

# Prilog proučavanju jediničnog otpora rezanja pri obradbi bukovine glodanjem

## A CONTRIBUTION TO THE STUDY OF CUTTING RESISTANCE OF MILLED BEECH

Mr. sc. **Stjepan Risović**  
Šumarski fakultet, Zagreb

UDK 630\*812.732:630\*823.1

Prispjelo: 04. 10. 1994.  
Prihvaćeno: 02. 12. 1994.

Izvorni znanstveni rad

### S a ž e t a k

U radu se iznose rezultati istraživanja obradbe glodanjem. Eksperimentalni dio obavljen je na viševretenim glodalicama kakve se u drvnoj industriji obično upotrebljavaju za obradbu drva odvajanjem čestica. Pritom su potpuno poštovana znana načela uvriježena pri obradbi drva: (1) glodala tijekom rada ne mijenjaju frekvenciju vrtnje niti svoj položaj, (2) obradak se u jednom prolasku giba stalnom posmičnom brzinom. Zato su mjerene posmične brzine svakog prolaska, a postupak utvrđivanja složenih ovisnosti odnosi se na njihovu regresijsku analizu, za četiri inačice dubine glodanja,  $P_r = f(v_f)$ ;  $P_r = f(h_{sr})$ ;  $k_s = f(v_f)$ ;  $k_s = f(h_{sr})$ . Proučavanje jediničnog otpora i energije glodanja provedeno je regresijskom analizom s eksponencijalnim oblikom funkcije. Pri izjednačavanju mjernih rezultata radi utvrđivanja ovisnosti jedinične snage o posmičnoj brzini odnosno srednjoj debljini odvojene čestice izabran je opći oblik pravca.

**Ključne riječi:** obradba drva, bukovina, glodanje, jedinični otpor.

### S u m m a r y

The paper presents the results of investigation wood-working by milling. The experimental part has been carried out on multispindle milling machines commonly used in woodworking industry for wood processing by chip removing. Two well-established principles were fully respected: (1) the milling tools do not change their rotational frequency, nor their position during milling and (2) the work piece moves at a constant cutting speed at a single pass. The cutting speeds were therefore measured at each pass and the establishment of complex relationships refers to their regression analysis, for four various milling depths,  $P_r = f(v_f)$ ;  $P_r = f(h_{sr})$ ;  $k_s = f(v_f)$ ;  $k_s = f(h_{sr})$ . The study of cutting resistance and milling energy has been carried out by using regression analysis with the exponential function. When measurement results were fitted in order to establish the relations between the specific cutting power and the cutting speed, i.e. the average chip thickness, the general straight line form has been chosen.

**Key words:** woodworking, beech, milling, cutting resistance.

## 1. UVOD I PROBLEMATIKA

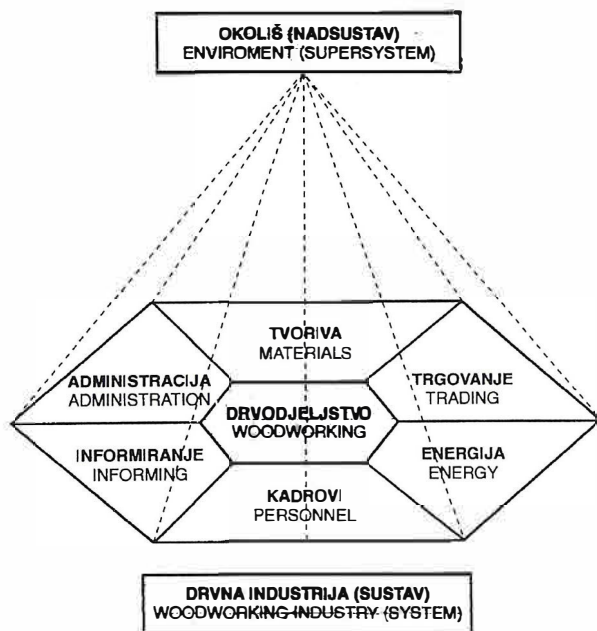
Drvo ima važno mjesto među brojnim sirovinama koje se koriste za čovjekove potrebe. Saemon [11] navodi daje čovjek davne 1850. godine oko 90% energije za svoje potrebe dobivao iz drva, dok se još 1900. oko 50% svih industrijskih tvoriva koristi iz šume. Uporaba drva u bilo kojem obliku zahtijeva kemijsku ili mehaničku obradbu.

Važan dio drvodjeljske preradbe jest mehanička obradba drva. Osim piljenja i ravnjanja, primjenjuju se i druge metode obradbe drva odvajanjem čestica, npr. bušenje, blanjanje, brušenje, tokarenje, glodanje i dr. O njihovoj uspješnosti ovisi svekolika djelotvornost drvne industrije, poglavito u pilanskoj preradbi drva, proizvodnji građevne stolarije i finalnoj proizvodnji. U drvodjeljskim istraživanjima sve se više susreće tzv. sustavna analiza, koja omogućuje bolje razumijevanje toga dijela drvne industrije, ali i svezu i upoznavanje njezinih pojedinih podsustava. Važna je

i višestruka povezanost između sastavnica drvne industrije, te značenje drvne industrije kao grane s njezinim nadsustavom - okolišem (okruženjem), čiji je sastavni dio (sl. 1).

Obradba odvajanjem čestica složen je fizikalni proces pri kojemu su alat i obradak u međusobnoj svezi. Određivanje sastavnica sila rezanja nije uvijek jedinstavno. Samo je rezanje složen proces pri kojemu se energija troši na rad odvajanja čestica, za deformiranje drvne tvari u neposrednoj blizini oštrice te za svladavanje trenja između alata i obratka, kao i trenja između odvojene čestice i alata. Čak je i pri elementarnom rezanju razlikovanje i odvajanje tih procesa vrlo teško te se obično proučava ukupna sila otpora odnosno ukupno utrošeni rad za prodiranje alata u obradak.

Često se ta ukupna sila otpora rezanja zove sila rezanja, jednako kao njezina sastavnica koja djeluje u reznom smjeru. Veličina sile rezanja u funkcionalnoj je ovisnosti o jediničnom otporu rezanja.



Slika 1. Shematski prikaz podsustava drvodjelstvo u sklopu sustava drvne industrije i nadsustava okoliš  
Figure 1. The woodworking subsystem in the framework of the woodworking industry system and the environment supersystem

Na veličinu jediničnoga otpora rezanja utječu brojni čimbenici, npr. vrsta drva, smjer rezanja, mokrina drva, temperatura drva, brzina rezanja, posmična brzina, debljina odvojene čestice, promjena trenja na reznoj oštrici, plastična deformacija obradbene ravnine i dr. Najčešće je cilj istraživanja, poduzimanih da bi se mijenjanjem posmične brzine i dubine glodanja utvrdili njihovi optimalni odnosi koji bi u daljnjim istraživanjima bili polazište za određivanje optimalnog režima obradbe - pronalaženje svrsishodnih svojstava rezne oštrice, pravilno dimenzioniranje opterećenih strojnih dijelova i dr.

I broj dosadašnjih istraživanja u skladu je s povijesnim tokom uvođenja pojedinih metoda obradbe drva; najbrojnija su istraživanja piljenja, a proučavanje glodanja - blanjanja drva započelo je sredinom šezdesetih godina, i to u mnogo skromnijem opsegu.

Goodchild [4] proučava temeljne čimbenike blanjanja: snagu, posmak, kutove rezanja, jediničnu snagu, dobrotu obrađene površine. Maier [9] nastoji riješiti probleme glodanja proračunom, posebno snage glo-

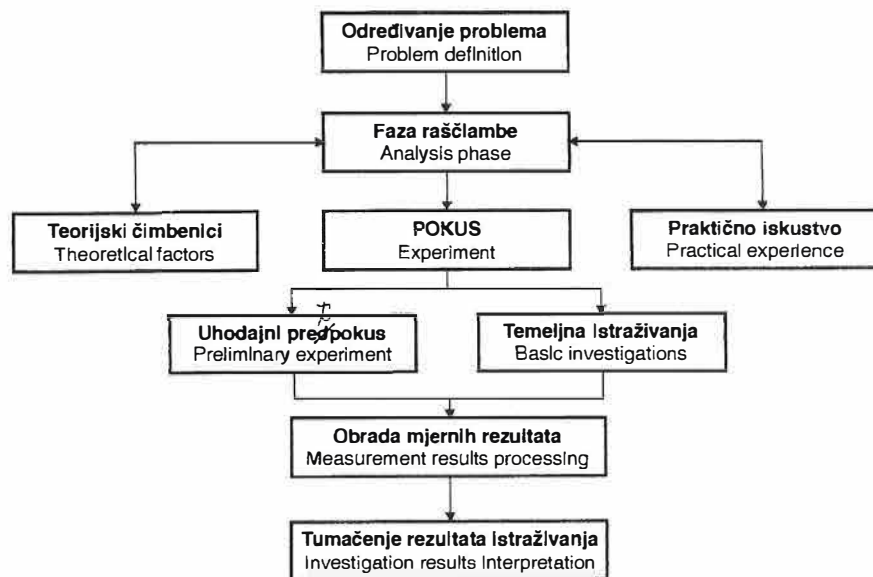
danja. Pritom razmatra konično i utorno glodalo, pri čemu je snagu glodanja iskazao u ovisnosti o stalnici (konstanti) sile rezanja, kutu udešavanja glodala te širini glodanja, dubini glodanja, frekvenciji vrtnje te broju oštrica u glodnoj glavi. Golja [3] proučava probleme mjerenja sila pri rezanju anizotropnih materijala. Ince i sur. [8] razmatra modeliranje promjene tehnologija u procesima dobivanja drvnih tvorevina naglašavajući da za proizvode od masivnoga drva treba tražiti najpogodnija rješenja, među ostalim i u obradbenim postupcima.

## 2. OBJEKT I METODE ISTRAŽIVANJA

Tok istraživačkoga rada prilagođen je svrsi i ciljevima određenih zadataka, i to u skladu sa znanim sličnim proučavanjem obradbe drva. Na slici 2. shematski su prikazani slijed i temeljna čvorišta istraživačkoga postupka.

Faza raščlambe pomogla je u sastavljanju plana pokusa, ujedinjujući teorijske osnove s praktičnim iskustvom.

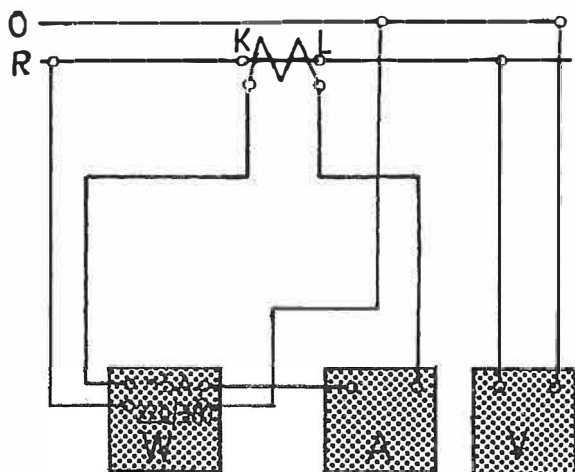
Tijekom pokusa čeličnim je dvometrom (točnost podjele 1 mm) mjerena duljina probnog uzorka, a pomičnim mjerilom njegova širina i debljina (točnost očitavanja  $\pm 0,1$  mm). Ručnim analognim kronometrom (točnost očitavanja 1/100 sekunde) mjereno je vrijeme glodanja. Za statičko



Slika 2. Tok istraživačkoga rada pri proučavanju jediničnoga otpora rezanja pri obradbi bukove glodanjem  
Figure 2. The course of the research (work) on (investigating) cutting resistance at milling beech

uravnoteženje glodalnih noževa rabljene su polužne vage (točnost očitavanja  $\pm 1$  g), električnim mokromjerom [1] RIZ HGR-30F utvrđena je mokrina svakog uzorka prije izvođenja pokusa. Električne su veličine tijekom pokusa zapisivane na registrirajućem vatmetru NORMA, model 535, koji pri odabranom posmaku papira istodobno ispituje tok snage, napon i električnu struju.

Budući da je pri pokusu glodanja električna snaga mjerena na ulazu u elektromotor, morala se preračunati na raspoloživu snagu na vretenu. Za takva se mjerenja obično rabi grafički prikaz pogonske elektromotorne karakteristike u tzv. približnome pogonskom dijagramu [5]. Gubici u elektromotoru određeni su jednofaznim vatmetrom (sl. 3).



Slika 3. Priklučenje jednofaznog vatmetra, ampermetra i voltmetra

Figure 3. The connection of a single - phased wattmeter, ampermeter and voltmeter

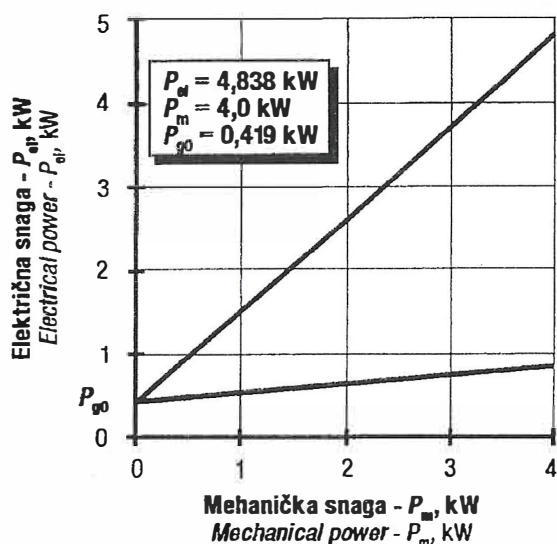
Rabeći približni pogonski dijagram elektromotora (sl. 4), može se napisati da je snaga rezanja:

$$P_T = P_{mu} - P_O \quad (1)$$

gdje je:

$P_{mu}$  - ukupna mehanička snaga

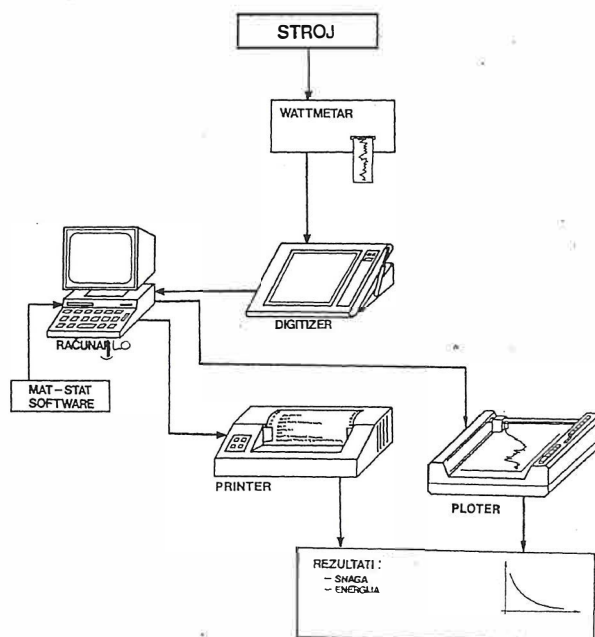
$P_O$  - mehanička snaga vlastitih otpora.



Slika 4. Približni pogonski dijagram elektromotora za pogon ispitnog glodala

Figure 4. Approximate diagram of power generating electric motor for the investigated milling-tool

Sva obradba i analiza zapisanih rezultata obavljena je pomoću računala Hewlett Packard 9835 A s digitalizatorom analognih zapisa. Za tu je namjenu izrađen i računalni program podrške tom zadatku. Shema obradnog lanca mjernih podataka prikazana je na slici 5.



Slika 5. Shematski prikaz sustava za mjerenje, obradbu i analizu rezultata mjerenja.

Figure 5. The system for measuring, working out the analysis and analysing than

Radi određivanja vrijednosti snage glodanja i jediničnoga otpora, uzorci bukovine pripremljeni za glodanje ispiljeni su od elemenata namijenjenih proizvodnji masivnog namještaja. Srednja mokrina umjetno osušenog drva iznosila je 19,35% (od min. 18 do maks. 21,2%).

Kontrolom je ustanovljeno da uzorci na glodanoj plohi nisu imali vidljivih nepravilnosti u građi niti kvrge.

Mjerenja su obavljena na viševretenoj glodalici Weinig, Unimat 17 A. Zbog nemogućnosti kontrole i radi eliminiranja slučajnih činitelja pokus je proveden pri radu samo donje radne glave.

Sva provedena istraživanja obavljena su na proizvodnim viševretenim glodalicama u pogonu Drvoproizvoda d.d. - Jastrebarsko.

Prije uporabe ispitnoga stroja za provedbu pokusa obavljene su sljedeće predradnje:

- svi su nasuprotni noževi statički uravnoteženi vaganjem
- obavljen je pregled svih zaštitnih sastavnica stroja (mehanička zaštita od dodira, odsisavanje perifernim odsisnim sustavom i dr.)
- ustanovljene su frekvencije vrtnje pogonskoga elektromotora radnog vretena
- pri najvećoj dubini glodanja i posmičnoj brzini kon-

trolirane su vibracije radnih ploha i vretena te zagrijavanje ležaja.

Prema planu pokusa istraživanje je obavljeno za bukvinu koja je sa 36% drvne zalihe kojom gospodare Hrvatske šume [6] najzastupljeni je drvo tvrdih listača na tlu Hrvatske. Osim mehaničkim svojstvima, tijekom pokusa posebna je pozornost pridana praćenju i kontroli mokrine (vlažnosti) drva te stanju okolnog zraka (temperaturi, tlaku, vlažnosti).

Za svaku je karakterističnu dubinu glodanja proveden pokus, uz određivanje sljedećih mjernih veličina:

- geometrijske veličine
- vremenske veličine
- električnih mjerenja (električne snage registrirajućim vatmetrom).

Električna su mjerenja nekih obilježja obavljena i za neopterećeni hod stroja, i to radi proračuna sastavnica pogonskoga dijagrama elektromotora glavnog prigona.

Za svaku inačicu zahvata (dubine glodanja) pripremljeno je po deset uzoraka. Stvarne dubine glodanja rezultat su mnogih čimbenika: točnosti prilagodbe stroja, elastične deformacije obratka i dr.

Studentovim t-testom [10] za sve su inačice statistički testirane mjerenjem dobivene dubine glodanja. Nakon testiranja hipoteze  $H_0$  za sve nazivne (nominalne) dubine glodanja zaključujemo da prosječna dubina glodanja skupa iz koje je uzet uzorak pripada nominalnoj dubini glodanja.

### 3. ANALIZA REZULTATA MJERENJA

Veličine proračunane elektroničkim računalom dijelom su iskazane jedinicama SI-sustava, dijelom zakonskim mješovitim jedinicama uvriještenima u tehnici [12]. Postupak utvrđivanja ovisnosti veličina odnosi se na njihovu regresijsku analizu, sve za četiri razreda dubine glodanja, i to:

$$P_r = f(v_f); P_r = f(h_{sr}); k_s = f(v_f); k_s = f(h_{sr}),$$

gdje je:

$k_s$  - jedinični otpor rezanja

$v_f$  - posmična brzina

$h_{sr}$  - srednja debljina odvojene čestice.

Pri utvrđivanju tih ovisnosti za izjednačavanje su iz podataka isključene samo vrijednosti za koje je utvrđeno da su velike pogreške mjerenja.

U tablicama 1. i 2. dani su parametri regresijskih jednadžbi za različite ovisnosti i inačice dubine glodanja s odgovarajućim koeficijentima i indeksima korelacije. U nastavku je dan kratak opis navedenih ovisnosti s pripadajućim dijagramom za najveću promatranu nominalnu dubinu glodanja.

Prikaz parametara jednadžbe općeg oblika  $y = A + B \cdot x$  za različite inačice dubine glodanja  
Parameters of the equation  $y = A + B \cdot x$  for different depths milling

Tablica 1.

Table 1.

Ovisnost Dependence	Dubina glod. Cutting depth a, mm	Jednadžba Equation	Koeficijent korelacije Correlation Coefficient
1	2	3	4
$P_r = f(v_f)$	2,5	$P_r = 114,43 + 40,90 \cdot v_f$	$r = 0,799$
	4,5	$P_r = 319 + 65,65 \cdot v_f$	$r = 0,794$
	6,0	$P_r = 214,84 + 101,17 \cdot v_f$	$r = 0,838$
	7,5	$P_r = 404,16 + 101,17 \cdot v_f$	$r = 0,811$
$P_r = f(h_{sr})$	2,5	$P_r = 184,42 + 4506 \cdot h_{sr}$	$r = 0,808$
	4,5	$P_r = 179,6 + 7095 \cdot h_{sr}$	$r = 0,856$
	6,0	$P_r = 278,01 + 8050 \cdot h_{sr}$	$r = 0,816$
	7,5	$P_r = 1080 + 4010 \cdot h_{sr}$	$r = 0,496$

Prikaz parametara jednadžbe općeg oblika  $y = A + B \cdot x^c$  za različite inačice dubine glodanja  
Parameters of the equation  $y = A + B \cdot x^c$  for different depths milling

Tablica 2.

Table 2.

Ovisnost Dependence	Dubina glod. Cutting depth a (mm)	Jednadžba Equation	Koeficijent korelacije Correlation Coefficient
1	2	3	4
$k_s = f(v_f)$	2,5	$k_s = 5 + 57,54 \cdot v_f^{-0,306}$	$R = 0,420$
	4,5	$k_s = 10 + 36,72 \cdot v_f^{-0,519}$	$R = 0,606$
	6,0	$k_s = -1 + 43,88 \cdot v_f^{-0,274}$	$R = 0,668$
	7,5	$k_s = 53,18 \cdot v_f^{-0,425}$	$R = 0,773$
$k_s = f(h_{sr})$	2,5	$k_s = -15 + 20,85 \cdot h_{sr}^{-0,244}$	$R = 0,526$
	4,5	$k_s = 1 + 11,34 \cdot h_{sr}^{-0,256}$	$R = 0,568$
	6,0	$k_s = 12,69 \cdot h_{sr}^{-0,262}$	$R = 0,638$
	7,5	$k_s = -10 + 17,33 \cdot h_{sr}^{-0,275}$	$R = 0,762$
$E_{rt} = f(v_f)$	2,5	$E_{rt} = -30 + 138,739 \cdot v_f^{-0,200}$	$R = 0,409$
	4,5	$E_{rt} = 3 + 265,56 \cdot v_f^{-0,394}$	$R = 0,585$
	6,0	$E_{rt} = 2 + 183,999 \cdot v_f^{-0,187}$	$R = 0,561$
	7,5	$E_{rt} = 10 + 429,516 \cdot v_f^{-0,481}$	$R = 0,761$
$E_{rt} = f(h_{sr})$	2,5	$E_{rt} = -30 + 49,036 \cdot h_{sr}^{-0,251}$	$R = 0,486$
	4,5	$E_{rt} = -10 + 59,570 \cdot h_{sr}^{-0,306}$	$R = 0,479$
	6,0	$E_{rt} = 2 + 77,768 \cdot h_{sr}^{-0,199}$	$R = 0,623$
	7,5	$E_{rt} = -20 + 80,153 \cdot h_{sr}^{-0,381}$	$R = 0,731$

#### 3.1. OVISNOST SNAGE GLODANJA O POSMIČNOJ BRZINI

Snaga je, prema definiciji, brzina djelovanja sile, što je razlogom da je ovisnost  $P_r = f(v_f)$  izjednačena s pravcem. Za kružno gibanje alata i pravocrtno gibanje obratka može se pisati:

$$P_r = k_s \cdot v_f \cdot B \cdot a \quad (2)$$

gdje je:

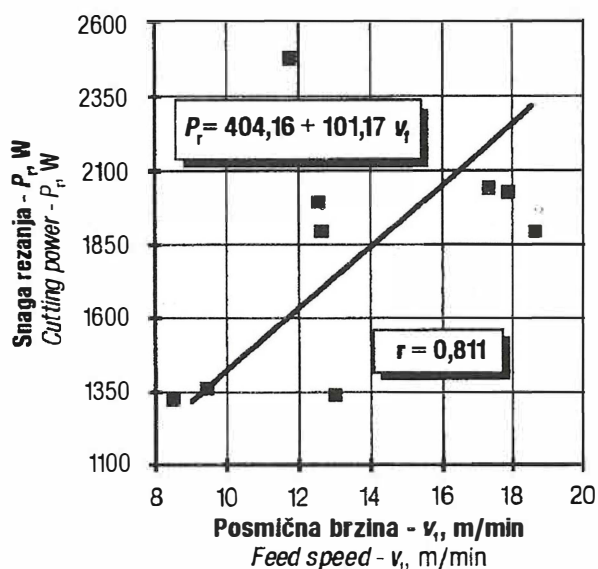
$a$  - dubina glodanja

$B$  - širina obradne ploštine.

U zadanim uvjetima snaga rezanja iskazana je jednadžbom:

$$P_r = A + B \cdot v_f \quad (3)$$

Slika 6. prikazuje ovisnost snage glodanja o posmičnoj brzini za  $a=7,5$  mm. Na osnovi izračunanih koeficijenata korelacije za sve dubine glodanja može se ustvrditi da je ovisnost snage rezanja o posmičnoj brzini [7] vrlo velika, što proizlazi iz jednadžbe (2) i (3).



Slika 6. Ovisnost snage rezanja o posmičnoj brzini  
Figure 6. Dependence of cutting power on feed speed

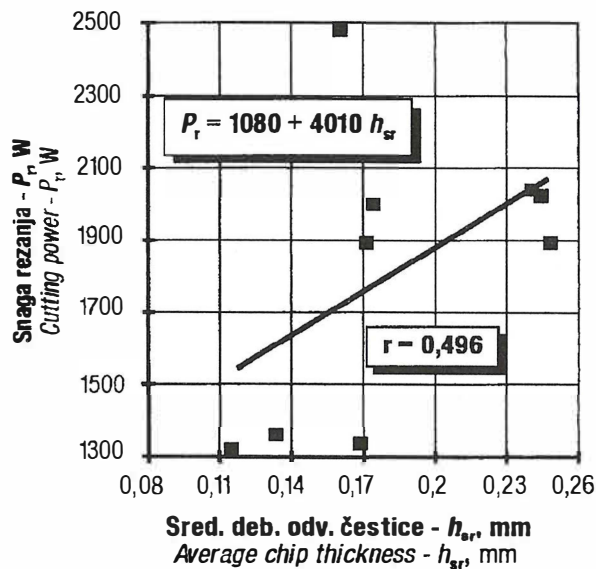
### 3.2. Ovisnost snage glodanja o srednjoj debljini odvojene čestice

Utvrđene ovisnosti predočene na slici 7. u skladu su s teorijskim pretpostavkama. Pri izračunavanju mjernih rezultata radi utvrđivanja ovisnost  $P_r = f(h_{sr})$  izabran je opći oblik pravca:

$$P_r = A + B \cdot h_{sr} \quad (4)$$

što proizlazi iz njihove ovisnosti.

Smanjenjem dubine glodanja mijenja se i nagib regresijskog pravca. Koeficijent korelacije kojim prema [7] određujemo čvrstoću sveze pokazuje da su one vrlo jake za  $a=6$ ; 4,5 i 2,5 mm, a za dubinu glodanja od 7,5 mm ovisnost se može smatrati srednjom. Na rasipanje mjernih rezultata utječe anizotropnost materijala i drugi čimbenici koji se ne mogu kontrolirati.



Slika 7. Ovisnost snage rezanja o srednjoj debljini odvojene čestice  
Figure 7. Dependence of cutting power on average chip thickness

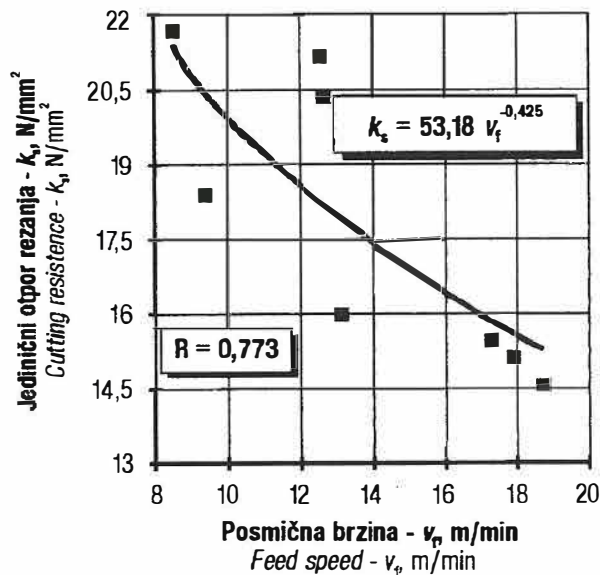
### 3.3. Ovisnost jediničnoga otpora glodanja o posmičnoj brzini

Na jedinični otpor glodanja, pa tako i na sve veličine koje iz njega proizlaze, utječe velik broj različitih čimbenika. Bez obzira na to s kolikom se preciznošću ulazilo u proračun vrijednosti jediničnoga otpora i drugih vrijednosti koje iz njega proizlaze te unatoč održavanju svih parametara stalnima, može se dogoditi da se pri glodanju izratka zbog promjenjivosti svojstava drva jedinični otpor prema [2] izmjeri s odstupanjima i do 25%. Nadalje, u dosadašnjim istraživanjima redovito se promatrao njihov pojedinačni utjecaj. Koliko je poznato, nije proučavano uzajamno djelovanje dvaju ili više utjecajnih parametara. Stoga većina autora pri analizi problema jediničnoga otpora rezanja polazi od tzv. referentnoga jediničnog otpora rezanja, koji je izmjeren u točno definiranim i kontroliranim uvjetima.

Jedinični otpor glodanja pokazuje odnos sile rezanja i ploštine poprečnog presjeka odvojene čestice na polovici zahvatne krivulje alata. Ovisnost jediničnoga otpora rezanja o posmičnoj brzini može se iskazati jednadžbom oblika:

$$k_s = A + B \cdot v_f^c \quad (5)$$

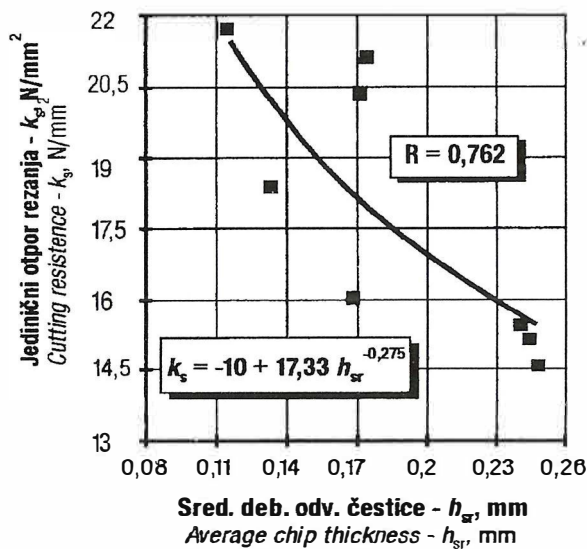
Rezultat regresijskog izjednačenja prikazan je na slici 8. Utvrđeni tok sveze jediničnoga otpora rezanja i posmaka kazuje da će otpor rasti sa smanjenjem posmične brzine. Utvrđeni indeks korelacije kreće se od 0,42 (za  $a=2,5$  mm) do 0,773 (za  $a=7,5$ ), pa se može reći da su sveze promatranih veličina srednje do vrlo jake. I ta čvrstina sveza upućuje na to da postoji određen broj utjecajnih čimbenika koje nije moguće kontrolirati, pa njihove promjene u uzajamnom djelovanju s promjenom posmične brzine daju takve rezultate.



Slika 8. Ovisnost jediničnoga otpora rezanja o posmičnoj brzini  
Figure 8. Dependence of cutting resistance on feed speed

### 3.4. Ovisnost jediničnog otpora glodanja o srednjoj debljini odvojene čestice

Istraživanjem utjecaja promjene debljine odvojene čestice na vrijednost jediničnog otpora glodanja utvrđene su znakovite zakonitosti koje treba primijeniti pri obradbi glodanjem. Pri toj obradbi mogu se stvoriti odvojene čestice debljine nekoliko  $\mu\text{m}$  pa sve do nekoliko milimetara.



Slika 9. Ovisnost jediničnoga otpora rezanja o srednjoj debljini odvojene čestice  
Figure 9. Dependence of cutting resistance on average chip thickness

Srednja je debljina odvojene čestice debljina u ravni okomitoj na brzinu rezanja na srednjoj duljini luka

zahvata. Srednja debljina odvojene čestice ima znatan utjecaj na veličinu jediničnoga otpora rezanja. Rezultati mjerenja izjednačeni su jednadžbom:

$$k_s = A + B \cdot h_{sr}^c \quad (6)$$

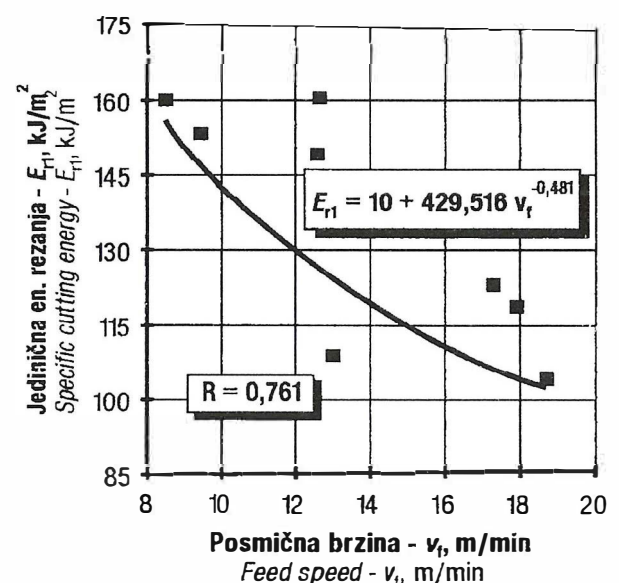
koja se od više isprobanih pokazala najprikladnijom. Pri glodanju bukovine, uz postojeće rasipanje mjernih rezultata, indeksi korelacije koji pokazuju svezu jediničnoga otpora rezanja i srednje debljine odvojene čestice kreću se od 0,526 do 0,762. Za sve istraživane inačice dubine glodanja jedinični se otpor glodanja smanjuje s povećanjem srednje debljine odvojene čestice (sl. 9).

### 3.5. Ovisnost jedinične energije glodanja o posmičnoj brzini

Jedinična energija glodanja pokazuje prosječni iznos energije za obradbu ploštine neke obrađene plohe. Kao najprikladniji oblik jednadžbe za izjednačavanje rezultata pokazala se eksponencijalna jednadžba:

$$E_{r1} = A + B \cdot v_f^c \quad (7)$$

Posljedica malih posmičnih brzina je i mala debljina odvojenih čestica, pa time i učina. Stoga se uz mali učin, odnosno smanjenje posmične brzine potreba za jediničnom energijom glodanja povećavala, što je vidljivo iz utvrđene regresijske jednadžbe (sl. 10). Pri glodanju bukovine znakovito je rasipanje mjernih rezultata. Indeks korelacije kojim se utvrđuje svezu promatranih veličina kreće se od 0,409 sve do 0,761, te se može ustvrditi da su one prema [7] srednje do jake.



Slika 10. Ovisnost jedinične energije rezanja o posmičnoj brzini  
Figure 10. Dependence of specific cutting energy on feed speed

### 3.6. Ovisnost jedinične energije glodanja o srednjoj debljini odvojene čestice

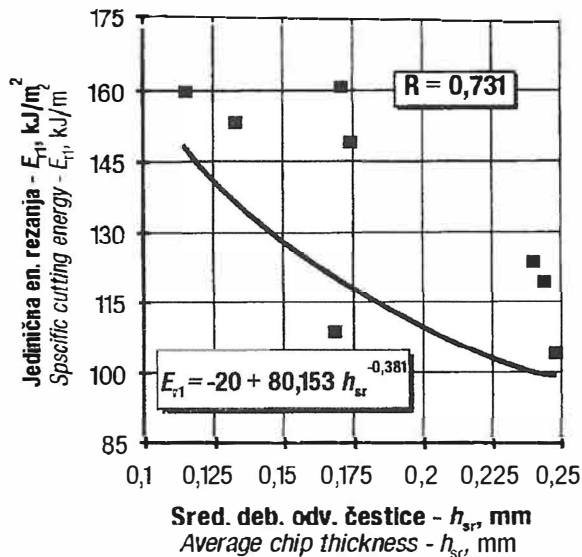
U navedenom slučaju ovisnost  $E_{r1} = f(h_{sr})$  definira tok u svezi s energijskim i geometrijskim veličinama. Debljina odvojene čestice vrlo je bitna odrednica na čiju se vrijednost može utjecati. Obradba glodanjem uz veće debljine odvojene čestice ograničena je raspoloživom snagom na radnom vretenu, odnosno kakvoćom obrađene plohe. Za kružno gibanje alata i pravocrtno posmično gibanje obratka jedinična se energija može izračunati ovako:

$$E_{r1} = \frac{P_r}{A_o} = k_s \cdot h_{sr} \quad (8)$$

Za opis ovisnost jedinične energije glodanja o srednjoj debljini odvojene čestice za navedene uvjete pokazala se najprikladnijom jednadžba:

$$E_{r1} = A + B \cdot h_{sr}^c \quad (9)$$

Na slici 11. primjetno je povećanje jedinične energije glodanja, uz smanjenje srednje debljine odvojene čestice, što pokazuje da je u jednadžbi (8) vrijednost jediničnog otpora glodanja veća od vrijednosti srednje debljine odvojene čestice. To napose vrijedi za vrlo male debljine odvojene čestice, kada  $k_s$  može biti i nekoliko desetaka puta veća od referentnoga.



Slika 11. Ovisnost jedinične energije rezanja o srednjoj debljini odvojene čestice

Figure 11. Dependence of specific cutting energy on average chip thickness

### 4. ZAKLJUČCI

Na osnovi prikazanih rezultata istraživanja ovisnosti nekih veličina pri glodanju bukovine može se zaključiti:

1. svi se planirani i provedeni pokusi obradbe drva glodanjem ne razlikuju bitno od općepoznatih načina energetske mjerenja na alatnim strojevima. Tek održavanje dubine glodanja te kontrola posmične brzine i svojstava drva zahtijeva dodatne radnje. To je bilo i razlogom statističke obradbe dijela tih rezultata mjerenja, npr. postavne i stvarne dubine glodanja i sl.;

2. na osnovi izračunanih koeficijenata odnosno indeksa korelacije utvrđeno je postojanje jače ovisnosti snage rezanja o posmičnoj brzini i srednjoj debljini odvojene čestice nego jediničnoga otpora o istim veličinama;

3. rasipanje mjernih vrijednosti može se pripisati anizotropnosti materijala obratka;

4. jediničnome otporu glodanja izravno su srazmjerni sila glodanja (rezanja) te snaga i jedinična energija glodanja.

### 6. LITERATURA

- [1] Brezinščak, M.: Nazivi mokromjer i vlagomjer. Mjeriteljski vjesnik, 11(1993)4, 1969-1972
- [2] G o l j a, V.: Strojevi i alati za obradu drva, I. dio. Šumarski fakultet, Zagreb, 1994. str. 1-236.
- [3] G o l j a, V.: Neki problemi mjerenja sila pri rezanju anizotropnih materijala. Zbornik radova "Suvremeni trendovi proizvodnog strojarstva", Zagreb, 1992, str. D115-D122.
- [4] G o o d c h i l d, R.: Factors affecting the power user in planing. Reprinted from Woodworking Industry, July 1967.
- [5] H a m m, Đ.: Elektrotehnika. Šumarska enciklopedija, I. svezak, drugo izdanje, JLZ, Zagreb, 1980, str. 484-498.
- [6] "Hrvatske šume" '98 Ljetopis u riječi, slici i brojcima, Zagreb, 1993, str. 1-44.
- [7] K u m p, M.: Poljski pokusi. Metodika postavljanja i statistička obrada. Centar za primjenu nauke o poljoprivredi SR Hrvatske, Zagreb, 1970, str. 1-86.
- [8] I n c e, P.J., S k o g, K.E., S p e l t e r, H., D u r b a k, I.A., H o w a r d, J.L.: Modeling technological change in wood products processing. Proceeding of an international symposium, Seattle, WA, November 3-4, 1987.
- [9] M a i e r, G.: Rechnerische Bestimmung der Schnittleistung beim Fräsen. Holz- und Kunststoffverarbeitung 1/85, str. 50-53.
- [10] P a v l i ć, I.: Statistička teorija i primjena. IV. izdanje. Tehnička knjiga, Zagreb, 1988, str. 1-343.
- [11] S a e m a n, J.F.: Fitting wood into an energy and materials policy. Zbornik savjetovanja Rocky Mountain. Forest Industries Resource, Tuscon, 1975, str. 1-6.
- [12] Zakon o mjernim jedinicama. Narodne novine (1993)58, 1469-1473.