Istraživanje snage rezanja na kružnim testerama pri rezanju ploča od iverice različitih svojstava

DAMJAN M. STANOJEVIĆ, Visoka škola primenjenih
strukovnih studija, Vranje
GRADIMIR J. DANON, Univerzitet u Beogradu,
Šumarski fakultet, Beograd

Originalni naučni rad
UDC: 621.934.023:674.81
DOI: 10.5937/tehnika1504638S

U ovom radu obrađen je postupak merenja snaga koje su se javljale tokom rezanja šest vrsta ploča iverica. Rezane su ploče iverice različitih fizičkih i mehaničkih svojstava kako bi se mogla naći određena korelacija sa snagama rezanja tj. kako bi se mogao odrediti uticaj vlažnosti, gustine i savojne čvrstoće ploča na snage rezanja. Merenje snaga rezanja izvršeno je u radionici Šumarskog fakulteta u Beogradu, merenje vlažnosti i gustine u laboratoriji za ispitivanje ploča iverica, a određivanje savojne čvrstoće izvršeno je u laboratoriji za ispitivanje svojstava drveta. Tokom rezanja menjane su brzine pomoćnog kretanja kako bi se odredio uticaj režima obrade na snagu rezanja.

Generalno, došlo se do zaključka da sa povećanjem sadržaja vlažnosti predmeta obrade snaga rezanja opada, a sa povećanjem brzine pomaka, gustine i savojne čvrstoće ploče, potrebna snaga rezanja se povećava.

Ključne reči: snage rezanja, kružne testere, ploče iverice

1. UVOD

Proces rezanja drveta sačinjen je iz četiri nerazdvojne celine [1]. Prva je obradak (vrsta drveta, vlažnost, gustina, temperatura, dimenzije, čvrstoća itd.). Drugu celinu čine uslovi rezanja (oni predstavljaju skup faktora koji neposredno utiču na obradak, alat i uređaj i oni su neophodni za izvođenje procesa rezanja). Treća celina je mehanizam rezanja (glavno kretanje, pomak, snage rezanja, performanse motora itd.). Četvrtu celinu predstavlja alat (broj sečiva, vrsta materijala, geometrija itd.).

Na Šumarskom fakultetu u Beogradu postoji meri uređaj koji služi za merenje, praćenje i prikazivanje snage mašine za rezanje drveta. Uz pomoć ovog uređaja na jednostavan način se može izmeriti snaga u praznom hodu elektromotora, ukupna angažovana snaga elektromotora i na osnovu ovih vrednosti izračunati prosečna snaga pri rezanju [2].

Prema nekim autorima snaga rezanja je isključivo u funkciji obradnih svojstava materijala [3]. Drugi autori navode da je snaga rezanja pod uticajem parametara rezanja [4].

Adresa autora: Damjan Stanojević, Visoka škola primenjenih, strukovnih studija, Vranje, Filipa Filipovića 20

Rad primljen: 20.11.2014.

Rad prihvaćen: 24.02.2015.

Jedna od osnovnih karakteristika drveta koja u velikoj meri utiče na ponašanje reznog alata nesumnjivo je sadržaj vlage u drvetu [5]. Snaga rezanja testerom će se povećati sa povećanjem sadržaja vlage drveta uprkos smanjenju mehaničkih karakteristika drveta [6].

Cilj našeg istraživanja bio je da se pokaže uticaj sadržaja vlažnosti, zapreminske mase i savojne čvrstoće ploče iverice, kao i brzine pomoćnog kretanja na srednje snage rezanja.

Slika 1 - Složeno rezanje kada rezni element rotira: a - trag ravni rezanja u tački a, b - trag ravni rezanja u tački b, 1 - obrađivana površina, 2 - obrađena površina, 3 - površina rezanja, 4 - ravan rezanja [7]

Na slici 1 dat je slučaj složenog rezanja gde alat izvodi kružno kretanje [7]. Pošto rezni element rotira to se ugao između ravni rezanja i pravca prostiranja

vlakana ϕ_r stalno menja za vreme dok je sečivo u kontaktu sa predmetom obrade (vidi sliku 1).

2. MATERIJAL I METOD RADA

U radionici Šumarskog fakulteta u Beogradu vršeno je ispitivanje snaga rezanja pri rasecanju različitih tipova ploča iverica tj. ploča iverica različitih fizičkih i mehaničkih svojstava. Rezano je šest vrsta ploča koje su obeležene slovima A, B, C, D, E i F (vidi sliku 2). Ploče A, B i C su oplemenjene folijom, a ploče D, E i F su sirove iverice. Dimenzije obradaka su 500 x 500 x 18 mm.

Slika 2 - Materijal za rezanje

Tehnološka operacija rezanja ploča vršena je na kombinovanoj mašini MINIMAX 410 K (vidi sliku 3).

Alat kojim je vršeno rezanje bila je kružna testera prečnika $D = 250$ mm, debljine $s = 3,2$ mm i sa brojem sečiva $z = 80$ (vidi sliku 4).

Slika 3 - kombinovana mašina MINIMAX 410 K

Slika 4 - Alat kojim je vršeno rezanje ploča

Svaka od ploča rezana je I, II i III režimom obrade. Brzina testere pri svakom režimu je iznosila 3937 o/min (vidi sliku 5) tj. 51,51 m/s, a brzine pomaka su iznosile 4,1 m/min (I), 8 m/min (II) i 16,1 m/min (III).

Slika 5 - Određivanje broja obrtaja testere

Svaka ploča od iverice rezana je 26 puta (vidi sliku 6). Prvih devet rezova vršeno je po prvom režimu obrade (4,1 m/min), sledećih sedam rezova (od 10. do 16.) vršeno je po drugom režimu obrade (8 m/min), a preostalih 10 rezova (od 17. do 26.) vršeno je po trećem režimu obrade (16,1 m/min).

Slika 6 - Šema rezanja ploča

Pri svakom rezu, merenje snage rezanja vršeno je posredno, preko angažovane snage pogonskog elektro-motora pomoću merno-akvizicionog uređaja SR-D1 namenjenog za laboratorijska i industrijska merenja snage rezanja na mašinama za obradu drveta i ploča na bazi drveta sa trofaznim pogonskim elektromotorom. Obrada i prikaz podataka vršen je pomoću

softverskog paketa Power Expert. Svaki rez prati dijagram koji predstavlja grafički prikaz kretanja snage potrebne za rezanje (vidi sliku 7). Ovaj softver takođe omogućuje očitavanje srednje snage rezanja.

Slika 7 - Dijagram promena snage rezanja u W

Sa ciljem utvrđivanja uticaja vlažnosti ploče na snagu rezanja izvršeno je određivanje vlažnosti uzoraka uzetih iz ploče koje su rezane u radionici. Nakon očitavanja snaga pri rezanju svih šest ploča, izrađene su epruvete koje služe za određivanje fizičkih svojstava (vlažnosti i gustine) (vidi sliku 8).

Slika 8 - Epruvete za merenje vlage

Vlažnost epruveta dobijena je gravimetrijskom metodom kao količnik razlike mase u sirovom i apsolutno suvom stanju i mase u apsolutno suvom stanju pomnožen sa 100 [8].

$$v = \frac{m_v - m_0}{m_0} \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

gde je: v - vlažnost epruvete u [%], m_v -masa vlažne epruvete u [g], m_0 -masa apsolutno suve epruvete u [g].

Gustina (zapreminska masa) ploče u [g/cm³] dobija se kao količnik mase epruvete u [g] i zapremine epruvete u [cm³].

$$\rho = \frac{m}{V} [g/cm^3] \quad (2)$$

gde je: ρ - zapreminska masa u [g/cm³], m - masa epruvete u [g] i V - zapremina epruvete u [cm³].

Sa ciljem utvrđivanja uticaja savojne čvrstoće ploče na snagu potrebne za rezanje izrađene su epruvete

za određivanje savojne čvrstoće [9] (vidi sliku 9). Iz svake ploče izrađene su po dve epruvete dimenzija 410 x 50 x 18 mm. Dužina epruveta od 410 mm dobijena je na osnovu formule

$l = 20 \times d + 50$ [mm], gde je l -dužina epruvete u [mm], d -debljina epruvete u [mm].

Slika 9 - Epruvete za određivanje savojne čvrstoće

Nakon toga, svaka epruveta je u laboratoriji za ispitivanje svojstava drveta podvrgnuta testu određivanja savojne čvrstoće (vidi sliku 10).

Slika 10 - Oprema za određivanje savojne čvrstoće

3. REZULTATI I DISKUSIJA

U tabeli 1 date su prosečne vrednosti vlažnosti i gustine uzoraka dobijene gravimetrijskom metodom, nakon merenja mase epruveta u sirovom stanju i mase epruveta u apsolutno suvom stanju vlažnosti tj. posle sušenja u sušnici.

Tabela 1. Vrednost vlažnost i gustina epruveta

	Prosečna vlažnost epruveta [%]	Prosečna gustina u vlažnom stanju [g/cm ³]	Prosečna gustina u aps.suvom stanju [g/cm ³]
Ploča A	7,1025	0,67275	0,652
Ploča B	7,2225	0,65075	0,628
Ploča C	6,1125	0,728	0,7145
Ploča D	7,4125	0,61325	0,59125
Ploča E	7,2425	0,6745	0,66025
Ploča F	7,6775	0,6245	0,5995

U tabeli 2 date su vrednosti savojne čvrstoće, modula elastičnosti, maksimalne sile savijanja i maksimalnog ugiba epruvete dobijene ispitivanjem uzoraka u laboratoriji za ispitivanje svojstava drveta.

Tabela 2. Vrednosti savojne čvrstoće, modula elastičnosti, maksimalne sile savijanja i maksimalnog ugiba epruvete [10]

Ploča	Savojna čvrstoća ζ (Mpa)	Modul elastičn. E_c (Mpa)	max.sila savijanja F_{max} (N)	max. ugib epruvete Δf (mm)
A	22,205	3332,8	645,05	5,427
B	16,26	3491,3	506,35	8,547
C	40,91	4999	1224,55	13,756
D	9,935	2116,715	331,85	8,3
E	12,945	2715,245	395,4	9,245
F	9,02	2027,88	276,1	9,08

- Srednja snaga rezanja iznosila je:

I režim obrade: Ploča A – 341,7889 W

Ploča B – 348,1089 W

Ploča C – 417,0522 W

Ploča D – 321,43 W

Ploča E – 383,5333 W

Ploča F – 330,8356 W

Kod rezanja po I režimu obrade (vidi sliku 11) najveća snaga bila je potrebna za rezanje ploče C (417,0522 W). To je ploča oplemenjena ultrapasom, sa najmanjim sadržajem vlage (6,1125 %), najvećom gustoćom (0,728 g/cm³) i najvećom savojnom čvrstoćom (40,91 MPa). Najmanja snaga bila je potrebna za rezanje ploče D (321,43 W). To je sirova iverica sa drugom po veličini vlagom (7,4125 %), najmanjom gustoćom (0,61325 g/cm³) i pretposlednjom po veličini savojnom čvrstoćom (9,935 MPa).

Slika 11 - Dijagram snaga rezanja I režimom obrade

II režim obrade:

Ploča A – 479,9257 W

Ploča B – 502,2586 W

Ploča C – 603,2614 W

Ploča D – 453,5171 W

Ploča E – 546,6686 W

Ploča F – 465,3917 W

Slika 12 - Dijagram snaga rezanja II režimom obrade

Kod rezanja po II režimu obrade (vidi sliku 12) najveća snaga je takođe bila potrebna za rezanje ploče C (603,2614 W). Druga snaga po veličini bila je potrebna za rezanje ploče E (546,6686 W). To je neoplemenjena ploča iverica sa skoro najvećom vlagom među uzorcima (7,2425 %), drugom po veličini gustoćom (0,6745 g/cm³) i najvećom savojnom čvrstoćom među neoplemenjenim ivericama. Treća snaga po veličini bila je potrebna za rezanje ploče B (502,2586 W), četvrta snaga po veličini bila je potrebna za rezanje ploče A (479,9257 W), peta snaga za rezanje ploče F (465,3917 W) i poslednja snaga po veličini, isto kao i pri I režimu obrade, bila je potrebna za rezanje ploče D (453,5171 W).

III režim obrade:

Ploča A – 599,699 W

Ploča B – 636,678 W

Ploča C – 746,693 W

Ploča D – 563,551 W

Ploča E – 661,216 W

Ploča F – 601,474 W

Slika 13 - Dijagram snaga rezanja III režimom obrade

Kod rezanja po trećem režimu obrade (vidi sliku 13) najveća snaga je takođe bila potrebna za rezanje ploče C (746,693 W), a najmanja isto kao i pri I i II režimu obrade za rezanje ploče D (563,551 W).

Na slici 14 data je zavisnost srednjih snaga rezanja od brzine pomaka.

Slika 14 - Dijagram zavisnosti promena srednjih snaga rezanja od brzine pomaka

Što se tiče uticaja režima obrade (brzine pomaka) na ostvarene snage rezanja za svaku ploču ponaosob tu je od velikog značaja srednja debljina strugotine.

Srednja debljina strugotine računa se po obrascu:

$$e_{sr} = s_z \times \sqrt{\frac{h}{D}} \quad [mm], \quad (3)$$

gde je: e_{sr} - srednja debljina strugotine u [mm], s_z - pomak po sečivu u [mm], h - dubina obrade u [mm], D - prečnik testere u [mm].

Pomak po sečivu s_z računa se po formuli:

$$s_z = \frac{u \times 1000}{n \times z} \left[\frac{mm}{zubu} \right], \quad (4)$$

gde je: s_z - pomak po sečivu u [mm/zubu], u - brzina pomaka u [m/min], n - broj obrtaja alata [o/min], z - broj sečiva alata

Pa je:

- Za brzinu pomaka $u = 4,1$ m/min

$$s_z = \frac{4,1 \times 1000}{3937 \times 80} = \frac{4100}{314960} = 0,013 \left[\frac{mm}{zubu} \right]$$

$$e_{sr} = 0,013 \times \sqrt{\frac{18}{250}} = 0,0035 [mm]$$

Za brzinu pomaka $u = 8$ m/min

$$s_z = \frac{8 \times 1000}{3937 \times 80} = \frac{8000}{314960} = 0,025 \left[\frac{mm}{zubu} \right]$$

$$e_{sr} = 0,025 \times \sqrt{\frac{18}{250}} = 0,0067 [mm]$$

Za brzinu pomaka $u = 16,1$ m/min

$$s_z = \frac{16,1 \times 1000}{3937 \times 80} = \frac{16100}{314960} = 0,051 \left[\frac{mm}{zubu} \right]$$

$$e_{sr} = 0,051 \times \sqrt{\frac{18}{250}} = 0,0137 [mm]$$

Srednja debljina strugotine ima najveću vrednost pri najvećoj brzini pomaka (16,1 m/min). Budući da je najveća snaga rezanja bila potrebna za rasecanje ploča

po trećem režimu obrade (najveća brzina pomaka), time smo pokazali da sa povećanjem srednje debljine strugotine raste i srednja snaga rezanja.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je jedan eksperiment u kome je ispitivan uticaj režima obrade, vlažnosti, gustine i savojne čvrstoće na snage koje su potrebne za rezanje ploča iverica.

Što se tiče režima obrade, ploče su rezane po tri režima i to tako što je uzeta jedna brzina glavnog kretanja ($v=51,51$ m/s) i tri brzine pomaka ($u_1=4,1$ m/min, $u_2=8$ m/min i $u_3=16,1$ m/min). Rezano je šest ploča iverica (tri oplemenjene i tri neoplemenjene) i to tako što je svaka od njih rezana u 26 prolaza.

Da bi se odredio uticaj pravca rezanja na srednju snagu rezanja prva dva reza izvršena su poprečno, a treći i četvrti rez podužno na pravac orijentacije iverja u ploči. Budući da je razlika u snazi rezanja bila zanemarljivo mala, dalja obrada vršena je samo u jednom pravcu i to podužno na ploču.

U laboratorijama Šumarskog fakulteta u Beogradu merena je vlaga, gustina i savojna čvrstoća reprezentativnih uzoraka ploča kako bi se mogao utvrditi njihov uticaj na snage rezanja.

Rezultati do kojih se došlo u ovom istraživanju pokazuju sledeće:

- Što se uticaja vlažnosti tiče, istraživanje je pokazalo da je vlažnost ploča u negativnoj korelaciji sa snagom rezanja tj. sa porastom sadržaja vlažnosti ploče srednja snaga rezanja se smanjuje, i obrnuto, sa smanjenjem vlage ploče srednja snaga rezanja se povećava. Tako npr. za rezanje ploče C, koja ima najmanji sadržaj vlage (6,1125 %), potrebna je najveća snaga rezanja (I režim - 417,0522 W, II režim - 603,2614 W, III režim - 746,693 W). S druge strane, za rezanje ploče D, koja ima skoro najveći sadržaj vlage (7,4125 %) potrebna je najmanja snaga rezanja (I režim - 321,43 W, II režim - 453,5171 W, III režim - 563,551 W)
- Vezano za uticaj gustine ploče na snagu rezanja došlo se do saznanja da je gustina u pozitivnoj korelaciji sa snagom rezanja tj. sa porastom gustine ploče raste i potrebna snaga rezanja, i obrnuto, sa smanjenjem gustine ploče smanjuje se i potrebna snaga rezanja. Tako npr. za rezanje ploče C čija je gustina najveća (0,728 g/cm³) potrebna je i najveća snaga rezanja (I režim - 417,0522 W, II režim - 603,2614 W, III režim - 746,693 W). S druge strane, za rezanje ploče D, koja ima najmanju gustinu (0,61325 g/cm³) potrebna je i najmanja snaga rezanja (I režim - 321,43 W, II režim - 453,5171 W, III režim - 563,551 W)

- Što se tiče savojne čvrstoće možemo da zaključimo da je zavisnost snage rezanja od nje u pozitivnoj korelaciji tj. što je savojna čvrstoća veća veća je i snaga rezanja, i obrnuto, što je savojna čvrstoća manja manja je i snaga rezanja. Tako npr. za rezanje ploče C koja ima najveću savojnu čvrstoću (40,91 MPa) potrebna je najveća snaga rezanja, a za rezanje ploče D koja ima skoro najmanju savojnu čvrstoću (9,935 MPa) potrebna je najmanja snaga rezanja.
- Što se režima obrade tiče, najmanja snaga rezanja kod svih šest ploča bila je potrebna pri prvom režimu obrade tj. sa najmanjom brzinom pomaka ($u_1=4,1\text{m/min}$). Npr. prilikom rezanja ploče B srednja snaga rezanja iznosila je 348,1089 W.
- Sa porastom brzine pomaka tj. pri drugom režimu obrade ($u_2=8\text{m/min}$) srednja snaga rezanja je rasla pa je npr. prilikom rezanja ploče B srednja snaga rezanja iznosila 502,2586 W.
- I na kraju, kod trećeg režima obrade tj. kada je brzina pomaka bila na najvećoj meri ($u_3=16,1\text{m/min}$) srednja snaga rezanja je bila najveća pa je npr. prilikom rezanja ploče B srednja snaga rezanja iznosila 636,678 W.

Dakle, generalno se može zaključiti da sa povećanjem sadržaja vlažnosti predmeta obrade snaga rezanja opada, a sa povećanjem brzine pomaka, gustine i savojne čvrstoće ploče, potrebna snaga rezanja se povećava.

LITERATURA

- [1] Marko J, Holík J, Theory of Wood Cutting. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene. (in Slovak), 2000.
- [2] Mandić, M, Danon, G, Merenje snage rezanja pri obradi drveta glodanjem, Prerada drveta, 34 – 41, 2010.
- [3] Aguilera, A, Martin, P, Machining qualification of solid wood of *Fagus silvicata* L. and *Picea excelsa* L. Cutting forces: power requirements and surface roughness, Holz als Roh- und Werkstoff 59(6), 483–488, 2001.
- [4] Goglia, V, Risović, S, Beljo-Lučić, R, Đukić, I, Mehanika kružnih pila, I. dio: Izbor položaja lista pile. Drvna industrija 53(2):93-98, 2002.
- [5] Krilov, A, Toward the re-appraisal of the influence of basic wood characteristics on sawblade potential. Holz als Roh- und Werkstoff 38:145-149, 1980.
- [6] Postnikov, A, Mašine za mehaničku obradu drva I dio, teorija rezanja. Univerzitet u Sarajevu, p. 60-61, 1965
- [7] Kršljak, B, Mašine i alati za obradu drveta I, Beograd (18-23), 1996.
- [8] Miljković, J, Zbirka zadataka i izraza iz ploča iverica, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, 1987.
- [9] Šoškić, B, Svojstva drveta – praktikum, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, 1994.
- [10] Miljković, J, Crnogorac, O, Praktikum za vežbe iz vlaknatica i oplemenjivanja ploča, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, 1987.

SUMMARY

RESEARCH OF CUTTING POWER WITH CUTTING CHIPBOARDS WITH DIFFERENT PROPERTIES BY CIRCULAR SAW

In this paper elaborates the process of measuring cutting power which occurred during cutting six types of particle board. Chipboards with different physical and mechanical properties were cut in order to find some correlation with the cutting power ie to be able to determine the effect of moisture, density and bending strength of the plate to the cutting power. Measuring power cut was made in the workshop of the Faculty of Forestry, Belgrade, measuring the moisture and density in the laboratory for testing particle board, and the bending strength was performed in the laboratory for testing the properties of wood. During the cutting speed are changed auxiliary movements to determine the influence of the machining parameters on cutting power.

Overall, it was concluded that with increasing moisture content of the work-piece cutting power decreases with increasing velocity displacement, density and bending strength of the board, required cutting power increases.

Key words: Cutting power, circular saws, chipboard