

Prilog proučavanju jediničnoga otpora rezanja pri obradbi jelovine glodanjem

A CONTRIBUTION TO THE STUDY OF CUTTING RESISTANCE WITH MACHINING OF FIR

Mr.sc. **Stjepan RISOVIĆ**, dipl.inž.
Šumarski fakultet Zagreb

UDK 630*812.732:630*823.1:630*174.7

Prispjelo: 3. 2. 1994.
Prihvaćeno: 17. 2. 1994.

Izvorni znanstveni rad

Sažetak

U skladu s ciljevima rada provedeno je obuhvatno proučavanje obradbe drva glodanjem. Svi izvedeni pokusi obavljani su postupkom protusmjernoga obodnog glodanja na proizvodnim viševretenim glodalicama kakve se obično rabe za obradbu drva u drvnoj industriji. Ispitivanja obradbe odvajanjem čestica provedena su za jelovinu prema unaprijed postavljenom planu pokusa. Osim kontrole smjera obradbe, temperature i mokrine drva, mjerenjima su tijekom pokusa određivane geometrijske i vremenske veličine te električna snaga. Tijekom pokusa mijenjana je posmična brzina. Sve se to ponavljalo za četiri inačice dubine glodanja. Proučavanje ovisnosti snage rezanja o posmičnoj brzini i srednjoj debljini odvojene čestice provedeno je linearnim regresijskim modelom. Pri istom posmaku ($v_f \approx 20$ m/min) za dubinu glodanja i snagu utvrđen je odnos 3:4:6:8=1:1,3:2,3:3,5. Ovisnost jediničnoga otpora rezanja i jedinične energije o istim veličinama testirano je regresijskom analizom s eksponencijalnom funkcijom. Ovisnost jediničnoga otpora rezanja i srednje debljine odvojene čestice pokazuje jednačenost koleracijski utvrđenih ovisnosti.

Ključne riječi: obradba drva, jelovina, glodanje, jedinični otpor.

Summary

In accordance with the aims a complex study of wood processing by milling was done conducted. All experiments (were made by the process of) involved counterdirectional plane milling on multispindle milling machines commonly used in woodworking industry. The chips removal cutting tests were carried out on fir according to a previously established tests plan. In addition to milling direction, temperature and wood moisture, also geometric and time parameters as well as electric power were also determined by measurements in the course of testing. The feed speed was varied (in the course of testing). The procedure was repeated for 4 different milling depths. The relation between cutting energy on the one hand, and feed speed and average chip thickness on the other, was studied by a linear regression model. At the same feed rate ($v_f \approx 20$ m/min) the following relation was established for milling depth and cutting power 3:4:6:8=1:1,3:2,3:3,5. By using regression analysis with exponential function we have established that specific cutting resistance and specific cutting energy depend on the strong link between the interdependence established by correlation.

Key words: wood machining, fir, milling, cutting resistance.

1. UVOD I PROBLEMATIKA

Mehanička obradba drva važna je činidba u drvodjelstvu. Unapređenje obradbe drva temelji se na odgovarajućim proračunima, povezanim sa zakonitostima pri procesu odvajanja čestica te eksperimentalnom istraživanju i primjeni tih spoznaja u rješavanju predmetnih problema.

Empirijskim (iskustvenim) istraživanjima u prošlosti često su pronalazene nove metode i tehnike obradbe, načini smanjenja troškova obradbe, povećanja stupnja kakvoće obradbe i dr.

Prva istraživanja obradbe odvajanjem čestica provedena su za kovine i nekovine, ali ne i za drvo. Prema Šavaru [27], M. Cocquilhat, F. Wiebe i M. Joessel od 1851. do 1865. godine proučavali su oblik-

ovanje odvojene čestice te definirali prvi izraz za silu rezanja.

$$F_r = K \cdot A_o \quad (1)$$

Pritom je:

K - stalnica (konstanta) materijala

A_o - ploština poprečnog presjeka odvojene čestice

Isti su autori nastojali utvrditi svezu između sile rezanja i režima obradbe, kao i osnove za izračunavanje rada alatnoga stroja.

Drvno inženjerstvo, za razliku od mnogih drugih, značajnije se razvija tek poslije drugoga svjetskog rata. Tada se počelo mnogostrano istraživati drvo, postupci obradbe, posljeci obradbe - sve s tehničkoga,

tehnološkoga, gospodarstvenog i dr. stajališta. I obujam istraživanja u skladu je s povijesnim tijekom primjene pojedinih postupaka obradbe. Najtemeljitiše se istražuje za piljenje. Endersby [7] proučava "umetnute" zube pile. Hikoichi [10] sile na tračnim pilama, Hvamb [21] točnost rezanja kružnim i jarmačnim pilama, Lisičan [16] čimbenike rada jarmačnih pila. Brojne radove njemačkih instituta vode Pahlitzsch i Puttkammer [21] istražujući mjerenja tračnih pila. Oni u [18] i [19] određuju kriterije bočnoga pomicanja listova tračnih pila te se bave razvrstavanjem tipova opterećenja i njihovim proračunom, a u [20] analiziraju bočno odmicanje listova u različitim zonama. Pahlitzsch i Rowinski [22] istražuju vibracije kružnih pila. Činitelje učinka piljenja detaljno istražuje Reineke [25].

Poznati su i radovi zagrebačke pilanske škole; Brežnjak i Moen [4] proučavaju kružno gibanje tračnih pila, u [5] obrađuju vibracije kružnih pila, a Brežnjak [6] opisuje eksploatacijske parametre piljenja. Glodanja/blanjanje drva znatnije se proučava sredinom šezdesetih godina, a javljaju se za strojno kvalitetno obrađenim ravnim ploham i/ili njezinim rubovima, da bi se sedamdesetih i osamdesetih godina istraživanja uvelike proširila i na profilno glodanje masivnoga drva.

Endersby je proučavao blanjanje drva četinjača [8], a Hribar [11] i [12] istražuje za bukvinu i jelovinu sile na alatu za obredbu drva, uz metode određivanja sila rezanja i proučavanje anizotropnosti drvene tvari. Wittmann je u svome radu [20] rješavao dilemu brusiti ili blanjati. Salje i Dubenkropp [26] istražuju dvostupnjansko glodanje predglodanjem i konačnim glodanjem. Takvi i složeniji sustavi glodanja s jednim prolaskom obratka postali su uobičajeni u redovitoj industrijskoj obradbi drva. Maier [17] pokušava snagom glodanja riješiti proračunom. Golja u svome radu [7] iznosi neke probleme mjerenja sila pri rezanju anizotropnih materijala.

Pri procesu odvajanja čestica obrađivano drvo pruža određeni otpor. Pri prodiranju alata u drvo, osim otpora sila rezanja moraju se svladati i sile trenja između pred-

nje plohe alata i odvojene čestice te sile trenja stražnje plohe, alata i obratka. Sve se te sile mogu zamijeniti rezultantnom silom, koja daje ukupni otpor rezanja. Sastavnica sile otpora rezanja usporedna sa smjerom rezanja (F_r) predstavlja silu rezanja koja potiskuje alat od ploštine koja se obrađuje ili prema njoj.

Na slici 1. prikazane su sile s rasporedom tlakova na dijelu rezne oštrice u dodiru s obratkom.

Zbog složenosti procesa odvajanja čestica najčešće nije jednostavno odrediti sastavnice otpora rezanja, čak ni pri proučavanju elementarnog rezanja. Zato se obično ukupni otpor rezanja naziva silom rezanja. Odnos veličine sile rezanja i ploštine poprečnoga presjeka odvojene čestice određen je kao jedinični otpor rezanja:

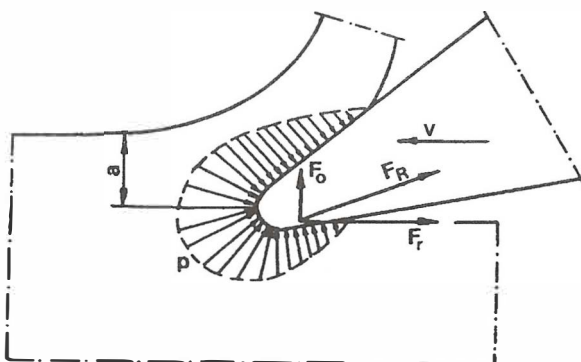
$$k_s = \frac{F_r}{A_0} \quad (2)$$

Jedinični otpor rezanja nije stalna veličina i ovisi o brojnim čimbenicima, npr. o vrsti drva, sadržaju vode u njemu, smjeru i brzini rezanja, posmičnoj brzini, temperaturi drva, debljini odvojene čestice i dr.

Osim mnogih utjecajnih čimbenika pri obradbi odvajanjem čestica izotropnih materijala, anizotropni materijali unose u proces obradbe i svoja promjenjiva svojstva. Cilj ovog istraživanja bilo je utvrđivanje ovisnosti snage rezanja, energije i otpora glodanja o srednjoj debljini odvojene čestice i posmičnoj brzini za različite dubine glodanja. Određivanje međusobne ovisnosti navedenih veličina omogućuje uspostavljanje regulacijskih sustava u procesu obradbe, optimalnih uvjeta obradbe s različitim kriterijima optimizacije i dr.

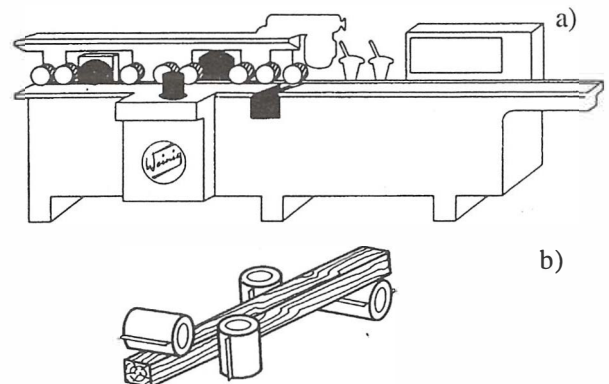
2. OBJEKT I METODA ISTRAŽIVANJA

Pokus glodanja obavljen je na viševretnoj glodalici tvrtke Weinig, Unimat 17A, kojom se mogu glodati obraci najveće širine 170 mm i visine 120 mm. Shema stroja i zahvata svih glodala prikazana je na slici 2.



Slika 1. Sile i raspored tlakova na dijelu rezne oštrice u dodiru s obratkom

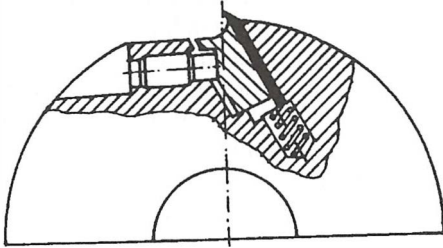
Figure 1. Cutting forces and pressures on the cutting edge in contact with workpiece



Slika 2. Shema četverostrane glodalice za obradbu drva (a) i glodala u zahvatu (b)

Figure 2. The scheme of four side planer for wood (a) and milling-tool in work (b)

Radi izjednačavanja zahvata i drugih čimbenika koji utječu na snagu glodanja te radi izbjegavanja nepoznatih činitelja, pokus je proveden samo s donjom glavom i oštricom $r=\infty$. Na slici 3. prikazano je ispitno glodalo učvršćeno u glodnu glavu.



Slika 3. Učvršćenje glodala u glodnu glavu

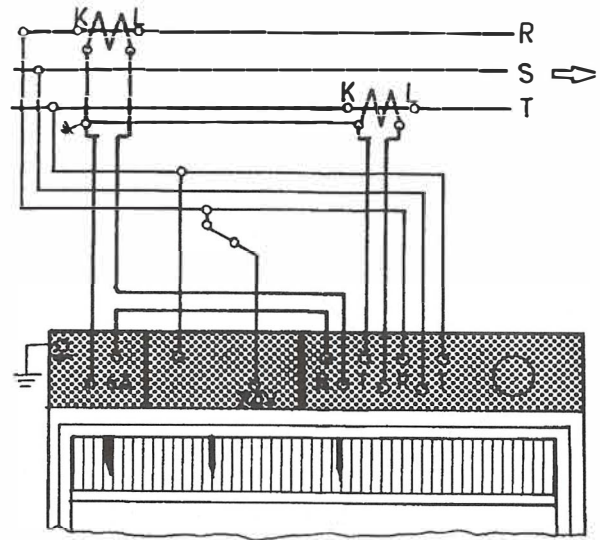
Figure 3. Fixing of milling-tool in cutterhead

Posmični uređaj glodalice Unimat 17A ima elektromotorni pogon, varijator i lančani prijenos energije na posmične valjke. Ulazni su valjci ozubljeni, a oni iza glodne glave obloženi gumom.

Najčešće sastavnice pri donošenju pojedinih odluka čine mjeriteljski podaci, ponajprije oni dobiveni mjerenjem. Drvnoindustrijsko je mjeriteljstvo po svojoj naravi dio zakonskoga mjeriteljstva, kako ga razvrstava Brezinščak [3]. Naime, Brezinščak [2] razlikuje dva bitno različita primjera mjeriteljske informacije; prvi se odnosi na vrhunsku znanstvenu poruku, a drugi na poslovno-proizvodni i gospodarski bitan podatak. U većini slučajeva se mjerni podaci utvrđuju različitim mjerilima. Brezinščak [1] prema definicijskim mjeriteljskim rječnicima BIMC, IEC, ISO i OIML, određuje mjerilo odnosno mjerni instrument kao spravu kojom se mjeri, samom ili zajedno s ostalom opremom. Mjerila mogu biti pokazna i zapisna, a takva su upotrebljavana i tijekom pokusnog dijela ovog istraživanja. Ta su mjerila u promatranom slučaju po tipu analogna, s pokaznikom i pisalom te zapisnim sredstvom. Tijekom istraživačkoga rada za određivanje geometrijskih veličina rabljen je čelični dvometar za mjerenje duljine probe (s točnošću podjele 1 mm) te pomično mjerilo za mjerenje širine i debljine (s točnošću očitavanja 0,1 mm). Vrijeme glodanja određeno je ručnim analognim kronometrom s podjelom na minute, sekunde i stotinke sekunde. Frekvencija vrtnje radnoga vretena i ostalih vratila kontrolirana je mehaničkim centrifugalnim okretomjerom (tahografom).

Za mjerenje kutova glodala rabljeni su kutomjeri i druge pomoćne naprave, a polužne su vage upotrebljavane za statičko uravnoteženje glodne glave s noževima.

Pri obradbi svakoga ispitka električne su veličine zapisivane na mjernom uređaju NORMA (model 535), koji istovremeno s odabranim posmakom papira ispisuje tok snage (vatmjer), napon (voltmjer) i električnu struju (ampermjer). Aronov spoj takvog uređaja s dva vatmjera prikazan je na slici 4.



Slika 4. Priključenje registrirajućeg vatmjera (Aronov spoj), ampermjera i voltmjera

Figure 4. Connection of wattmeter, ammeter and voltmeter

U opisanim istraživanjima glodna je glava pogonjena trofaznim asinkronim indukcijskim elektromotorom. Ponašanje asinkronog motora priključenoga na mrežu stalnog napona može se dobro slijediti pri različitim pogonskim uvjetima pomoću strujnih dijagrama.

Za asinkroni elektromotor strujni je dijagram kružni i iz njega se može izravno odčitati iznos primarne struje, pojedinih veličina pri različitim opterećenjima, npr. $\cos \varphi$ - primarni faktor snage, primarna stvarna snaga koju motor uzima iz mreže, iznos proizvodne mehaničke snage, korisnost elektromotora [24].

Pri pokusu glodanja dio mjernih rezultata dobiven je kao zapis snimatelja, a dio koji se odnosi na električne veličine kao zapis na mjernoj traci.

Snaga rezanja izračunana je na osnovi izmjerene ukupne električne snage, pri čemu je primjenjen grafički prikaz pogonske karakteristike u tzv. približnome pogonskom dijagramu elektromotora prikazanoga na slici 5. Pritom je pretpostavljeno da je mehanička snaga otpora sastavnica prigona (pogonski i prijenosni sustav) glavnog pogona i da je neovisna o režimima rada.

Koristeći se konstruiranim približnim pogonskim dijagramom trofaznoga asinkronog motora može se napisati da je snaga rezanja:

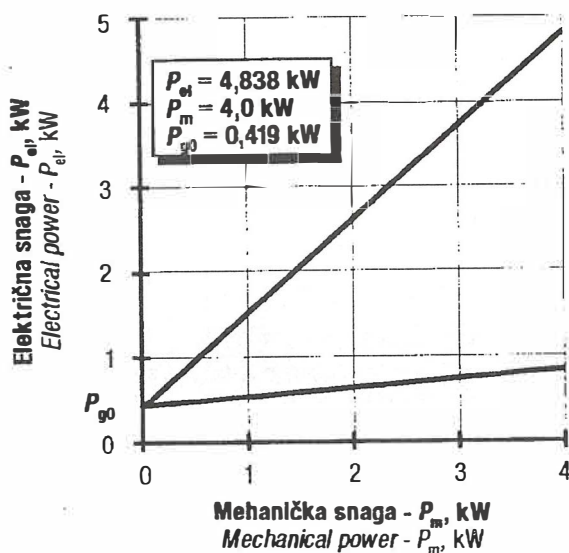
$$P_r = P_{mu} - P_o \quad (3)$$

pri čemu je:

P_{mu} - ukupna mehanička snaga

P_o - mehanička snaga otpora sastavnica prigona.

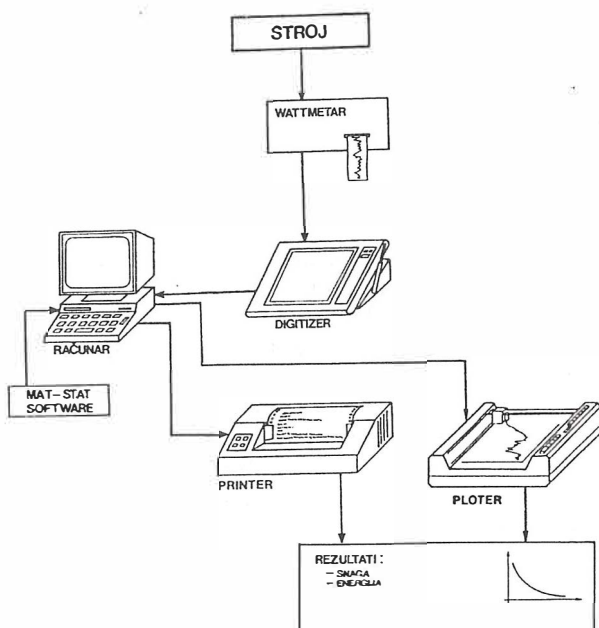
Na temelju zapisanog tijeka snage pri obradbi svakog ispitka i inačici dubine glodanja izračunane su ove jedinične veličine: snaga, energija te otpor glodanja odnosno rezanja.



Slika 5. Približni pogonski dijagram elektromotora za pogon ispitnog glodala

Figure 5. Approximate diagram of power generating electric motor for investigated milling-tool

Obradba i analiza rezultata mjerenja obavljena je pomoću digitalizatora analognih zapisa podržanoga osobnim računalom te odgovarajućega matematičko-statističkog softvera. Kompletni sustav za mjerenje, obradbu i analizu rezultata mjerenja prikazan je na slici 6.



Slika 6. Shematski prikaz sustava za mjerenje, obradbu i analizu rezultata mjerenja

Figure 6. The scheme of system for measuring, working out the analysis and analysing than

Sva istraživanja provedena su na proizvodnim viševretenim glodalicama u pogonu dioničkog društva

Drvoproizvod-Jastrebarsko. Radi upotrebe viševretene glodalice, a prije izvedbe pokusa, obavljene su ove predradnje:

- vizualno je pregledan stroj
- pokusnim je radom utvrđeno stanje sastavnica stroja i kakvoća obradbe za različite režime rada
- pregledane su zaštitne sastavnice stroja
- kontrolirane su vibracije radnih ploha i vretena
- kontrolirano je zagrijavanje ležaja
- na elektromotorima za pogonski i posmični prigon obavljena su osnovna električna mjerenja te je izrađen približni pogonski dijagram.

Svi planirani pokusi obavljeni su za vrijeme mirovanja ostalih strojeva u pogonu.

Mjerne metode i mjerila opisana su u poglavlju 2.

Mjerna je oprema, kao što je već kazano, umjerena i ulančana u mjerni lanac. Tijekom pokusa vizualno je kontrolirana nul-točka mjerila, uzemljenje, odgovarajuće mjerno područje i dr. Planom pokusa obavljeno je istraživanje jediničnoga otpora rezanja za jelovinu, najzastupljenije drvo četinjača. Jelovina čini oko 70% ukupne drvene zalihe četinjača kojima gospodare Hrvatske šume [13]. Tijekom pokusa, uz kontrolu sadržaja vode drva te uočavanje mogućih promjena oblika i unutrašnjih strukturnih grešaka promatranjem, pozornost je usmjerena na kontrolu temperature, tlaka i vlažnosti okolnoga zraka. Radi preglednosti rezultata istraživanja, dobiveni su podaci podijeljeni u nekoliko karakterističnih skupina. Kao obilježja uzete su temeljne promjene snage, jedinične energije i jediničnoga otpora glodanja (rezanja). Za svaku dubinu glodanja izveden je pokus, uz mjerenje ovih veličina:

- geometrijskih veličina (mjerenja su obavljena prije i poslije glodanja)
- vremenskih veličina (mjereno je trajanje glodanja)
- električna mjerenja (električna snaga mjerena zapisnim vatmjerom)

Radi proračuna sastavnica pogonskog dijagrama glavnoga elektromotora, električna su mjerenja nekih svojstava obavljena i za neopterećeni hod stroja. Unatoč pripremi ujednačenih proba, stvarnim su mjerenjem utvrđene njihove duljine i širine te dvije debljine ispitka: prije i poslije glodanja. Vrijeme glodanja utvrđeno je kronometrom. Za svaku debljinu glodanja obrađeno je po 10 ispitaka. Za svaku debljinu Studentovim t-testom [23] statistički su testirane mjerenjem utvrđene dubine glodanja.

Nakon testiranja hipoteze H_0 za svaku inačicu nominalne dubine glodanja zaključeno je da prosječna dubina glodanja skupine iz koje je uzet uzorak pripada nominalnoj dubini glodanja.

3. ANALIZA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Na temelju utvrđenih rezultata, računalom su izračunane proračunske veličine i njihove vrijednosti.

Pri iskazu brojčanih vrijednosti računalom proračunanih veličina poštovane su ISO-preporuke. Fizikalne veličine dijelom su iskazane jedinicama SI-

sustava, dijelom zakonskim mješovitim jedinicama uobičajenima u tehnici [29].

Regresijska analiza provedena je za proračun veličine, sve za četiri inačice dubine glodanja ovim redom:

$$P_r = f(v_f); P_r = f(h_{sr}); E_{r1} = f(v_f); E_{r1} = f(h_{sr}); k_s = f(v_f); k_s = f(h_{sr}).$$

pri čemu je:

k_s - edinični otpor rezanja

v_f - posmična brzina

h_{sr} - srednja debljina odvojene čestice

PRIKAZ PARAMETARA JEDNADŽBE OPĆEG OBLIKA $y=A+B \cdot x^C$ ZA RAZLIČITE DUBINE GLODANJA. **Tablica 1.**

PARAMETERS OF THE EQUATION $y=A+B \cdot x^C$ FOR DIFFERENT DEPTH OF MILLING **Tabla 1.**

Ovisnost Dependence	Dubina glodanja Cutting depth a, mm	Jednadžba Equation	Indeks korelacije Correlation index
1	2	3	4
$E_{r1}=f(v_f)$	3	$E_{r1} = 5+372 \cdot v_f^{-1,006}$	R = 1
	4	$E_{r1} = 405,36 \cdot v_f^{-0,834}$	R = 0,821
	6	$E_{r1} = -2+371,26 \cdot v_f^{-0,593}$	R = 0,413
	8	$E_{r1} = 10+406,76 \cdot v_f^{-0,562}$	R = 0,67
$E_{r1}=f(h_{sr})$	3	$E_{r1} = -5+9,79 \cdot h_{sr}^{-0,625}$	R = 0,941
	4	$E_{r1} = -2+7,721 \cdot h_{sr}^{-0,887}$	R = 0,835
	6	$E_{r1} = 1+24,317 \cdot h_{sr}^{-0,631}$	R = 0,715
	8	$E_{r1} = 10+40,912 \cdot h_{sr}^{-0,499}$	R = 0,604
$k_s=f(V_f)$	3	$k_s = 1+175,06 \cdot v_f^{-1,106}$	R = 0,831
	4	$k_s = 0,2+80,267 \cdot v_f^{-0,737}$	R = 0,76
	6	$k_s = 1+61,428 \cdot v_f^{-0,631}$	R = 0,637
	8	$k_s = 0,5+66,185 \cdot v_f^{-0,643}$	R = 0,718
$k_s=f(h_{sr})$	3	$k_s = 1+0,778 \cdot h_{sr}^{-1,168}$	R = 0,988
	4	$k_s = -0,3+2,431 \cdot h_{sr}^{-1,168}$	R = 0,789
	6	$k_s = 1+3,582 \cdot h_{sr}^{-0,662}$	R = 0,67
	8	$k_s = 1,1+4,195 \cdot h_{sr}^{-0,618}$	R = 0,708

PRIKAZ PARAMETARA JEDNADŽBE OPĆEG OBLIKA $y=A+Bx$ ZA RAZLIČITE DUBINE GLODANJA. **Tablica 2.**

PARAMETERS OF THE EQUATION $y=A+Bx$ FOR DIFFERENT DEPTHS MILLING **Tabla 2.**

Ovisnost Dependence	Dubina glodanja Cutting depth a, mm	Jednadžba Equation	Koeficijent korelacije Correlation Coefficient
1	2	3	4
$P_r=f(v_f)$	3	$P_r = 329,47+5,56 v_f$	r = 0,859
	4	$P_r = 529,32+3,42 v_f$	r = 0,153
	6	$P_r = 709,91+20,13 v_f$	r = 0,431
	8	$P_r = 677,94+46,08 v_f$	r = 0,659
$P_r=f(h_{sr})$	3	$P_r = 332,21+620,04 \cdot h_{sr}$	r = 0,864
	4	$P_r = 517,75+443,27 \cdot h_{sr}$	r = 0,176
	6	$P_r = 721,42+1586 \cdot h_{sr}$	r = 0,413
	8	$P_r = 720,95+3060 \cdot h_{sr}$	r = 0,67

U tablicama 1.i 2. dani su parametri regresijskih jednadžbi za različite ovisnosti i inačice dubine glodanja s pripadajućim indeksima odnosno koeficijentima korelacije. U nastavku je dan kratak opis navedenih ovisnosti s karakterističnim dijagramom za najmanju nominalnu promatranu dubinu glodanja, a=3mm.

3.1. Ovisnost mjerene snage rezanja o posmičnoj brzini

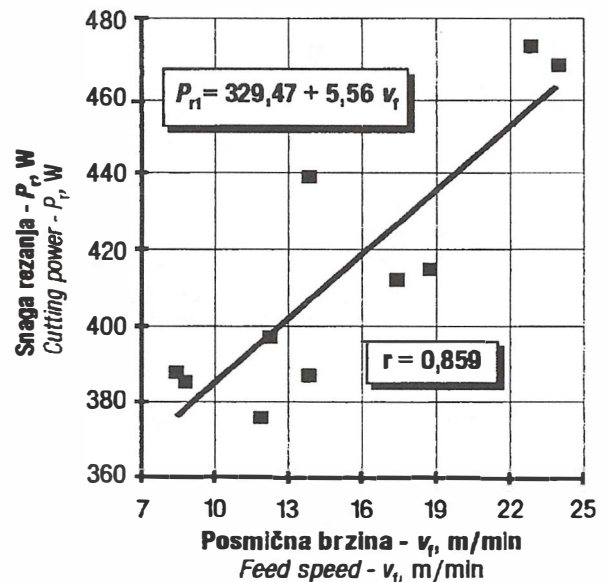
Snaga je definirana kao brzina rada ako je taj rad kontinuirano promjenjiv.

To je trenutna veličina i u svakom se trenutku može izračunati iz tangencijske komponente sile i brzine. To je bilo razlogom da se ustanovi njezina ovisnost o posmičnoj brzini koja izravno utječe na rezu (glodnu) plohu. Da bi vrijednost mjernih iskaza bila u preporučenim granicama od 0,1 do 1000, jedinični otpor rezanja iskazan je u N/mm^2 , a posmična brzina mješovitom jedinicom m/min. Proširenje istraživanja ovisnosti jedinične snage i posmaka obavljeno je promjenom područja dubine glodanja. Pritom se nastojala ostvariti nominalna (nazivna) dubina glodanja. Stvarne vrijednosti ovisile su o mogućnosti prilagođavanja održavanja zauzetih elemenata.

Rezultati mjerenja izjednačeni su jednadžbom oblika:

$$P_r = A+B \cdot v_f \quad 4)$$

Budući da su izjednačenjem utvrđene određene zakonitosti, njihov je rezultat iskazan veličinskom jednadžbom. Rezultati regresijskog izjednačavanja za normalne dubine glodanja prikazani su u tablici 2. Na slici 7. dana je ovisnost mjerene snage glodanja o posmičnoj brzini za a=3mm.



Slika 7. Ovisnost snage rezanja o posmičnoj brzini

Figure 7. Dependence of cutting power on feed speed

S obzirom na čvrstoću utvrđenih sveza, može se zaključiti da su one, prema [15], za dubinu glodanja 3 mm vrlo jake, što potvrđuje i testiranje koeficijenta korelacije. Za veće dubine glodanja sveze se kreću od jakih do vrlo slabih. Na veliko rasipanje rezultate i slabu svezu utječe anizotropnost materijala i određen broj utjecajnih čimbenika koje nije moguće držati pod kontrolom.

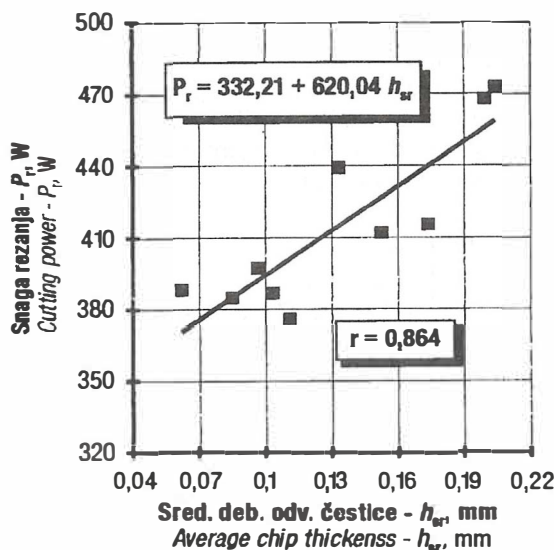
3.2. Ovisnost snage rezanja o srednjoj debljini odvojene čestice

Uobičajeno je promatrati ovisnost jedinične snage glodanja o debljini odvojene čestice definirane njezinom debljinom na polovici duljine zahvata krivulje alata, tj. na kutu $\varphi/2$ (φ =kut zahvata).

Funkcijska ovisnost jedinične snage glodanja o srednjoj debljini odvojene čestice jelovine može se predočiti izrazom:

$$P_r = A + B \cdot h_{sr} \quad (5)$$

Pri najvećoj dubini glodanja (sl.8) utvrđena je potpuna sveza ($r=0,91$) tih dviju veličina. Smanjenjem dubine glodanja mijenja se i nagib regresijskog pravca. Veličina koeficijenta korelacije između jedinične snage glodanja i srednje debljine odvojene čestice pokazuje srednju (za $a=4$ mm) odnosno vrlo jaku svezu za dubine glodanja od 3 i 6 mm.



Slika 8. Ovisnost snage rezanja o srednjoj debljini odvojene čestice

Figure 8. Dependence of cutting power on average chip thickness

3.3. Ovisnost jedinične energije glodanja o posmičnoj brzini

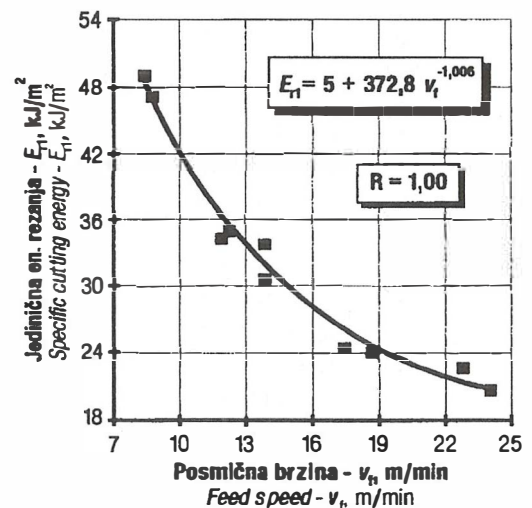
Iz dijagrama na slici 9. vidljiv je utjecaj posmične brzine na zahtijevanu jediničnu energiju bradbe. Inače, posmična brzina ima mnogostruki utjecaj i na konačni rezultat glodanja - obrađenu plohu. Najprikladnijim

oblikom jednadžbe za izjednačavanje rezultata mjerenja pokazala se eksponencijalna jednadžba:

$$E_{r1} = A + B \cdot v_f^C \quad (6)$$

Iz utvrđene regresijske jednadžbe za jelovinu (sl.9) vidi se da jedinična energija glodanja raste sa smanjenjem posmične brzine:

Na osnovi izračunanih indeksa korelacije, kojima prema [15] određujemo svezu između promatranih veličina, može se reći da je ona jaka za $a=8,0$ i $6,0$ mm; vrlo jaka ($R=0,821$) za $a=4$ mm i potpuna ($R=1$) za $a=3$ mm. Međutim, testiranje indeksa korelacije pokazalo je da u prva dva slučaja postoji određena sveza, a za nazivnu dubinu glodanja 3,0 i 4,0 ta je sveza zadovoljavajuća odnosno potpuna.



Slika 9. Ovisnost jedinične energije rezanja o posmičnoj brzini

Figure 9. Dependence of specific cutting energy on feed speed

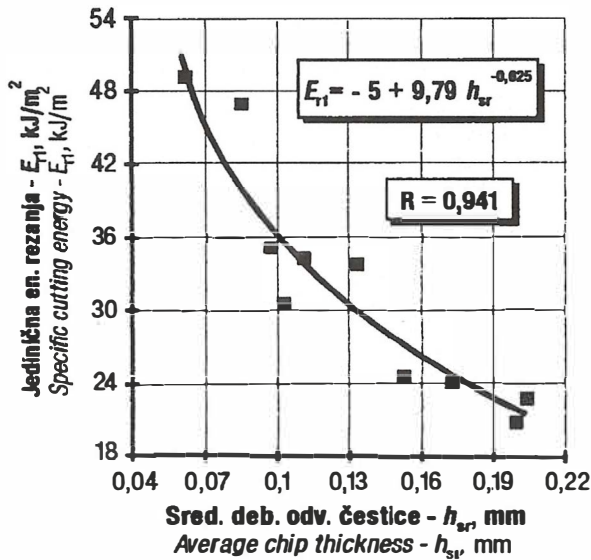
3.4. Ovisnost jedinične energije glodanja o srednjoj debljini odvojene čestice

Pokusi su, kao i u svim dosadašnjim slučajevima, provedeni za četiri različite dubine glodanja uz promjenljivu posmičnu brzinu. Ovisnost energije glodanja po milimetru glodne širine iskazana je jednadžbom:

$$E_{r1} = A + B \cdot h_{sr}^C \quad (7)$$

Pri nominalnoj dubini glodanja od 3 mm (sl. 10) regresijska krivulja pokazuje sva obilježja ovisnosti $E_{r1}=f(h_{sr})$. Indeks korelacije $R=0,941$ upućuje na to da postoji potpuna sveza tih dviju veličina. Pri smanjenju glodne dubine jedinična se energija glodanja smanjuje s porastom srednje debljine odvojene čestice odnosno posmične brzine. Indeks korelacije kreće se od 0,835 za nominalnu dubinu glodanja 4 mm do 0,604 za $a=8$ mm, pa se može ustvrditi da su sveze vrlo jake i jake. Ovisnost pokazuje i testirani indeks korelacije, osim za dubinu

glodanja 8 mm, za koju se ne može utvrditi postojanje navedene sveze.



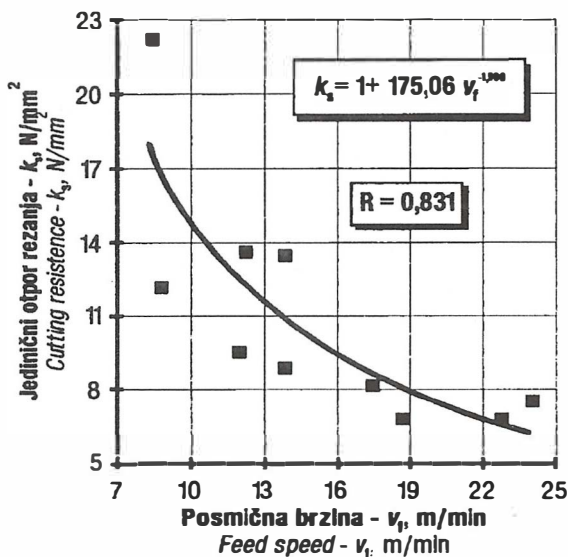
Slika 10. Ovisnost jedinične energije rezanja o srednjoj debljini odvojene čestice

Figure 10. Dependence of specific cutting energy on average chip thickness

3.5. Ovisnost jediničnoga otpora rezanja o posmičnoj brzini

Ovisnost jediničnoga otpora rezanja u skladu je sa znanim postavkama teorije rezanja

$$k_s = A + B \cdot v_f^C \quad (8)$$



Slika 11. Ovisnost jediničnoga otpora rezanja o posmičnoj brzini

Figure 11. Dependence of cutting resistance on feed speed

Na slici 11. prikazana je ovisnost jediničnoga otpora rezanja posmičnoj brzini za jelovinu. Za četiri različite dubine glodanja određene su regresijske jednadžbe (v. tabela 1). Smanjenjem glodne dubine ustanovljeno je smanjenje jediničnoga otpora rezanja (desni dio regresijske jednadžbe), a na svom lijevom tijeku krivulja je pri približno jednakim vrijednostima počela rasti usporedno s poznatim utvrđenim tijekom prema beskonačnosti, što proizlazi i iz definicijske jednadžbe (pri nultom zahvatu posmična brzina je malena, a jedinični otpor teži beskonačnosti). Na osnovi indeksa korelacije izračunanih prema [15] za $a=8,0$ i $6,0$ mm utvrđena je jaka a za ostale dvije inačice glodanja vrlo jaka sveza.

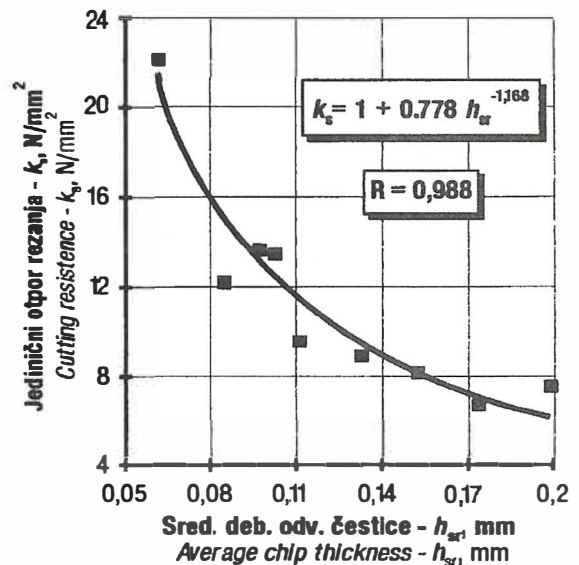
3.6. Ovisnost jediničnoga otpora rezanja o srednjoj debljini odvojene čestice

Za zadani smjer rezanja pri obradbi drva na jedinični otpor rezanja najviše utječe srednja debljina odvojene čestice. U tom slučaju zavisnost $k_s=f(h_{sr})$ pokazuje tijek pojava u svezi s energijskim i geometrijskim veličinama.

U zadanim je uvjetima obradbe jelovine, za utvrđivanje ovisnosti $k_s=f(h_{sr})$ odabran ovaj oblik jednadžbe:

$$k_s = A + B \cdot h_{sr}^C \quad (9)$$

Maksimalna vrijednost jediničnoga otpora rezanja ustanovljena je pri minimalnoj debljini odvojene čestice (slika 12). S povećanjem debljine odvojene čestice smanjuje se i vrijednost jediničnoga otpora rezanja.



Slika 12. Ovisnost jediničnoga otpora rezanja o srednjoj debljini odvojene čestice

Figure 12. Dependence of cutting resistance on average chip thickness

Veličina indeksa korelacije za sve inačice dubine glodanja upućuje na vrlo jaku i potpunu svezu promatranih veličina. Testiranje korelacije pokazuje da postoji sveza promatranih veličina, a za dubinu glodanja 3 mm može sa 95%-tnom sigurnošću reći kako je indeks korelacije $r > 0,90$.

4. ZAKLJUČCI

Na osnovi prikazanih rezultata istraživanja ovisnosti nekih osobitosti pri glodanju jelovine mogu se donijeti slijedeći zaključci:

- Ovisnost snage glodanja o posmičnoj brzini i srednjoj debljini odvojene čestice pri regresijskoj analizi pokazuje srednju (za $a=6$ mm), jaku (za $a=8$ mm) i vrlo jaku ($a=3$ mm) svezu. Dio rasipanja tih vrijednosti može se pripisati anizotropnosti drva. Pri istom posmaku ($v_f \approx 20$ m/min) za dubinu glodanja i snagu utvrđen je odnos $3 : 4 : 6 : 8 = 1 : 1,3 : 2,3 : 3,5$.

- Proučavanje jedinične energije glodanja o posmičnoj brzini i srednjoj debljini odvojene čestice provedeno je regresijskom analizom eksponencijalnog oblika funkcije. Iz utvrđene jednadžbe vidi se da jedinična energija raste sa smanjenjem posmične brzine i srednje debljine odvojene čestice. Indeksi korelacije utvrđenih ovisnosti pokazuju ujednačenost sveza od jake do potpune.

- Jedinični otpor glodanja pokazuje čvrstu ovisnost o posmičnoj brzini, što potvrđuje i testiranje indeksa korelacije.

- Jedinični otpor glodanja i srednja debljina odvojene čestice pokazuju ujednačenost korelacijski utvrđenih ovisnosti. Smanjenjem dubine glodanja jelovine jedinični se otpor rezanja smanjuje s rastom debljine odvojene čestice.

- Svi planirani i provedeni pokusi obradbe drva glodanjem bitno se ne razlikuju od općepoznatih načina energijskih mjerenja alatnim strojevima.

LITERATURA

- [1] Brezinščak, M.: Međunarodni definicijski mjeriteljski rječnik (Hrvatsko-englesko-francuski), Mjeriteljsko društvo Hrvatske, Zagreb, 1984, str. 36.
- [2] Brezinščak, M.: Mjeriteljstvo kao dio informatijskog sustava, zbornik Jugoslavenskog savjetovanja o nastavi mjerenja, Novi Sad 1979, str. 1.01-1.18.
- [3] Brezinščak, M.: Mjerna nesigurnost, Tehnička enciklopedija, sv.8, JLZ "Miroslav Krleža", Zagreb 1982, str. 604-610.
- [4] Brežnjak, M., Moen, K.: On the lateral movement of the Band-saw Blade under various Sawing conditions, Norsk Treteknisk Institut, Meddelelse nr. 46, Blindern, juli 1972, pp.1-91.
- [5] Brežnjak, M., Moen, K.: On the vibration of the Circular Saw Blade under Sawing conditions, Seartrykk av Norsk Skogindustri, nr. 9-1970, pp.1-8-
- [6] Brežnjak, M.: Zur Forschung der Einschnittbreite, Holzindustrie, 1973/3, Vol. 26, S. 76-78.
- [7] Edensrby, H. J.: Improved Output from an Inserted Tooth Saw, Reprinted from "Wood", Vol. 19, January 1954, pp. 11-14.
- [8] Edensrby, H. J.: The planing of home-grown softwoods, Scottish Forestry 1964, 18 April
- [9] Golja, V.: Neki problemi mjerenja sila pri rezanju anizotropnih materijala, zbornik radova "Suvremeni trendovi proizvodnog strojarstva", Zagreb, 1992, str. D115-D1122.
- [10] Hikoichi, S.: Untersuchungen über die am Bandsägeblatt wirkenden Kräfte, Internationaler Holzmarkt, Wien, 25. Mai 1955, Nr 10, S. 36-41.
- [11] Hribar, J.: Metodološko određivanje sila rezanja pri obradi drveta, posebni otisak iz 349. knjige Rada JAZU.
- [12] Hribar, J.: Sile na alatu za obradu drveta, IV. savjetovanje proizvodnog mašinstva, Sarajevo, 1968, str. 1-26.
- [13] Hrvatske šume 93, ljetopis u riječi, slici i brojci, Zagreb, 1993, str.1-44.
- [14] Hvamb, G.: Die Schnittgenauigkeit bei Kreis und Gattersägen, Sonderdruck aus "Holz als Roh- und Werkstoff", Bd 15(1957), S. 512-519.
- [15] Kump M.: Poljski pokusi; metodika postavljanja i statistička obrada, Centar za primjenu nauke u poljoprivredi SR Hrvatske, Zagreb 1970, str. 1-86.
- [16] Lisičan, J.: Nevyhnutna strota zdvih ramovych pil a činitele vplyvajuce na jej uročovanie, Shobrník Vedeckych Prac, Zvolen, 1966, str. 185-202.
- [17] Maier, G.: Rechnerische Bestimmung der Schnittleistung beim Fräsen, Holz- und Kunststoffverarbeitung 11/85, S. 50-53.
- [18] Pahlitzsch, G., Puttkammer, K.: Beurteilungskriterien für die Auslenkungen von Bandsägeblättern, Holz als Roh- und Werkstoff 32(1974), S. 52-57.
- [19] Pahlitzsch, G., Puttkammer, K.: Beurteilungskriterien für die Auslenkungen von Bandsägeblättern, Holz als Roh- und Werkstoff 32(1974), S. 295-302.
- [20] Pahlitzsch, G., Puttkammer, K.: Beurteilungskriterien für die Auslenkungen von Bandsägeblättern, Holz als Roh- und Werkstoff 34(1976), S. 413-426.
- [21] Pahlitzsch, G., Puttkammer, K.: Die Beanspruchungen von Bandsägeblättern: Spannungen und Festigkeitsgrenzen, Holz als Roh- und Werkstoff 30(1972), S. 165-174.
- [22] Pahlitzsch, G., Rawinski, Be.: Schwingungen der Sägeblätter in Schnitt und ihre Dämpfung, Holz als Roh- und Werkstoff 34(1976), S. 348-357.
- [23] Pavlič, I.: Statistička teorija i primjena, IV. izd., Tehnička knjiga, Zagreb, 1988, str. 1-343.
- [24] Pinter, V., Skalicki B.: Električni strojevi i uređaji jake struje, Zagreb, 1972.
- [25] Reineke, L.H.: Factors Affecting Saw Capacity, Forest Products Journal, Vol. XIV, June 1964, pp. 235-238.
- [26] Saljé, E., Dubenkroop, G.: Das Kantenfräsen von Holzwerkstoffplatten, Teil 1. Holz- und Kunststoffverarbeitung 11/82, S. 982-985.
- [27] Šavar, Š.: Obrada metala odvajanjem čestica, I. dio - teorijske osnove, Školska knjiga, Zagreb, 1990, str. 1-194.
- [28] Witman, H.W.: Schleifen oder Hobeln; Holz und Kunststoffverarbeitung 6/83, S. 604-605.
- [29] Zakon o mjernim jedinicama, Narodne novine (1993), 58, 1469- 1473.