

Mandić M., Todorović N., Popadić R., Danon G. 2011. *Influence of wood properties and technological parameters of processing on cutting power in milling of thermally modified beechwood*. Bulletin of the Faculty of Forestry 104: 109-124.

Марија Мандић
Небојша Тодоровић
Ранко Попадић
Градимиr Данон

UDK: 630*842:630*812
Оригинални научни рад
DOI: 10.2298/GSF1104109M

УТИЦАЈ СВОЈСТАВА ДРВЕТА И ТЕХНОЛОШКИХ ПАРАМЕ- ТАРА ОБРАДЕ НА СНАГУ РЕЗАЊА ПРИ ОБРАДИ ТЕРМИЧКИ МОДИФИКОВАНОГ БУКОВОГ ДРВЕТА ГЛОДАЊЕМ

Апстракт: У раду су приказани резултати утицаја термичке модификације на снагу резања потребну за глодање дрвета. Експеримент је изведен за различите температуре третмана (170°C, 190°C и 210°C) и различите технолошке параметре обраде (помак и дубина глодања). Снаге резања током глодања мерене су на четири групе узорака буковог дрвета димензија 35×16×400 mm, посебно за срчевину и бељику. За обрађене узорке тестирана су механичка и физичка својства дрвета: савојна чврстоћа, модул еластичности при савијању, попречна и бочна тврдоћа и густина у просушеном стању влажности. У испитивању је коришћен мерни уређај за мерење, праћење и приказивање снаге резања, развијен у Центру за машине и уређаје на Шумарском факултету у Београду. Резултати указују на постојање разлика у снагама потребним за обраду термички обрађеног дрвета у односу на нетретирано дрво. Утврђено је да са повећањем температуре третмана потребне снаге резања опадају.

Кључне речи: буква, термичка модификација, механичка својства, снага резања

INFLUENCE OF WOOD PROPERTIES AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF PROCESSING ON CUTTING POWER IN MILLING OF THERMALLY MODIFIED BEECHWOOD

Abstract: The paper presents results of influence of thermal modification on cutting power required for milling wood processing. The experiment was conducted

дипл. инж. Марија Мандић, асистент, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд (e-mail: marija.mandic@sfb.bg.ac.rs)

мр Небојша Тодоровић, асистент, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд

мр Ранко Попадић, асистент, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд

др Градимиr Данон, ред. професор, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд

for the different treatment temperatures (170°C, 190°C and 210°C) and different technological parameters of processing (feed and cutting depth). Cutting powers during milling were measured on four groups of beech wood samples, dimensions 35×16×400 mm, separately for heartwood and sapwood. The following mechanical and physical properties of the processed samples were tested: bending properties (modulus of rupture and modulus of elasticity), cross-sectional and tangential hardness, and air-dry density. The measuring device used for measuring, monitoring and displaying cutting power was developed at the Wood Machining Centre at the Faculty of Forestry in Belgrade. The results point out the differences in the powers required for processing heat-treated wood compared to untreated wood. The analysis shows that with the increase in treatment temperature, the required cutting powers decrease.

Keywords: beechwood, thermal modification, mechanical properties, cutting power

1 УВОД

Буково дрво је због својих естетских карактеристика, доступности, обрадивости и добрих механичких својстава веома цењено. Због изражене хигроскопности, склоности ка промени облика, као и релативно мале отпорности на дејство гљива и инсеката, буковина има смањену могућност употребе у условима променљиве климе, тако да се ретко примењује за израду грађевинске столарије и производа намењених спољашњој употреби.

У циљу смањивања хигроскопности, као и спречавања напада гљива и инсеката, дрво се често подвргава различитим третманима (хемијски, топлотни и термичко-хемијски). Хемијски третмани се најчешће свode на наношење различитих хемијских средстава на дрвене производе који су у већој или мањој мери штетни по здравље човека и животну средину. Данас се, уместо наведених хемијских, примењују термички третмани (третирање дрвета високим температурама) који нису штетни по еко систем, а делотворни су у заштити дрвета и смањењу хигроскопности.

Термичка модификација доводи до промена физичких и биолошких карактеристика дрвета. Те промене укључују следеће: повећање димензионалне стабилности, смањење хигроскопности, повећање отпора према микробиолошким нападима, тамњење дрвета и смањену отпорност на абразију (Hill, 2006). Термичком модификацијом су се бавили многи истраживачи, међу првима је био Tiemann (1915), а потом Stamm и Hansen (1937). Током шездесетих година ову врсту истраживања наставили су Kollman и Schneider (1963). Наведени аутори бавили су се својствима дрвета модификованог на релативно ниским температурама, обично до 150°C. Новија истраживања се обављају у температурном интервалу између 180°C и 260°C (2003, Hill, 2006). Температуре испод 140°C не утичу битно на повећање отпорности на утицаје спољашње средине, док температуре изнад 300°C доводе до неприхватљиве деградације материјала (Hill, 2006). Истраживања спроведена

у Финској на дрвету бора, смрче, брезе и јасике (2003) указују да побољшање хигроскопности и отпорности на микроорганизме, као и промена својстава дрвета зависе од дужине и интензитета третмана, који за последицу имају и одређене губитке неких механичких својстава и промену боје.

Познато је да се из букове лажне срчевине, због тамније боје и потенцијалног присуства гљива израђују сортименти чија је вредност на тржишту ниска. По термичком третману и уједначавању боје, уз стерилизацију која је спроведена, сортиментима из буковог лажног срца може се значајно увећати вредност. Процена учинка термичког третмана, односно смањења хигроскопности и повећања биолошке трајности дрвета, најчешће се врши контролом губитка масе дрвета. Резултати неких истраживања показују да са повећањем температуре третмана расте и губитак масе дрвета, односно долази до хемијске деградације ћелијског зида (Windeisen *et al.*, 2007) и на тај начин се смањује могућност развоја штетних микроорганизама (Kotilainen, 2000, Sailer *et al.*, 2000).

Када је термички третирана буковина у питању, резултати истраживања (Poradić, Todorović, 2008.) вршених на температурама од 150°C, 170°C, 190°C и 210°C (трајање третмана је 4 сата) показују да се губитак масе повећава са растом температуре. Значајан губитак масе у односу на нетретирано буково дрво утврђен је при температурним третманима од 190°C и 210°C. У раду је анализирано и смањење запремине, које је статистички значајно на температури од 210°C. Закључено је и да је промена густине до које долази на температури од 210°C вероватно узрок промене механичких својстава буковог дрвета, док је температурни третман на 190°C интересантан по значајном губитку масе, али не и густине. Слично истраживање термички модификоване буковине са сличним резултатима су спровели Поповић и сарадници (2010).

За очекивати је да смањење механичких својстава утиче и на технолошка својства модификованог дрвета. У том циљу мерена је снага резања за различите режиме обраде глодањем и на основу добијених резултати израчунати су специфични отпори резања и утврђена је њихова зависност од услова третмана односно од физичких и механичких својстава дрвета. Велики број истраживања се бавио одређивањем сила при резању (Ko *et al.*, 1999, Vazquez-Cooz *et al.*, 2003), као и буком или вибрацијама (Lemaster *et al.*, 1985) које при обради настају. Међутим, само неки од њих су разматрали укупни енергетски биланс при обради резањем дрвета или плоча на бази дрвета (Iskra *et al.*, 2005). За ову комплексну врсту истраживања потребно је располагати и одговарајућом опремом за мерење укупне, активне и реактивне снаге погонског електромотора, сила при резању, ослобођене топлоте у процесу резања, буке и вибрација. Са таквом опремом било би могуће утврдити биланс утрошене енергије у процесу резања и утицајне фактора на утрошак енергије, као што су постојаност алата, машинско време обраде и квалитет обрађене површине (Iskra *et al.*, 2005).

Снага потребна за резање зависи од силе резања и брзине резања. Силе резања је најједноставније мерити посредно преко ангажоване снаге погонског електро-мотора помоћу мерно-аквизиционог уређаја. Шумарски факултет располаже са два таква мерно-аквизициона уређаја који служе за мерење, праћење и приказивање ангажоване снаге електромотора (СРД1 и СРД2), а који се могу користити и за одређивање снаге потребне за резање дрвета (Mandić, Danon, 2010).

2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА

2.1. Материјал

Испитивани материјал је пореклом из 11 случајно изабраних букових стабала са шумског подручја која припада Наставно научној бази Шумарског факултета на Гочу. Сва стабла су била са садржајем здраве лажне срчевине. Одабрана стабла су, у шуми, изрезана у трупце дужине око 2 m који су у пилани прорезани у радијалне даске дебљине око 30 mm. Све даске су просушиване око 20 дана у лабораторијским условима, а затим вештачки сушене у лабораторијској сушари на Шумарском факултету, до коначне влажности од око 10%. Након тога су из радијалних дасака изрезани узорци за испитивање савојних својстава и узорци за испитивање основних физичких својстава дрвета. Узорци су изрезани, један испод другог тако да су нетретирани и термички третирани узорци садржали исте прстенове прираста. Исто тако се при изрезивању узорака водило рачуна да сви узорци буду правилног призматичног облика и да имају правилно орјентисане прстенове прираста на попречном пресеку.

Термичка обрада узорака је извршена у фирми „Tarkett“ д.о.о. из Бачке Паланке. Епрувете су третиране воденом паром на температурама 170°C, 190°C и 210°C у трајању од 4 h. За истраживање је припремљено 8 група проба са по 16 епрувета израђених од буковог дрвета. Димензије проба су биле 35×16×400 mm. Прве четири групе су чиниле епрувете израђене из лажне срчевине, при чему су прву групу чиниле термички нетретирани епрувете, другу групу епрувете третиране на температури од 170°C, трећу групу епрувете третиране на температури од 190°C, а четврту групу епрувете третиране на температури од 210°C. Преостале четири групе су чиниле епрувете израђене из белике и то са истим распоредом термичких третмана као и у предходном случају. Сви узорци су после израде кондиционирани на апсолутну влажност од приближно 5%.

2.2. Испитивање својстава дрвета

Испитивана су физичка и механичка својства према одговарајућим стандардима и то за густину према стандарду SRPS D.A1.044, за савојну чврстоћу према стандарду SRPS D.A1.046 и за тврдоћу према стандарду EN 1534 - Brinell's hardness



Слика 1. Уређај за помоћно кретање на станој глодалици

Figure 1. Feeding device on the milling machine

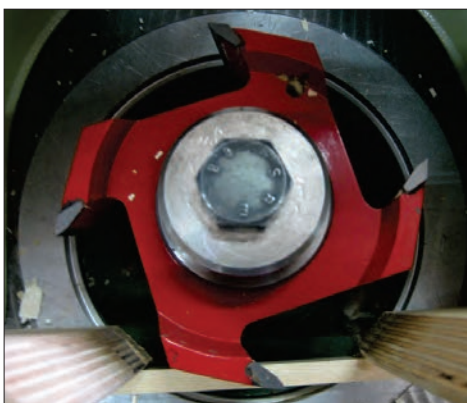
Испитивање је обављено при константном броју обртаја радног вретена ($n=6.000 \text{ o} \cdot \text{min}^{-1}$, односно при константној брзини резања $v=37,68 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) за три брзине помоћног кретања и ($6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ и $10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$) и две дубине резања дрвета a (1 mm и 3 mm), посебно за срчевину и посебно за белу, на свим групама проба. Укупно је извршено 768 мерења.

2.3. Мерење снаге резања дрвета

Снаге резања су мерене посредно преко ангазоване снаге погонског електро-мотора помоћу мерно-аквизиционог уређаја СРД2 (Mandić *et al.*, 2010). Овај уређај је прилагођен за лабораторијско и индустријско мерење снаге резања на машинама са трофазним погонским електромотором за обраду дрвета и плоча на бази дрвета. Састоји се од мултиметра PowerLogic PM710 (слика 3) фирме Schneider Electric који је уграђен на врата кућишта у коме се налази инсталација уређаја.

на машини за испитивање механичких својстава дрвета и производа од дрвета „WT-4“.

Испитивање технолошких својстава при обради дрвета глодањем је обављено на станој глодалици Mini-Max, приказаној на слици бр. 1. У овом случају глодање је било отворено, обимно и супротносмерно. Помоћно кретање је остварено помоћу уређаја за помер Maggi Engineering, Vario Feed, брзине $3-24 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Као алат коришћено је глодало произвођача „Кордун“ са 4 сечива са плочицама од тврдог метала, пречника $D=120 \text{ mm}$, ширине $B=40 \text{ mm}$ и следећих елемената геометрије сечива: леђни угао $\alpha=18^\circ$, угао оштрења $\beta=57^\circ$, грудни угао $\gamma=15^\circ$ и угао нагиба сечива $\lambda=5^\circ$. Изглед алата је приказан на слици бр. 2.

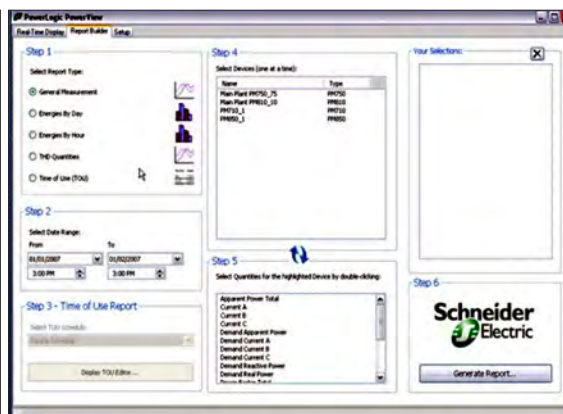


Слика 2. Глодало

Figure 2. Milling cutter



Слика 3. Изглед PowerLogic PM 710
Figure 3. PowerLogic PM 710



Слика 4. Снимања података програмом Power View
Figure 4. Data recording in Power View program

Уз помоћ рачунарског програма „Power View“ (на слици 4 приказан је графички интерфејс), на релативно једноставан начин, могу се измерити и снимити снаге трофазног електромотора у празном ходу и при оптерећењу, односно при обради. На основу добијених вредности могуће је израчунати просечну снагу при резању, али и израчунати тренутне и просечне силе резања, као и специфични отпор резању.

3. РЕЗУЛТАТИ

3.1. Физичка и механичка својства дрвета

За све четири групе узорка измерене су вредности за густину, својну чврстоћу, модул еластичности, бочну и попречну тврдоћу. Просечне вредности резултата мерења за густину приказани су у табели 1.

Табела 1. Приказ вредности густина модификованог дрвета букве
Table 1. Values of modified beech wood density

Врста узорака Type of samples	Температура третмана / Treatment temperature			
	Негретиран Untreated	170°C	190°C	210°C
	$g \cdot cm^{-3}$			
Белика / Sapwood	0,728	0,694	0,652	0,644
Срчевина / Red heartwood	0,700	0,672	0,644	0,630

Просечне вредности резултата мерења за механичка својства приказани су у табели 2.

Табела 2. Приказ вредности својстава дрвета букве при различитим температурама третмана

Table 2. Values of beech wood properties at different treatment temperatures

Врста узорака Type of samples	Савојна чврстоћа Bending strength		Модул еластичности Modulus of elasticity		Попречна тврдоћа Cross-sectional hardness		Бочна тврдоћа Tangential hardness	
	Бељика Sapwood	Срчевина Red heartwood	Бељика Sapwood	Срчевина Red heartwood	Бељика Sapwood	Срчевина Red heartwood	Бељика Sapwood	Срчевина Red heartwood
	$N \cdot mm^{-2}$							
Нетрет. Untreated	126,0	116,4	13,552	13,203	45,9	44,6	34,4	30,4
170°C	124,1	108,4	14,463	12,757	60,2	52,4	29,1	27,3
190°C	103,6	69,5	14,639	13,143	45,9	63,7	34,4	30,4
210°C	79,1	63,1	12,906	11,044	40,2	44,3	20,9	22,4

3.2. Снаге резања дрвета

У табели 3 приказане су просечне вредности резултата мерења снага резања при глодању за четири групе узорака лажне срчевине букве, као и две дубине резања.

Табела 3. Приказ просечних снага резања при глодању лажне срчевине букве

Table 3. Cutting powers in milling beech false heartwood

Помак Feed	Дубина резања Cutting depth	Температура третмана / Treatment temperature			
		Нетретирано Untreated	170°C	190°C	210°C
$m \cdot min^{-1}$	mm	W			
6	1	98,0	87,5	70,5	69,3
8	1	93,8	98,9	89,8	74,2
10	1	100,6	90,9	107,0	73,0
6	3	195,0	156,8	163,9	121,1
8	3	218,7	185,3	149,9	142,1
10	3	230,2	179,7	189,6	140,3

У табели 4 приказане су просечне вредности снага резања при глодању за четири групе узорака бељике и две дубине резања.

Табела 4. Приказ просечних снага резања при глодању белјике букве
Table 4. Cutting powers in milling beech sapwood

Помак Feed	Дубина резања Cutting depth	Температура третмана / Treatment temperature			
		Нетретирано Untreated	170°C	190°C	210°C
<i>m/min</i>	<i>mm</i>	<i>W</i>			
6	1	110,1	87,5	68,0	69,3
8	1	98,6	98,9	75,2	74,2
10	1	115,4	90,9	108,6	73,0
6	3	221,3	202,4	161,4	121,4
8	3	235,3	181,9	177,5	127,3
10	3	255,4	193,8	183,8	145,7

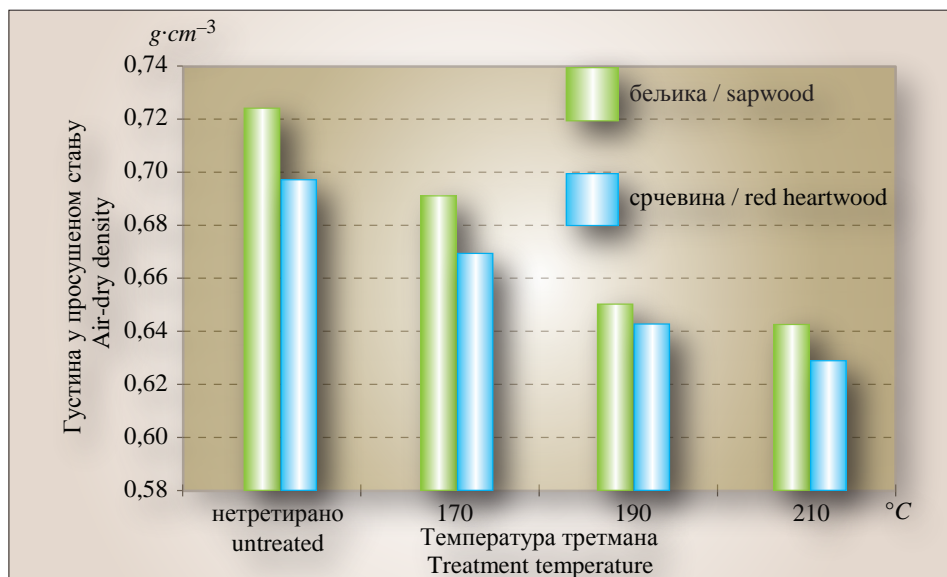
4. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

4.1. Утицај термичког третмана на густину

Висока температура мења основне компоненте грађе дрвета (лигнин, целулозу и хемицелулозе), што доводи и до промене густине дрвета. У овом раду је утврђено да између белјике и срчевине не постоји значајна разлика у густини дрвета како нетретираних тако и термички обрађених узорака. Међутим, са графикана 1 се види да са повећањем температуре густина значајно опада и код белјике ($F=4,89$, $p<0,05$) и код срчевине ($F=8,48$, $p<0,05$). Посматрајући појединачно вредности густине утврђено је да не постоји значајна разлика између нетретираних и третираних на 170°C, док са друге стране постоји значајна разлика између нетретираних и третираних на 190°C и 210°C. Овако добијени резултати нам показују да је прва температура на којој долази до значајног губитка густине буковог дрвета температура од 190°C.

4.2. Утицај термичког третмана на механичка својства

Вредности чврстоће на савијање и модула еластичности нетретираног дрвета се налазе у границама библиографских података (табела 2). У раду је потврђено да термичка модификација значајније утиче на промену чврстоће него на промену модула еластичности при савијању. Чврстоћа на савијање при топлотном третману од 170°C благо опада док са даљим повећањем температуре те вредности рапидно опадају. У односу на нетретирано дрво вредност чврстоће на савијање при 210°C је мања за 37% код белјике и за 46% код срчевине. Према приказаним подацима (табела 2) примењена висока температура утиче на смањење чврстоће на савијање (белјика



Графикон 1. Утицај температуре третмана на густину дрвета
Diagram 1. Influence of heat-treatment on wood density

$F=17,78$, $p<0,05$, срчевина: $F=39,57$, $p<0,05$) и то значајније при температурама од 190°C и 210°C . Између нетретираних и узорака термички обрађених на 170°C нема значајне разлике (бељика $F=0,75$, $p>0,05$, срчевина $F=0,08$, $p>0,05$).

Модул еластичности код термички модификованог дрвета букве има другачији тренд у односу на чврстоћу на савијање. Према приказаним подацима, термички третман на испитиваним режимима не утиче на промену модула еластичности (бељика $F=2,29$, $p>0,05$, срчевина $F=2,14$, $p>0,05$). Значајнија промена се десила само код срчевине модификоване на 210°C , при чему је забележено опадање за око 16% у односу на нетретирано дрво.

Добијени резултати нам показују да термички третман даје дрво боље или непромењене еластичности, али значајно мање чврстоће на савијање. Неке од разлога за овакво понашање термички модификованог дрвета могу се наћи у раније објављеним публикацијама (Esteves, Pereira, 2009, Borrega, Karenlampi, 2008).

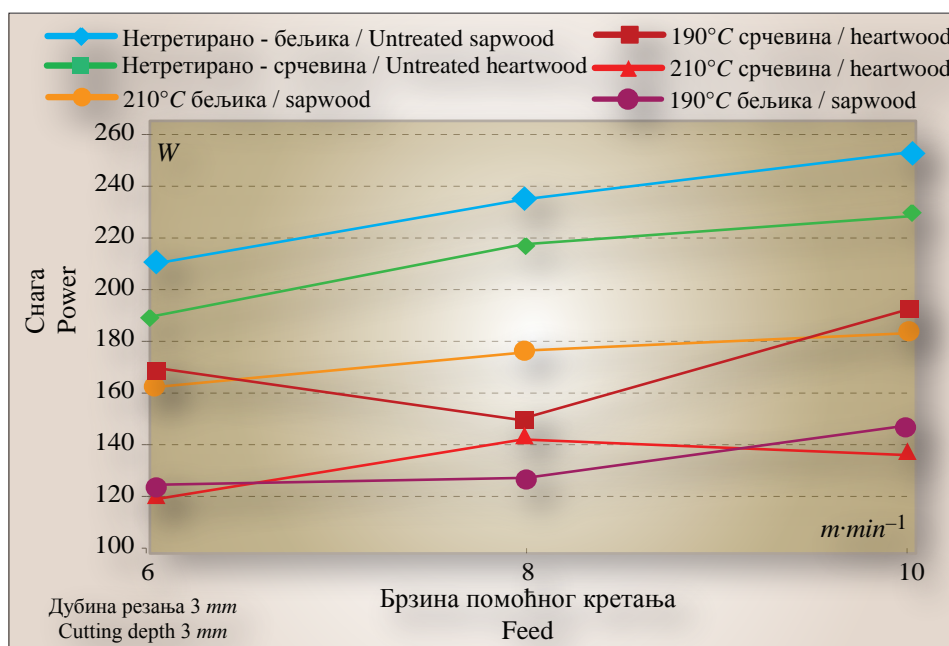
Мерењима је утврђено да је код нетретираног дрвета тврдоћа паралелно са влаканицима (попречна тврдоћа) значајно већа од тврдоће управно на влаканца (бочна тврдоћа), а да не постоји разлика између тврдоћа бељике и срчевине. На то указују резултати F -теста (код попречне тврдоће $F=0,26$, $p>0,05$, код бочне тврдоће $F=0,09$, $p>0,05$). На основу приказаних резултата може се рећи да термички третман узрокује значајну промену бочне тврдоће само код дрвета модификованог на 210°C , а не и код третмана на 170°C и 190°C .

4.3. Утицај технолошких параметара обраде и термичког третмана на снагу резања дрвета

Поређењем средњих вредности снага резања (t -тест), за истраживане брзине помака и дубине резања (табела 3 и 4), утврђено је да не постоји суштинска разлика између белјике и срчевине како код нетретираног тако и код термички модификованог дрвета. Са друге стране са повишењем температуре потребна снага резања опада код оба дела буковог дрвета (табела 3 и 4). Овакав утицај температуре термичког третмана нарочито долази до изражаја ако се упореде нетретирани и узорци третирани на 190°C и 210°C (табела 3 и 4). Овај тренд једино није забележен код срчевине третиране на 170°C и 190°C , где је при дубини од 1 mm снага резања већа код термички модификованог дрвета у односу на нетретирано (табела 3).

Овако добијени резултати би се могли објаснити повећањем тврдоће у површинским слојевима узорака после термичког третмана и да при малој дубини резања више долази до сабијања него до резања влаканаца. На графику бр. 2 је приказана снага резања за нетретиране узорке и узорке третиране на температурама 190°C и 210°C при дубини резања од 3 mm .

На основу приказаних података може се закључити да са повећањем брзине помоћног кретања, при истом температурном третману и дубини резања снага



Графикон 2. Утицај брзине помоћног кретања на снагу резања при глодању белјике и срчевине букве

Diagram 2. Influence of feed on cutting power in milling beech sapwood and red heartwood

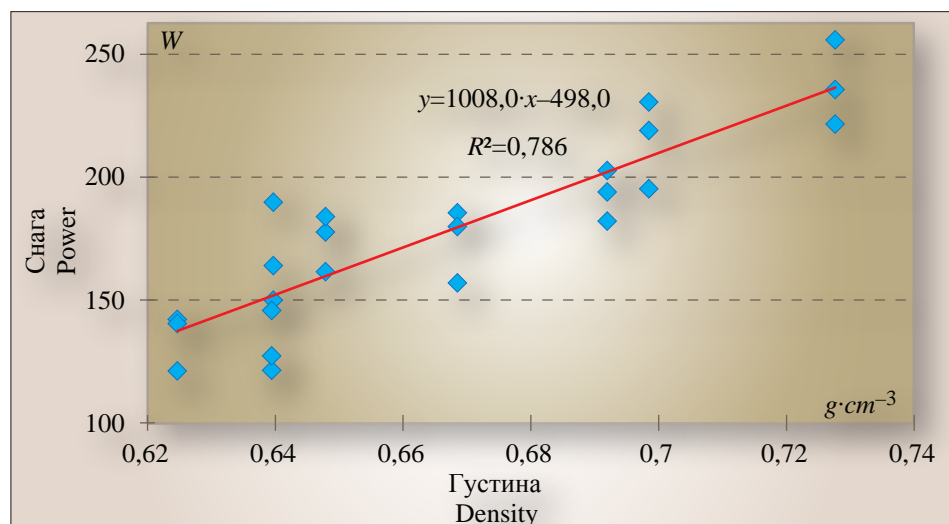
резања расте, док са повишењем температуре термичког третмана снага резања опада при истој брзини помоћног кретања и дубини резања.

4.4. Утицај физичких и механичких својстава термички модификованог дрвета на снагу резања

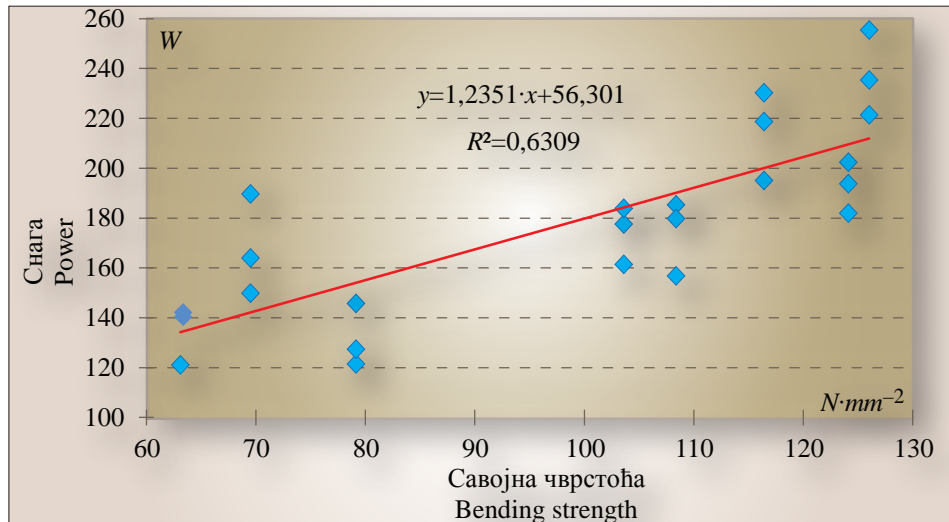
У овом раду су потврђени већ ранији резултати да се са повећањем температуре добија значајно мања густина у односу на нетретирано дрво (Hill, 2006, Popadić, Todorović, 2008, Esteves, Pereira, 2009). На основу до сада утврђених корелација између густине и механичких својстава (Šoškić, Popović, 2002), губитак густине ће имати велики утицај како на промену механичких тако и промену технолошких својстава термички модификованог дрвета. Ову чињеницу нам потврђује приказ утицаја густине на снагу резања нетретираног и термички модификованог буковог дрвета (графикон 3). Исто тако, испитани су и утицаји савојне чврстоће и тврдоће термички модификованог дрвета на снагу резања (графикони 4 и 5).

На графику бр. 4 се види да постоји јака линеарна корелациона зависност ($R^2=0,630$) између савојне чврстоће дрвета и снаге резања термички модификованог дрвета букве при глодању.

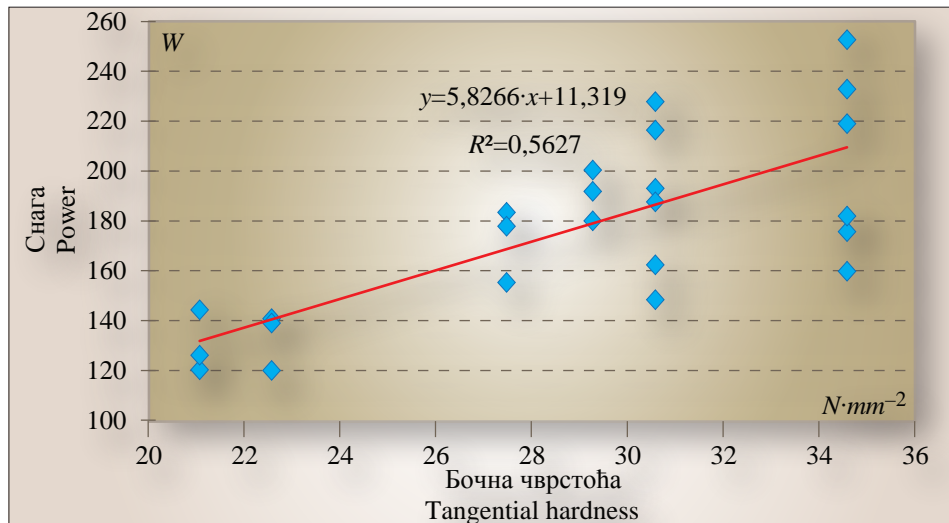
На графику бр. 5 се види да постоји корелациона зависност линеарног облика са коефицијентом детерминације $R^2=0,562$ између бочне тврдоће дрвета и снаге резања дрвета, док између попречне тврдоће дрвета и снаге резања дрвета није уочена зависност.



Графикон 3. Утицај густине дрвета на снагу резања при глодању
Diagram 3. Influence of wood density on cutting power in milling



Графикон 4. Утицај савојне чврстоће дрвета на снагу резања при глодању
Diagram 4. Influence of wood bending strength on cutting power in milling



Графикон 5. Утицај бочне тврдоће дрвета на снагу резања при глодању
Diagram 5. Influence of wood tangential hardness on cutting power in milling

5. ЗАКЉУЧАК

Испитивањем утицаја својстава и технолошких параметара обраде на снагу резања при обради термички модификованог буковог дрвета глодањем утврђено је следеће:

- са повишењем температуре термичког третмана густина значајно опада и код белјике и код срчевине, као и да не постоји значајна разлика између нетретираних и третираних узорака на 170°C , док са друге стране постоји суштинска разлика између нетретираних и третираних на 190°C и 210°C ;
- према приказаним подацима примењена висока температура термичког третмана утиче на смањење чврстоће на савијање и то значајније при температурама од 190°C и 210°C , док не утиче на промену модула еластичности при савијању;
- израженији је утицај температуре термичког третмана на бочну него на попречну тврдоћу, а потврђено је да је код нетретираног дрвета попречна тврдоћа значајно већа од бочне;
- дубина резања од 3 mm , у односу на 1 mm , показује равномернији тренд утицаја температуре на снагу резања. На основу добијених резултата забележено је да са повећањем брзине помоћног кретања, при истом температурном третману, снага расте, док при истој брзини помоћног кретања са повећањем температуре снага резања опада;
- постоји јака линеарна корелациона зависност између снаге резања и својстава термички модификованог дрвета, с обзиром да промена механичких својстава утиче и на промену технолошких својстава дрвета. Исто тако, утврђена је и јака корелациона зависност линеарног облика између својне чврстоће и снаге резања као и линеарна зависност средње јачине између бочне тврдоће и снаге резања. Између попречне тврдоће и снаге резања није уочена никаква зависност.

Напомена: Овај рад је реализован у оквиру пројекта „Истраживање климатских промена на животну средину: праћење утицаја, адаптација и ублажавање“ (43007) који финансира Министарство за просвету и науку Републике Србије у оквиру програма Интегрисаних и интердисциплинарних истраживања за период 2011-2014. године. Припрема узорака за ово истраживање урађена је у фирми „Таркет“ из Бачке Паланке на чему им се захваљујемо.

ЛИТЕРАТУРА

- Barčík Š., Kotlíňová M., Pivolusková E. (2006): *Interactive relations at machining of juvenile wood*, „Manufacturing engineering in time of information society“, 1st Jubilee scientific conference, Gdansk (43-46)
- Barčík Š., Pivolusková E., Kminiak R. (2008): *Effect of technological parameters and wood properties on cutting power in plane milling of juvenile poplar wood*, *Drvna industrija* 59(3), Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb (107-112)
- Borrega M., Kärenlampi P.P. (2007) *Mechanical behavior of heat-treated spruce (Picea abies) wood at constant moisture content and ambient humidity*, *European Journal of Wood & Wood Products* 1, Vol. 66, Springer-Verlag GmbH, Heidelberg (63-69) (<http://www.springerlink.com/content/xl2486v154507771/>, посећено: јуни, 2011. год.)

- Đukić I., Goglia V., (2006): *Usporedba bruto energetskeg normativa jarmača i tračnih pila trupčara*, Drvna industrija 57(4), Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb (179-182)
- Esteves B., Pereira H. (2009): *Wood modification by heat treatment: A review*, BioResources 4(1), NC State University - Department of Forest Biomaterials, Raleigh (370-404) (http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/viewFile/BioRes_04_1_%23%23%23%23_Esteves_P_Wood_Mod_Heat_Treatment/350, посећено: јуни, 2011. год.)
- Hill C.A.S. (2006): *Wood modification: chemical, thermal and other processes*, School of agricultural & forest sciences, University of Wales, Bangor (99-129)
- Iskra P., Tanaka C., Ohtani T. (2005): *Energy balance of the orthogonal cutting process*, Holz als Roh- und Werkstoff 63, München (358–364)
- Ko P., McKenzie W., Cvitkovic R., Roberson M. (1999): *Parametric studies in orthogonal machining MDF*, Proc. of the 14th International Wood Machining Seminar, Epinal (1-12)
- Kollman F., Schneider A. (1963): *Über das Sorptionsverhalten wärmebehandelter Hölzer*, Holz Roh-Werkstoff 21, Springer-Verlag GmbH, Heidelberg (77-85)
- Kopecký Z., Rousek M. (2005): *Determination of cutting forces in cutting wood materials*, Drvna industrija 56(4), Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb (171-176)
- Kotilainen R. (2000.): *Chemical Changes in Wood during Heating at 150-260°C*, dissertation, University of Jyväskylä, Jyväskylä
- Kršljak B. (1996): *Mašine i alati za obradu drveta I*, Beograd (18-23)
- Lemaster R., Tee L (1985) *Monitoring tool wear during wood machining with acoustic emission*, Wear 101, Amsterdam (273–282)
- Mandić M., Danon G. (2010): *Merenje snage rezanja pri obradi drveta glodanjem*, Prerada drveta 29, Univerzitet u Beogradu - Šumarski fakultet, Beograd (34-41)
- Mandić M., Todorović N., Popadić R., Danon G., (2010): *Impact of thermal modification and technological parameters of processing on cutting powers in milling wood processing*, First Serbian Forestry Congress - Future with forest, Beograd
- Popadić R., Todorović N. (2008): „*Uticao visokotemperaturnog tretmana na neka fizička svojstva bukovog drveta*“, Prerada drveta 23, Univerzitet u Beogradu - Šumarski fakultet, Beograd (5-9)
- Popović Z., Todorović N., Popadić R., Nešovanović B. (2010.): *Uticao visokotemperaturnog tretmana na neka svojstva bukovog drveta iz beljike i lažne srčevine*, Prerada drveta 29, Univerzitet u Beogradu - Šumarski fakultet, Beograd (5-14)
- Sailer M., Rapp A.O., Leithoff H. (2000.): *Improved resistance of Scots pine and spruce by application of an oil-heat treatment*, 31st Annual Meeting of the international research group on wood preservation (IRG/WP 00-40162), Kona (3-17)
- Stamm A.J., Hansen L.A. (1937): *Minimizing wood shrinkage and swelling. Effect of heating in various gases*, Industrial & Engineering Chemistry 29(7), Madison (831–833)
- Šoškić B., Popović Z. (2002): *Svojstva drveta*, Univerzitet u Beogradu - Šumarski fakultet, Beograd (275-277)
- Tiemann H.D. (1915). *The effect of different methods of drying on the strength of wood*, Lumber World Review 28(7), Detroit (19-20)

- Vazquez-Cooz I., Meyer R. (2003): *Cutting forces for tension wood and normal wood of maple*, Proc. of the 12th World Forestry Congress, Quebec City
- Wasielowski R. (2004): *Assesment of radial run-out of circular saw*, In Annals of Warsaw Agricultural University, Forestry and Wood Technology. 1. vyd., Warsaw Agricultural University Press, Warsaw (599-602)
- Windeisen E., Strobel C., Wegener G. (2007.): *Chemical changes during the production of thermo-treated beech wood*, Wood Science & Technlogy 41, Berlin (523-536)

Marija Mandić
Nebojša Todorović
Ranko Popadić
Gradimir Danon

INFLUENCE OF WOOD PROPERTIES AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF PROCESSING ON CUTTING POWER IN MILLING OF THERMALLY MODIFIED BEECHWOOD

Summary

Two main factors that determine the properties of thermo-wood are temperature and duration of wood treatment, where temperature is a more influential factor. Test samples were treated with water vapor at the temperatures of 170°C, 190°C and 210°C for 4.1 h. For the research 8 test sample groups were prepared along with 16 test samples made of beech wood for each group. Dimensions of samples were 35×16×400 mm. The first four groups consisted of test samples made of false heartwood, where the first group consisted of thermally untreated test samples, the second group was test samples treated at the temperature of 170°C, the third group consisted of test samples treated at the temperature of 190°C, while the fourth group was test samples treated at the temperature of 210°C. The remaining four groups were test samples made of sapwood with the same arrangement of heat-treatments as above. Testing was done for three feeds (6 m·min⁻¹, 8 m·min⁻¹ and 10 m·min⁻¹) and two cutting depths (1 mm and 3 mm), separately for heartwood and sapwood, in all sample groups. Altogether 768 measurements were conducted.

Pursuant to the results obtained in this research, the following conclusions were made:

- By measuring physical and mechanical properties of untreated and treated beech wood samples, it was found that the increase in treatment temperature had a significant impact on the reduction of sample density. The paper confirmed that the thermal modification influenced more significantly the strength change than the change in modulus of elasticity in bending. The applied high temperature affects the reduction in bending strength ($F=17.78$ sapwood, $p<0.05$, false heartwood: $F=39.57$, $p<0.05$) and significantly at temperatures of 190°C and 210°C. According to the data, heat-treatment does not affect the modulus of elasticity ($F=2.29$ sapwood $p>0.05$, false heartwood $F=2.14$ $p>0.05$). Based on the results it can be said that thermal treatment causes a significant change in the cross-sectional hardness and tangential hardness by observing the difference between the values of untreated wood and modified wood at 210°C;
- The measured powers for cutting depth of 1 mm show a two-directional trend. With the increase in heat-treatment temperature, the required cutting powers decrease significantly if the samples treated at 210°C and untreated samples are compared. Concerning the samples treated at the temperature of 170°C, cutting powers are higher than among

- untreated samples for $8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ feed and cutting powers among samples treated at the temperature of 190°C are higher than those among untreated samples for $10 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ feed. For the cutting depth of 3 mm , the dependence is one-directional, namely cutting powers decrease with the increase of treatment temperature;
- The research shows that thermo-wood, despite the reduction in density and mechanical properties still remains suitable for mechanical processing and commercial application.