

Vlado Goglia, Stjepan Risović, Ružica Beljo Lučić, Igor Đukić¹

Mehanika kružnih pila, II. dio: Piljenje hrastovine - utjecaj položaja lista pile

Circular saw mechanics, Part II: Oak sawing - influence of saw blade position

Izvorni znanstveni rad • Original scientific paper

Prispjelo - received: 19. 01. 2004. • Prihvaćeno - accepted: 21. 04. 2004.

UDK 630*822.02; 630*822.33

SAŽETAK • U prvom dijelu ovoga rada najavljena je objava rezultata mjerenih tijekom piljenja hrastovih uzoraka u laboratorijskim uvjetima. Mjerenja su obavljena u kontroliranim uvjetima piljenja kružnom pilom, pri različitim položajima radnoga stola i u području malih posmičnih brzina. Tijekom piljenja mjerena je snaga rezanja, dvoosnim dinamometrom mjerene su sile rezanja u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini. Potom su izračunane ovisnosti nekih kinematičkih i geometrijskih veličina. Utvrđene su za proces piljenja kružnom pilom važne i vrlo zanimljive ovisnosti.

Ključne riječi: kružna pila, sile rezanja, energetske normative

ABSTRACT • In the first part of this paper publishing is announced of the results of experimental cutting of oak workpieces in laboratory conditions. The measurements were carried out during the controlled process of sawing with a circular saw, at different positions of circular saw table and in the range of low feed speed. During sawing, the cutting power was measured. Cutting forces in horizontal and vertical plane were also measured by use of two-axis dynamometer. On the basis of the measuring results, the correlations between some kinematics and geometry values were calculated. Thus, important and very interesting correlations were obtained for the process of circular saw cutting.

Key words: circular saw, cutting forces, energy standards

1 UVOD 1 INTRODUCTION

U prvom su dijelu ovoga rada (Goglia i dr., 2002) teoretski raspravljene moguće posljedice izbora položaja radnoga stola kružnih pila u kojih je os radnog vratila ispod razine stola. Da bi se ustanovio

stvaran utjecaj ispona alata iznad površine obratka, obavljena su mjerenja u laboratorijskim uvjetima pri piljenju hrastovih uzoraka približno jednake visine. Promjenom visine ispona alata mijenja se i srednja debljina strugotine pa se može očekivati da će to utjecati na sile rezanja, ali i na jedinične energetske normative i kvalitetu

¹Autori su, redom, profesor, docent, docent i asistent na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

¹The authors are professor, assistant professor, assistant professor and assistant respectively, at the Faculty of Forestry of the Zagreb University.

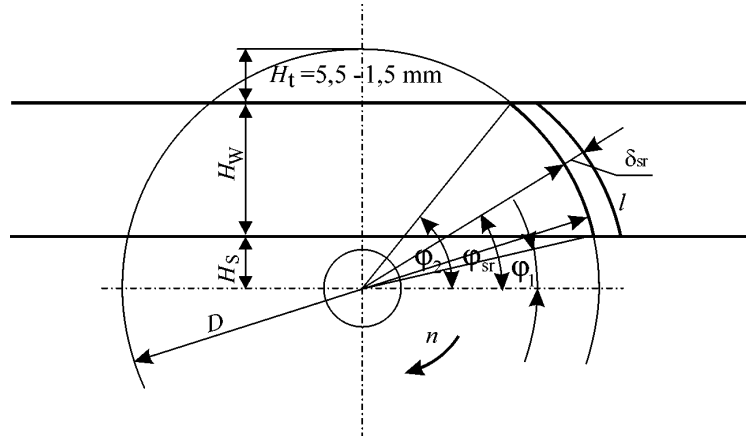
obrađenih ploha (Goglia, 1994; Siklienka, 2002; Barcik i dr., 1998). U radu se iznose rezultati mjerenja i rasprava o utvrđenim ovisnostima.

2 MATERIJAL I METODE
2 MATERIALS AND METHODS

Promjena položaja radnoga stola kružne pile s obzirom na os radnog vratila izravno utječe na veličinu srednje debljine strugotine pri stalnoj vrijednosti posmične brzine (Prokeš, 1982; Lisičan, 1996).

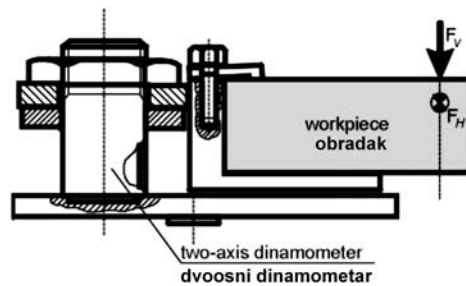
1985). Da bi se ustanovio stvaran utjecaj položaja radnoga stola, tj. veličine ispona alata u odnosu prema površini obratka pri kojoj alat ulazi u zahvat, na neke veličine bitne za ukupnu učinkovitost procesa piljenja, obavljen je kontrolirani eksperiment u laboratorijskim uvjetima. Radi lakšeg praćenja daljnjeg teksta, na slici 1 prikazan je zahvat kružnom pilom tijekom kojega su obavljena mjerenja. Za mjerenje su uporabljeni hrastovi uzorci približno jednake visine ($H_W \sim \text{konst.}$). Prije piljenja

Slika 1.
 Prikaz poprečnog presjeka strugotine nastale uzastopnim prolaskom dvaju reznih bridova
Figure 1
 Presentation of chip crosscut



Značenje oznaka (Meaning of the symbols): H_W - visina piljenja (cutting height), H_S - visina stola u odnosu prema osi rotacije (working table height), H_t - raspon mogućeg izbora položaja stola (range of the table position), D - promjer lista (saw blade diameter), l - duljina luka zahvata (cutting curve length), δ_{sr} - srednja debljina strugotine (average chip thickness), φ_2 - kut određen točkom početka zahvata oštrice (start cutting angle), φ_1 - kut određen mjestom izlaska oštrice iz zahvata (finish cutting angle), φ_{sr} - srednji kut zahvata (middle cutting angle), n - frekvencija vrtnje (rotational frequency)

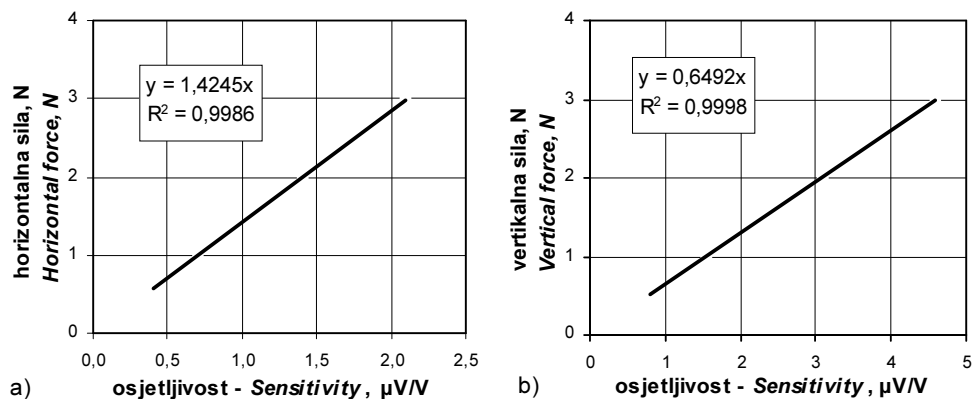
Slika 2.
 Shematski prikaz dvoosnog dinamometra
Figure 2
 Schematic presentation of two-axis dynamometer



Promjena debljine strugotine utječe na jedinične otpore rezanja te tako izravno i na jediničnu energiju rezanja (Williston,

izmjeren je sadržaj vode u uzorcima. Prosječni je sadržaj vode iznosio 8,9 %, uz standardnu devijaciju 0,15 %. Položaj radnoga stola za svaku je seriju uzoraka mjenjan u rasponu od 5,5 do 51,5 mm. U svakoj je seriji mjerenja ispiljeno 5 - 6 uzoraka. Sile rezanja u smjeru posmične brzine i okomito na nju mjerene su dvoosnim dinamometrom s tenzometarskim trakama. Dinamometar je prethodno kalibriran u oba smjera. Shematski prikaz dinamometra dan je na slici 2, a rezultati kalibriranja pokazani su na slici 3a) i 3b). Istodobno sa silama

Slika 3.
 Rezultati kalibriranja dvoosnog dinamometra: a) u smjeru posmične brzine i b) okomito na posmičnu brzinu
Figure 3
 Two-axis dynamometer calibration results: a) in feed speed direction and b) perpendicular to feed speed



| v_f | φ | H_t | F_v | F_h | F_t | F_c | F_p | H_w | P_c | E_n |
|-------|-----------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|
| m/min | ° | mm | N | N | N | N | N | mm | W | kWh/m ² |
| 1,38 | 69,90 | 5,5 | -9,72 | 12,38 | 15,79 | 15,01 | -4,90 | 8,5 | 707 | 1,00 |
| 1,74 | 69,90 | 5,5 | -12,20 | 19,55 | 23,06 | 22,56 | -4,68 | 8,5 | 1 063 | 1,20 |
| 1,97 | 69,90 | 5,5 | -13,76 | 16,52 | 21,51 | 20,26 | -7,19 | 8,5 | 954 | 0,95 |
| 2,29 | 69,90 | 5,5 | -14,81 | 21,79 | 26,36 | 25,57 | -6,35 | 8,5 | 1 204 | 1,03 |
| 2,35 | 69,90 | 5,5 | -17,45 | 25,77 | 31,13 | 30,22 | -7,44 | 8,5 | 1 423 | 1,19 |
| 1,37 | 60,45 | 15,5 | -4,48 | 10,67 | 11,59 | 11,49 | 1,37 | 8,5 | 541 | 0,77 |
| 1,18 | 60,45 | 15,5 | -5,91 | 12,49 | 13,78 | 13,77 | 1,02 | 8,5 | 649 | 1,08 |
| 1,21 | 60,45 | 15,5 | -5,29 | 14,68 | 15,64 | 15,38 | 2,65 | 8,5 | 724 | 1,17 |
| 1,53 | 60,45 | 15,5 | -6,89 | 20,31 | 21,46 | 21,06 | 4,03 | 8,5 | 992 | 1,27 |
| 1,98 | 60,45 | 15,5 | -6,43 | 19,43 | 20,48 | 20,07 | 3,99 | 8,5 | 945 | 0,94 |
| 1,21 | 52,71 | 26,5 | -3,13 | 11,29 | 11,73 | 10,88 | 4,34 | 8,5 | 512 | 0,83 |
| 1,21 | 52,71 | 26,5 | -3,58 | 12,38 | 12,91 | 12,02 | 4,65 | 8,5 | 566 | 0,92 |
| 1,28 | 52,71 | 26,5 | -4,17 | 14,37 | 14,98 | 13,96 | 5,38 | 8,5 | 658 | 1,01 |
| 1,54 | 52,71 | 26,5 | -4,92 | 18,78 | 19,44 | 17,92 | 7,46 | 8,5 | 844 | 1,07 |
| 1,71 | 52,71 | 26,5 | -5,70 | 19,36 | 20,19 | 18,86 | 7,19 | 8,5 | 888 | 1,02 |
| 1,54 | 52,71 | 26,5 | -6,97 | 17,47 | 18,87 | 18,12 | 5,03 | 8,5 | 853 | 1,09 |
| 1,73 | 45,84 | 38,5 | -1,56 | 12,76 | 12,86 | 10,22 | 7,79 | 8,5 | 481 | 0,55 |
| 1,36 | 45,84 | 38,5 | -2,15 | 13,17 | 13,36 | 10,92 | 7,66 | 8,5 | 514 | 0,74 |
| 1,62 | 45,84 | 38,5 | -1,64 | 16,16 | 16,27 | 12,71 | 10,11 | 8,5 | 599 | 0,72 |
| 2,05 | 45,84 | 38,5 | -1,89 | 16,89 | 17,01 | 13,41 | 10,46 | 8,5 | 632 | 0,60 |
| 1,56 | 45,84 | 38,5 | -1,83 | 18,22 | 18,32 | 14,35 | 11,42 | 8,5 | 676 | 0,85 |
| 1,67 | 45,84 | 38,5 | -3,24 | 19,61 | 19,89 | 16,29 | 11,38 | 8,5 | 767 | 0,90 |
| 1,81 | 38,96 | 51,5 | 0,10 | 11,32 | 11,34 | 7,04 | 8,86 | 8,5 | 332 | 0,36 |
| 1,65 | 38,96 | 51,5 | 0,58 | 12,47 | 12,48 | 7,39 | 10,06 | 8,5 | 348 | 0,41 |
| 1,70 | 38,96 | 51,5 | 0,17 | 15,60 | 15,61 | 9,68 | 12,34 | 8,5 | 456 | 0,53 |
| 2,19 | 38,96 | 51,5 | 0,72 | 16,81 | 16,84 | 11,13 | 12,62 | 8,5 | 524 | 0,47 |
| 2,20 | 38,96 | 51,5 | 0,97 | 21,15 | 21,19 | 12,55 | 17,06 | 8,5 | 591 | 0,53 |

Tablica 1.
Dio rezultata mjerenja tijekom piljenja hrastovih uzoraka na kružnoj pili u laboratorijskim uvjetima
Table 1
Part of measuring results in cutting samples of oak workpieces with circular saw in laboratory conditions

Značenje oznaka (Meaning of the symbols):

v_f - posmična brzina (Feed speed), φ_c - kut piljenja (Cutting angle), H_t - ispon alata (Saw blade position in relation to the workpiece), F_v - vertikalna sila (Vertical force), F_h - horizontalna sila (Horizontal force), F_t - ukupna sila (Total force), F_c - sila rezanja (Cutting force), F_p - odzivna sila (Push force), H_w - visina rezanja (Cutting height), P_c - snaga rezanja (Cutting power), E_n - neto jedinična energija (Specific energy).

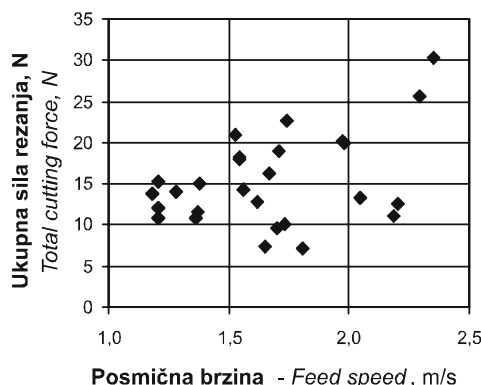
indukcijskim je davačem pomaka mjeren i pomak. Podaci o pomaku iskorišteni su za izračunavanje posmične brzine u vremenskom intervalu omeđenom dvama uzastopnim uzimanjima podataka o sastavnicama sile rezanja. Ta je metoda određivanja trenutačne posmične brzine i prije primjenjivana. Niz pokusa pokazao je da je za potrebe ovih mjerenja dostatna frekvencija uzorkovanja od 150 Hz (Goglia i dr., 2002). Svi su podaci tijekom mjerenja registrirani sustavom za akviziciju podataka tvrtke Hottinger GmbH, tip DMC-plus, uz odgovarajuću računalnu potporu.

3 REZULTATI I RASPRAVA 3 RESULTS AND DISCUSSION

Obrađeni rezultati mjerenja uvršteni su u tablicu 1. Ista tablica sadržava i vrijednosti proračunane iz rezultata mjerenja. Na osnovi izmjerene horizontalne i vertikalne sile tijekom piljenja te pomaka po uzorku i frekvencije uzorkovanja izračunane su sve ostale veličine u tablici. Zatim je određena međusobna ovisnost tako izračunanih veličina važnih za proces piljenja kružnim pilama. Neke ovisnosti komentirat ćemo u daljnjem tekstu.

3.1 Ukupna sila na reznoj bridu 3.1 Total force at cutting edge

Iz grafičkog prikaza na slici 4 jasno je naznačen trend porasta ukupne sile rezanja s porastom posmične brzine. Takva je ovisnost ukupne sile na reznoj oštrici o posmičnoj brzini već poznata, pa stoga i očekivana. Budući da je raspon posmičnih brzina vrlo malen očekivano su velika rasipanja vrijednosti ukupne sile rezanja. Zbog toga nije računana jednadžba ovisnosti tih dviju veličina već je zabilježen samo trend ovisnosti.



Slika 4.
Ovisnost ukupne sile rezanja o posmičnoj brzini
Figure 4
Relation between total force and feed speed

3.2 Vertikalna sila tijekom rezanja

3.2 Vertical force during cutting

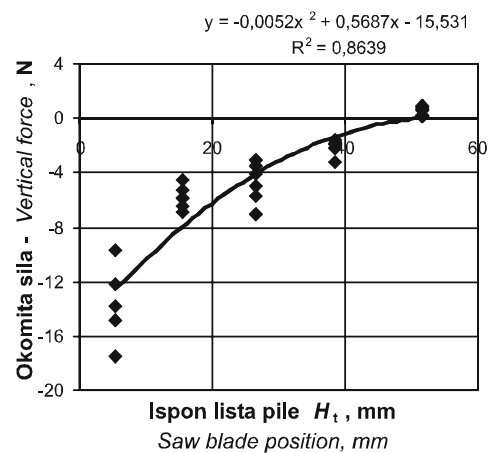
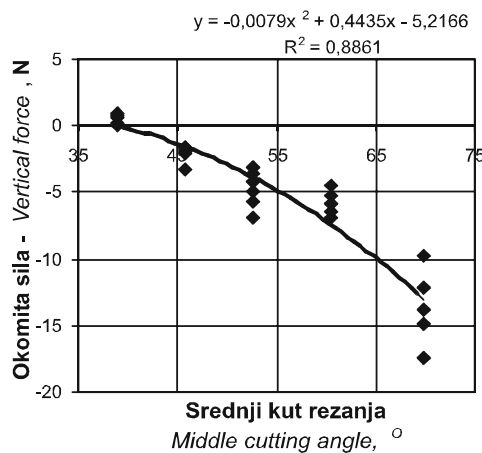
Ovisnosti vertikalne sile o srednjem kutu rezanja i o isponu rezne oštrice u odnosu prema gornjoj plohi obratka prikazane su na slici 5a) i 5b). Rezultati mjerenja pokazuju porast vertikalne sile s porastom kuta rezanja odnosno pad vrijednosti vertikalne sile s porastom ispona reznoga brida s obzirom na gornju površinu obratka. Takva je ovisnost vertikalne sile o dvije navedene nezavisne varijable vrlo zanimljiva i sigurno je problem koji bi trebalo cjelovitije obraditi u budućim istraživanjima.

porastom visine ispona reznoga brida raste i odzivna sila. Takva je ovisnost razumljiva jer s porastom visine ispona smjer odzivne sile postupno prelazi u smjer podudaran sa smjerom vlakana. Kako je sila sabijanja drva u smjeru vlakana višestruko veća od smjera okomito na vlakna, jasno je da će u tom smjeru biti i znatno veća odzivna sila. Isto obrazloženje vrijedi i za ovisnost odzivne sile o kutu rezanja, s tim što se s porastom srednjeg kuta rezanja smjer odzivne sile sve više podudara sa smjerom okomitim na vlakanca.

Slika 5.

Ovisnost vertikalne sile: a) o srednjem kutu rezanja i b) o isponu rezne oštrice

Figure 5
Relation between vertical force and: a) middle cutting angle and b) distance between the workpiece surface and tangent to the saw blade



3.3 Odrivna sila tijekom rezanja

3.3 Push force during cutting

Odrivna je sila također analizirana u ovisnosti o srednjem kutu rezanja i o visini ispona reznoga brida u odnosu prema gornjoj plohi obratka. Podaci su sadržani u tablici 1, a ovisnost navedenih veličina grafički je prikazana na slici 6a) i 6b). Parovi vrijednosti odzivne sile i ispona rezne oštrice dobiveni mjerenjima te naknadnim računanjem izjednačeni su polinomnom regresijom drugoga stupnja. Uz vrlo visok indeks regresije može se konstatirati da s

3.4 Utjecaj položaja stola na jedinične energetske normative

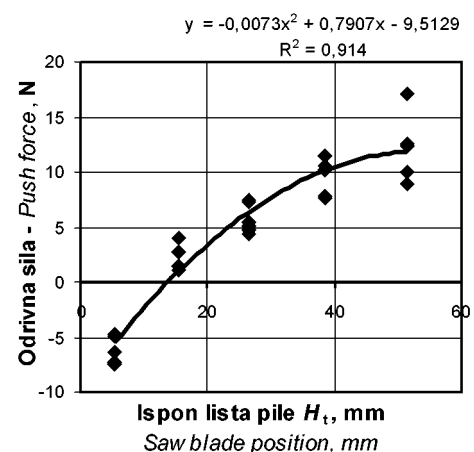
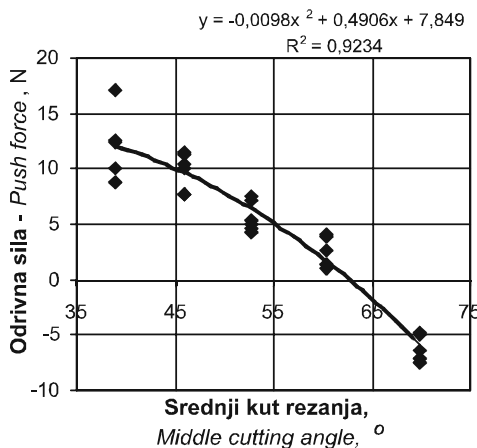
3.4 Influence of the working table position on specific energy standards

Utjecaj položaja radnoga stola na jedinične energetske normative prikazan je na slici 7. Dijagram na slici 7 pokazuje općepoznatu ovisnost jedinične energije rezanja, odnosno jediničnog otpora rezanja o debljini odvojene čestice. S obzirom na to da promjenom položaja radnoga stola izravno utječemo na debljinu odvojene čestice

Slika 6.

Ovisnost odzivne sile: a) o srednjem kutu rezanja i b) o isponu rezne oštrice

Figure 6
Relation between push force and: a) middle cutting angle and b) distance between the workpiece surface and tangent to the saw blade



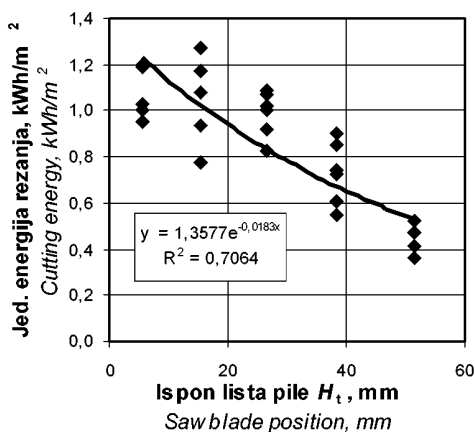
stice, to nužno znači i utjecaj na jedinične energetske normative.

4 ZAKLJUČAK 4 CONCLUSION

U radu je mjerenjima tijekom piljenja hrastovih uzoraka u kontroliranim laboratorijskim uvjetima pokazan izravan utjecaj položaja radnoga stola na ukupnu učinkovitost procesa piljenja kružnom pilom. Na osnovi rezultata mjerenja može se reći da je potvrđen izravan utjecaj položaja radnoga stola na jedinični otpor rezanja, a time i na jediničnu energiju rezanja. Manji ispon reznoga brida povećava kvalitetu bočnih piljenih ploha (smanjuje se hrapavost površine), ali zato zahtijeva povećanu energiju po jedinici učina. Rezultati mjerenja također su potvrdili spoznaju da ukupna sila rezanja raste s porastom posmične brzine. Odrivna i vertikalna sila pokazuju gotovo identičnu ovisnost o srednjem kutu rezanja odnosno o visini ispona reznoga brida s obzirom na gornju plohu obratka. Te su ovisnosti bitne za određivanje stabilnosti obratka, kao i za projektiranje posmičnih sustava. Stoga bi bilo nužno te ovisnosti podrobnije istražiti za veće visine rezanja i veći raspon posmičnih brzina.

5 LITERATURA 5 REFERENCES

1. Barcák, S., Očkajova, A., Siklienka, M. 1998: Vybrate parametre plošneho brusenia a metodika ich stanovenia, Trieskove a beztrieskove obrabanie dreva, Stary Smokovec, 51 - 55.
2. Goglia, V. 1994: Strojevi i alati za obradu drva, I. dio, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1 - 236.



Slika 7.
Ovisnost jedinične energije piljenja o isponu lista kružne pile u odnosu prema obradku (H_t)

Figure 7
Dependence of specific cutting energy on saw blade position in relation to the workpiece

3. Goglia, V., Đukić, I. 2002: Some circular saw cutting consideration, Technologies of wood processing, Technicka univerzita vo Zvolene, Zvolen, 73 - 81.
4. Goglia, V., Risović, S., Beljo-Lučić, R., Đukić, I. 2002: Mehanika kružnih pila - I dio: Izbor položaja lista pile, Drvna industrija 53 (2): 69 - 75.
5. Lisičan, J. 1996: Teoria a technika spracovania dreva, Matcentrun, Zvolen, 1 - 625.
6. Prokeš, S. 1982: Obrabeni dreva a novych hmot ze dreva, SNTL - Nakladatelstvi tehnicke literatury, Praha, 1 - 584.
7. Siklienka, M. 2002: The study of cutting forces during sanding of chosen kinds of woods, Trieskove a beztrieskove obrabanie dreva, Stary Smokovec, 225 - 231.
8. Williston, E. M. 1985: Saws - Design, Selection, Operation and Maintenance, Miller Freeman publication, San Francisco, California, 1 - 288.
9. Zubčević, R. 1988: Mašine za obradu drva, I. dio, Teorija piljenja, Mašinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo, 1 - 116.

Corresponding address:

Professor VLADO GOGLIA, PhD
Department for Mathematics and Technical Basics
Faculty of Forestry
University of Zagreb
Svetošimunska 25
HR-10000 ZAGREB
CROATIA
E-mail: goglia@sumfak.hr