = 1,96$$

$$g) a_p = 15\epsilon \Rightarrow S_{r_i} = 1,94$$

$$h) a_p = 25\epsilon \Rightarrow S_{r_i} = 1,667$$

$$i) a_p = 30\epsilon \Rightarrow S_{r_i} = 1,538$$



Slika 8. Određivanje veličine optimalnog pomeranja odvalnog glodala (a_p): $m_n=3$ (mm);
 $z_1=1$; $d_g=90$ (mm); $\gamma=204^\circ$; $z_2=25$; $b=18$ (mm); $\alpha=20^\circ$; $\beta=0^\circ$; $x=0$; $v=45,2$ (mm/min);
 $S_a=1,2$ (mm/ob). Materijal obradka Č4721; Materijal alata Č9780; Aksijalna
 dužina glodala 119(mm)

Rezultat proračuna ukazuje da se pri aksijalnom pomeranju $a_p = \epsilon = 0,63$ mm javlja najveći stepen ravnomernosti. Za izvodjenje opšteg zaključka bilo bi neophodno izvesti više eksperimenata varirajući pri tome materijal alata i materijal obradka. Bolja preglednost za detaljniju analizu dobila bi se ako bi se umesto broja obradjenih komada pratila količina skinute strugotine. Tada bi se moglo vršiti poredjenje obradaka sa različitim brojevima zuba.

Na osnovu izvedenih eksperimenata preporučljivo je odabrati što veću vrednost $1/\Delta h_1$. Ravnomerno habanje svih zuba odvalnog glodala postiže se za $1/\Delta h_1 = 10 \text{ mm}^{-1}$ (sl.2).

Značajno je da se a_p i h_{11} održava malim. Eksperimenti ukazuju da se naročito ravnomerno habanje svih zuba odvalnog glodala postiže ako se za vrednost aksijalnog pomeranja a_p odabere aksijalna podela ϵ odvalnog glodala i ako se pomeranje uzme do jedne vremenske tačke za koju važi odnos $h_{11} = (0,25-0,30) h_{1\text{max}}$. Vrednost $1/\Delta h_1$ je u praksi često nešto niža nego što se očekuje jer deluju razni uticaji, kao što su npr: struktura zuba odvalnog glodala, nehomogeni materijali i oscilacije sistema mašina-alat-obradak. Optimiranje procesa odvalnog glodanja je zbog toga moguće postići samo od slučaja do slučaja.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu prethodnih istraživanja može se zaključiti da veličina aksijalnog pomeranja utiče značajno na stepen ravnomernosti raspodele habanja zuba odvalnog glodala.

Najveći stepen ravnomernosti raspodele habanja zuba glodala postignut je pri aksijalnom pomeranju $a_p = \epsilon$.

LITERATURA

- [1] Hoffmeister, B., Über den Verschleiss am Walzfraser, Diss., TH.Aachen, 1970.
- [2] Sulzer, G., Leistungsteigerung bei der Zylinderradstellung, durch genaue Erfassung der Zerspänkinematik., Diss., TH Aachen, 1973.
- [3] Ikalova, O., Tumašenko, H.: Issledovanie vlijanija geometričeskikh parametrov červjačnoj frezi na ee stojkost, rezanie i instrument, Vipusk 14, Harkov, 1975.
- [4] Mitrović, R., Modelska ispitivanja procesa odvalnog glodanja, Disertacija, FSB, Zagreb, 1977.

- |5| Zahar, S., Analiza procesa odvalnog glodanja, Disertacija, Kragujeva, 1977.
- |6| Joopa, K., Leistungssteigerung beim Walzfrasen mit Schnellarbeitsstahl durch Analyse Beurteilung und Beeinflussung des Zerspanprozess, Diss., TH Aachen, 1977.
- |7| Sovilj, B., Analiza uticaja parametara režima rezanja na izlazne karakteristike procesa odvalnog glodanja primenom elektronskog računara, Seminarski rad, FTN, Novi Sad, 1977.
- |8| Banjac, D., Sovilj, B., i dr., Tehnoekonomska optimizacija elemenata tehnologije mašinske obrade, Elaborat, Novi Sad, 1980.
- |9| Sovilj, B., Optimizacija geometrijskih parametara odvalnog glodala, Magistarski rad, FTN, Novi Sad, 1980.
- |10| Lierath, F., Seifert, M., Optimierung des Wälzfrasens zur Herstellung geraderzahnter Stirnräder, Fertigungs technik und Betrieb, 21, 1971, H.1.
- |11| Kuljanić, E., Lemager, E., Povećanje produktivnosti odvalnog glodanja s metodom velikog siftinga, Zbornik radova Naučno-stručnog skupa o zupčanicima i kliznim ležajevima, Zagreb, 1976.