



## VPLIV TERMIČNE MODIFIKACIJE NA OBDELOVALNE LASTNOSTI BUKOVINE

## THE INFLUENCE OF THERMAL MODIFICATION ON THE MACHINING PROPERTIES OF BEECH WOOD

Miran Merhar<sup>1\*</sup>, Bogdan Šega<sup>1</sup>, Dominika Gornik Bučar<sup>1</sup>

UDK 630\*823.7:630\*842

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Prispelo / Received: 15. 4. 2019

Sprejeto / Accepted: 17. 5. 2019

## Izvleček / Abstract

**Izvleček:** V delu smo analizirali vpliv termične modifikacije na obdelovalne lastnosti bukovine, kjer smo ocenjevali kakovost obdelane površine po operaciji skobljanja, rezkanja in struženja nemodificirane in modificirane bukovine. Po obdelavi smo površine vizualno ocenili z ocenami od 1 do 5, glede na napake zatrganih, lomljenih in dvignjenih vlaken ter podali povprečno oceno za vsako vrsto operacije kot tudi odstotek preizkušancev z različno vrednostjo podane ocene. Ugotovili smo, da je povprečna ocena termično modificirane bukovine pri skobljanju boljša v primerjavi z nemodificirano bukovino, vendar pa ANOVA analiza ni potrdila statistično značilnih razlik. Ravno tako ni statistične razlike pri rezkanju, medtem ko je pri struženju vpliv modifikacije statistično značilen, saj je kakovost površine termično modificirane bukovine bistveno boljša. Iz opravljene analize lahko sklepamo, da ima termična modifikacija pozitiven vpliv na kakovost obdelane površine bukovine.

**Ključne besede:** termična modifikacija, bukev, skobljanje, rezkanje, struženje, kakovost površine

**Abstract:** The work analyses the influence of thermal modification on the machining properties of beech wood, where the quality of the surface is evaluated after the operation of planing, routing and turning of unmodified and modified beech. After machining, the surface is visually assessed with grades from 1 to 5, with respect to defects of raised, fuzzy and torn grain. As a result an average grade for each type of operation is given, as well as the percentage of each grade. It has been found out that the average grades of thermally modified beech wood in planing were better compared to unmodified beech, but ANOVA analysis did not confirm differences between them. There was also no difference in routing, while in turning the influence of modification was significant, since the surface quality of the thermally modified beech was significantly better compared to that of unmodified beech. From the analysis it can be concluded that thermal modification has a positive effect on the quality of the machined surface.

**Keywords:** thermal modification, beech wood, planing, routing, turning, surface quality

## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

Navadna bukev (*Fagus sylvatica* L.) kljub zapostavljenosti v preteklosti danes spada med najpomembnejše drevesne vrste v gozdovih zmerno celinskega pasu v Evropi, v Sloveniji pa predstavlja z 32,4 % deležem največji delež v lesni zalogi (Poročilo ..., 2018). Bukovina je kakovosten les, ki ga je mogoče široko uporabljati in iz njega napraviti pester nabor izdelkov (Čufar et al., 2012). Cenjena je zaradi njene homogene anatomske zgradbe, dobrih elasto-mehanskih in tehnoloških lastnosti ter značilne

barve in enakomerne teksture. Bukovina je praktično uporabna za vse vrste izdelkov, njeno slabšo odpornost v primeru izpostavitve vlagi pa lahko izboljšamo z zaščito, saj se dobro impregnira.

Kljub veliki razpoložljivi količini, dobrim lastnostim, veliki uporabnosti in ugodnim razmerjem med kakovostjo in ceno je v zadnjih letih v Sloveniji in Evropi opazen velik upad rabe bukovine v žagarski in furnirski industriji (Čufar et al., 2017), narašča pa njena poraba za energetske namene, ki zavzema vse večji delež (Piškur & Krajnc, 2012; Piškur et al., 2014; Prislan et al., 2015). Glede na to so nujna prizadevanja za večjo izkoriščanje bukovega lesa za izdelke z visoko dodano vrednostjo (Kropivšek & Čufar, 2015; Kropivšek & Gornik Bučar 2016), za kar se običajno uporablja les višje kakovosti. Določen poten-

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, SLO

\* e-pošta: [miran.merhar@bf.uni-lj.si](mailto:miran.merhar@bf.uni-lj.si); telefon: 01-320-3629

cial zagotovo predstavlja tudi manj kakovosten les, ki omogoča inovativno rabo v novih materialih (npr. nanofibrilirana in nanokristalinična celuloza, papir, tekstil ...), kemikalijah in naprednih gorivih kot sta bioetanol in biometanol (Zule et al., 2017), kot tudi na področju gradbeništva (Hapla & Militz, 2008).

Za nosilne konstrukcijske namene se bukovina uporablja v veliko manjšem obsegu, predvsem zaradi omejene odpornosti, z inovativnimi konstrukcijskimi rešitvami pa postaja to področje rabe bukovine tudi tržno vedno bolj zanimivo (Gornik Bučar et al., 2017). Odpornost bukovine kot tudi dimenzijsko stabilnost lahko bistveno izboljšamo s termično modifikacijo (TM) lesa (Militz, 2002; Boonstra et al., 2007; Esteves & Pereira, 2009).

Obstajajo različni postopki termične modifikacije, ki se izvajajo v temperaturnem območju med 160 °C in 240 °C in v klimi z zmanjšano vsebnostjo kisika (Sandberg et al., 2013). Termična modifikacija lesa vpliva na gradnike lesa (hemicelulozo, celulozo, lignin, ekstraktive ...) in posledično na fizikalne, mehanske, vizualne (barva) in obdelovalne lastnosti lesa (Johansson, 2005; Boroukva et al., 2016). Že nekoliko starejša literatura navaja, da termično modificiran les izkazuje večjo dimenzijsko stabilnost in odpornost, vendar tudi slabšo upogibno trdnost in udarno žilavost (Stamm et al., 1955). Zaradi spremenjenih gradnikov lesa se spremenijo tudi nekatere lastnosti, ki vplivajo na kakovost lepljenja modificiranega lesa. Površina lesa je hidrofobna, kar poslabša omočitev z lepilom, ravnovesna vlažnost je nižja, kar predstavlja problem pri lepljenju s poliuretanskimi lepili, toplotna prevodnost je slabša, kar otežuje segrevanje lepilnega spoja pri toplem stiskanju, zniža se tudi pH lesa (Fašalek, 2017).

Glede na značilne kemijske in strukturne spremembe termično modificiranega lesa, vedenje in informacije o obdelovalnih lastnostih nemodificiranega lesa ne moremo prezrcaliti na modificirano surovino, raziskave o mehanski obdelavi (skobljanje, vrtanje, rezkanje, struženje) modificiranega lesa pa so relativno redke (Sandak et al., 2017). Rezultati ene temeljitejših raziskav o vplivu parjenja na fizikalne in obdelovalne lastnosti bukovine kažejo, da ni statistično značilnih razlik v kakovosti obdelave parjene in neparjene bukovine (Gorišek, 1987), hkrati pa navajajo, da je pri mehanski obdelavi parjene bukovine opazno hitrejše krhanje orodja. Omenjena raziskava je potekala pri dveh različnih temperaturah parjenja

in sicer 100 °C in 130 °C in je trajala 2, 4 in 6 ur, kar se precej razlikuje od pogojev termične modifikacije naše raziskave.

Namen raziskave je tako preučiti vpliv termične modifikacije na kakovost obdelanih površin bukovine pri osnovnih mehanskih lesnoobdelovalnih operacijah skobljanja, rezkanja in struženja. Informacije o kakovosti obdelanih površin modificirane bukovine omogočajo večjo rabo termično modificirane bukovine in omogočajo lažjo izbiro ustreznega načina obdelave oz. izbiro ustreznega izdelka iz termično modificirane bukovine.

## 2 MATERIAL IN METODE

### 2 MATERIAL AND METHODS

Iz tehnično osušenega žaganega lesa bukve smo izbrali 40 desk, ki smo jih razdelili na dve skupini. Polovico desk smo termično obdelali po postopku Silvapuro Wood podjetja Silvaproduct. Les je bil med postopkom modifikacije 3 ure izpostavljen temperaturi 212 °C. Po končani modifikaciji smo ga en mesec kondicionirali pri 20 °C in relativni zračni vlažnosti 65 %, da je zopet vzpostavil ravnovesno vlažnost in so se sprostile morebitne notranje napetosti, nastale pri termični modifikaciji. Hkrati smo pri enakih pogojih kondicionirali tudi drugo polovico bukovine.

Po kondicioniranju smo iz 20 desk nemodificirane in iz 20 desk termično modificirane bukovine dimenzij 1300 mm x 135 mm x 25 mm naredili po en preizkušanelec za teste skobljanja in rezkanja ter dva za struženje. Teste obdelave smo izvedli skladno s standardom ASTM D1666-17. Ko smo vzorce obdelali, smo ocenili kakovost površine z ocenami od 1 do 5, kjer pomenijo ocene: 1 - odlično, 2 - zelo dobro, 3 - dobro, 4 - slabo in 5 - zelo slabo, ter podali povprečno oceno za vsako vrsto operacije ter tudi odstotek preizkušancev z različno vrednostjo podane ocene.

Odvisnost kakovosti obdelane površine od tehnoloških parametrov ter med posameznimi operacijami obdelave smo preverili z ANOVA analizo s programom SPSS, kjer smo za stopnjo značilnosti ( $p$  - vrednost) vzeli 5 %. V primeru, da odvisnosti med posameznimi vrednostmi ni bilo možno določiti z osnovno ANOVA analizo, smo naredili še dodatno LSD (Least significant difference) statistično analizo.

## 2.1 SKOBLJANJE

### 2.1 PLANING

Preizkušanci za skobljanje so imeli dimenzije 900 mm x 102 mm x 19 mm. Skobljali smo na debelinskem skobeljnem stroju, ki je imel 4 sveže nabrušena HSS rezila. Prsni kot rezil je znašal 30°, vrtilna hitrost 4500 vrt/min, podajalne hitrosti 5, 8, 12 in 18 m/min, debelina odvzema pa je bila 1,6 mm. Polovico preizkušancev smo poskobljali proti rasti, polovico pa z rastjo lesnega tkiva. Ker so bila rezila na vretenu vpeta na klasičen način s šablono, ni bilo možno zagotoviti, da bi bila vsa rezila na isti rezalni krožnici. Tako je imelo eno rezilo za 0,01 mm večjo rezalno krožnico od ostalih, kar pomeni, da je bila površina enaka, kot če bi skobljali samo z enim rezilom. Ustrežno temu so bila podajanja na zob oz. dolžine valov večje in so pri omenjenih podajalnih hitrostih znašale 1,1; 1,8; 2,7 in 4 mm. Poskobljano površino smo vizualno ocenili glede na dvignjena vlakna, lomljena vlakna, zatrganine (slika 1) in sledove odrezkov. Iz dobljenih ocen smo nato izračunali povprečno oceno za vsak posamezen preizkušanec ter podali odstotek preizkušancev, ki so imeli ocene 1, oz. površino brez napak.

## 2.2 REZKANJE

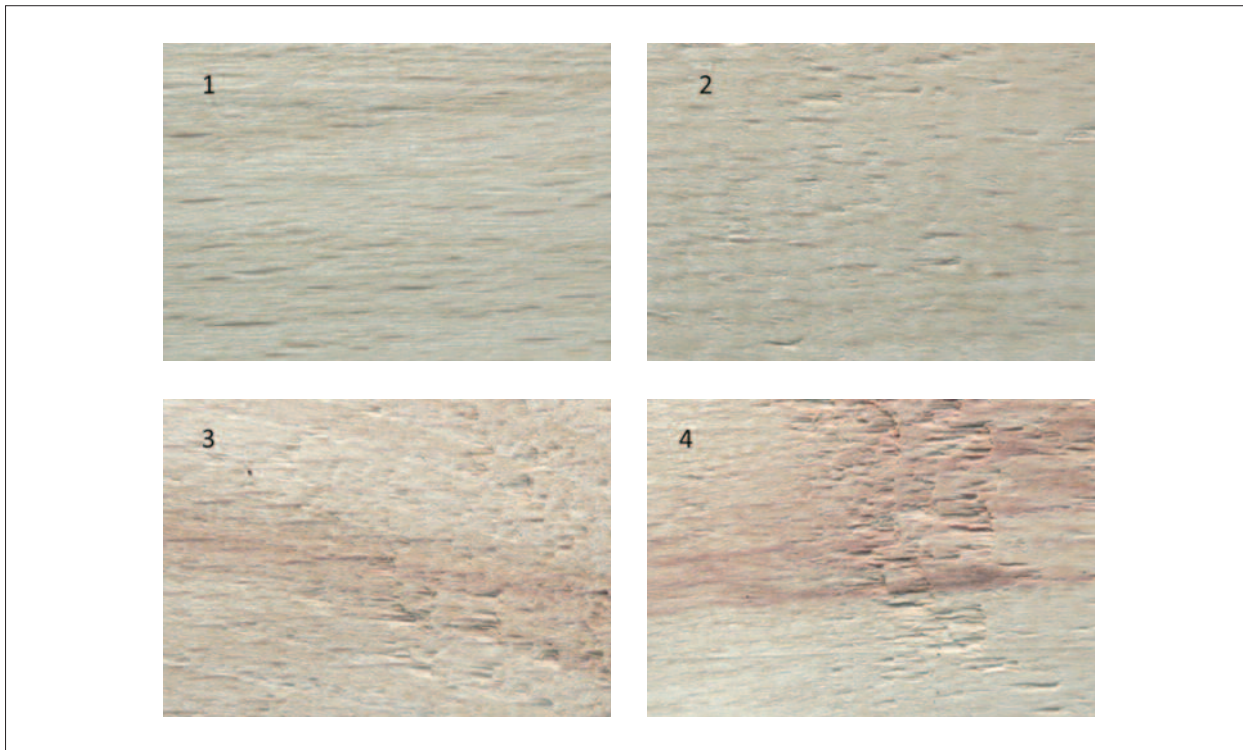
### 2.2 ROUTING

Preizkušanci za rezkanje so imeli dimenzije 305 mm x 76 mm x 19 mm. Rezkali smo na CNC rezkalnem stroju z rezkalno glavo, ki je imela 2 rezili iz karbidne trdnine (slika 2). Vrtilna hitrost rezkalne glave je znašala 6500 vrt/min, podajalna hitrost pa 2 m/min.



Slika 2. Rezkalna glava z 2 reziloma iz karbidne trdnine

Figure 2. Milling head with two tungsten carbide teeth



Slika 1. Kakovost površine po skobljanju – zatrganine: Ocene 1 do 4

Figure 1. Planing surface quality – torn grain: Grades 1 to 4



Slika 3. Preizkušavec za test rezkanja, a – nemodificirana bukovina, b – modificirana bukovina

Figure 3. Specimen for routing test, a – unmodified beech, b – modified beech wood

Najprej smo izvedli prvo grobo rezkanje preizkušanca. Temu je sledilo drugo grobo rezkanje, kjer smo dobili končno obliko z nadmero 1,6 mm na vsaki strani (slika 3). S tem smo odstranili tudi napake, kot so zatrganine, ki so nastale pri prvem grobem rezkanju. Končno je sledilo fino rezkanje, kjer je bila globina odvzema 1,6 mm. Rezkan rob smo ocenili glede na dvignjena vlakna, lomljena vlakna in zatrganine. Oceno smo podali za vzdolžno in prečno površino vzorca ter podali odstotek preizkušancev, ki so imeli ocene 1 in 2, kot navaja standard ASTM D1666-17.

## 2.3 STRUŽENJE

### 2.3 TURNING

Za struženje smo iz deske naredili po dva preizkušanca dimenzij 127 mm x 19 mm x 19 mm. Preizkušavec je imel vrtilno hitrost 3200 vrt/min, podajalna hitrost rezila pa je bila 120 mm/min. Stružili smo v dveh stopnjah, najprej grobo struženje, nato pa še fino, kjer je bila globina odvzema 2 mm.

Površino preizkušanca (slika 4) smo ocenili glede na lomljena vlakna, zatrganine in gladkost površine na treh lokacijah, A, B in C. Omenjene lokacije smo izbrali na podlagi kakovosti površine, saj je bila kakovost površine na lokacijah B in C v primerjavi z A in ostalimi površinami najslabša. Iz ocen na vseh lokacijah smo nato izračunali povprečno vrednost za vsak preizkušavec posebej ter podali odstotek preizkušancev, ki so imeli ocene od 1 do 3, skladno s standardom ASTM D1666-17.

## 3 REZULTATI IN DISKUSIJA

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

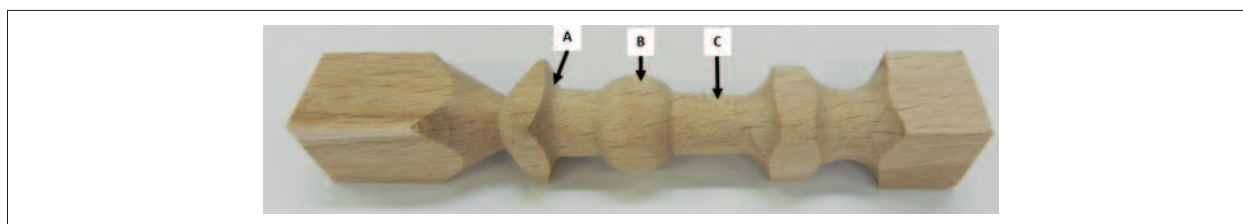
#### 3.1 SKOBLJANJE

##### 3.1 PLANING

Povprečna ocena kakovosti površine pri skobljanju nemodificirane bukovine je bila v razponu od 1,1 pri najnižji podajalni hitrosti 5 m/min do 1,5 pri najvišji podajalni hitrosti 18 m/min, medtem ko je bila pri modificirani bukovini ocena konstantna pri vseh podajalnih hitrostih in je znašala 1,1 (slika 5). Nizke vrednosti kažejo, da se tako nemodificirana kot tudi modificirana bukovina odlično skobljata. Iz slike je razvidno, da se ocene in s tem kakovost slabša z večanjem podajalne hitrosti pri obeh skupinah preizkušancev, le pri nemodificirani bukovini je odvisnost bolj izrazita.

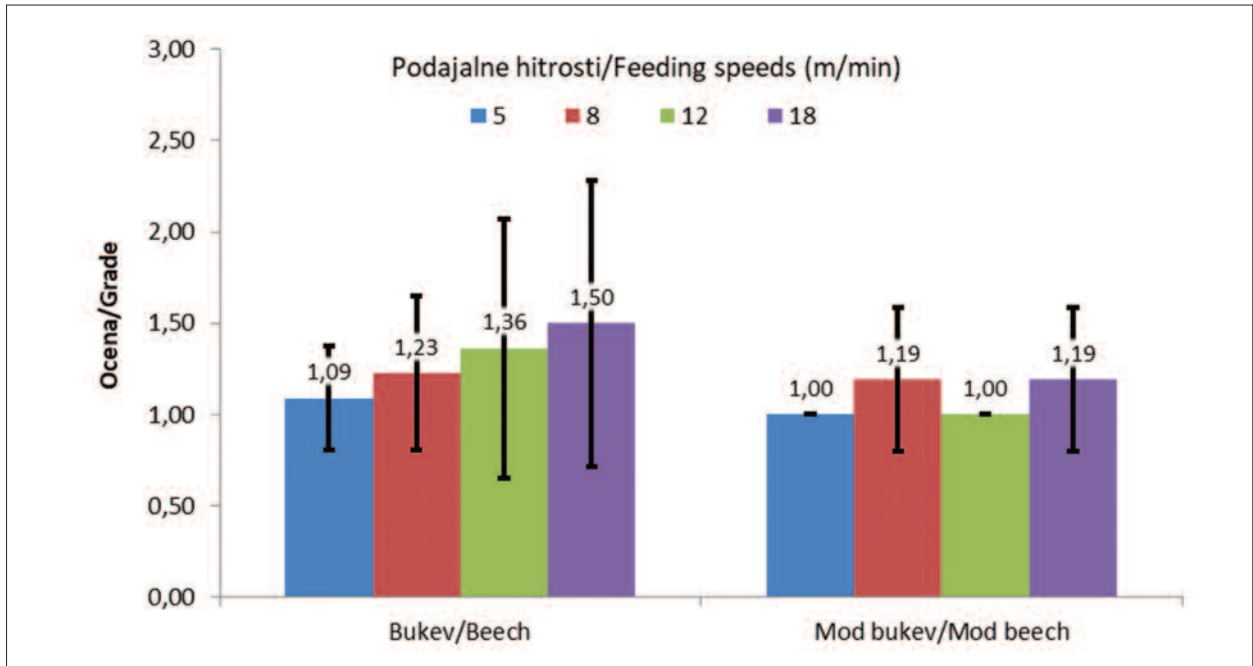
Odvisnost kakovosti obdelane površine od podajalne hitrosti, ki smo jo preverili z ANOVA analizo, prikazuje preglednica 1. Na podlagi  $p$ -vrednosti, kjer smo za mejo vzeli 5 %, je razvidno, da je odvisnost statistično značilna samo pri modificirani bukovini, medtem ko pri nemodificirani bukovini odvisnost ni statistično značilna.

Iz opravljene analize pa ne moremo določiti, ali morda obstaja statistično značilna razlika ocen med



Slika 4. Preizkušavec struženja ter mesta ocenjevanja kakovosti obdelave: A – stranska ravnina, B – zaobljena ravnina in C – ravna površina

Figure 4. Specimen for turning test with locations A, B and C for assessment of the quality of turning



Slika 5. Primerjava kakovosti skobljane površine nemodificirane in modificirane bukovine pri različnih podajalnih hitrostih s standardnim odklonom

Figure 5. Comparison of the quality of the planed surface of unmodified and modified beech wood at different feeding speeds together with the standard deviation

Preglednica 1. Odvisnost kakovosti skobljanja od podajalne hitrosti izražena s p – vrednostjo

Table 1. The quality of planing depended of feeding speed expressed with the p - value

Bukev / Beech	Mod. bukev / Modified beech
0,14	0,03

Preglednica 2. Statistična razlika ocene kakovosti skobljanja med posameznimi podajalnimi hitrostmi, izražena s p – vrednostjo za nemodificirano bukovino.

Table 2. The statistical difference of the planing surface grades between the individual feeding speeds expressed by the p - value of the ANOVA analysis for unmodified beech wood.

Podajalna hitrost / Feeding speed (m/min)	8	12	18
5	0,45	0,14	0,03
8		0,45	0,14
12			0,45

posameznimi podajalnimi hitrostmi. Zato smo naredili dodatno analizo z LSD metodo (preglednici 2 in 3).

Iz preglednice 2 je razvidno, da se ocene kakovosti površine pri nemodificirani bukovini statistično značilno razlikujejo samo med podajalno hitrostjo 5 in 18 m/min, medtem ko se ocene med ostalimi podajalnimi hitrostmi ne razlikujejo. Iz tega lahko sklepamo, da se bukovina enako dobro skoblja pri podajalnih hitrostih 5, 8 in 12 m/min, slabša ocena in

Preglednica 3. Statistična ocena kakovosti skobljanja med posameznimi podajalnimi hitrostmi izražena s p – vrednostjo za modificirano bukovino.

Table 3. The statistical difference of the planing surface grades between the individual feeding speeds expressed by the p - value for modified beech wood.

Podajalna hitrost / Feeding speed (m/min)	8	12	18
5	0,03	1,00	0,03
8		0,03	1,00
12			0,03

s tem kakovost pa se pojavi šele pri podajalni hitrosti 18 m/min. Rahlo drugačna je situacija pri modificirani bukovini, kjer lahko ugotovimo na podlagi rezultatov (preglednica 3), da se ocene statistično značilno razlikujejo povsod, razen med podajalnima hitrostma 5 in 12 m/min ter 8 in 18 m/min. Vendar pa moramo biti pri zadnji ugotovitvi previdni, saj je standardni odklon pri podajalni hitrosti 5 in 12 m/min enak 0, kar vpliva na ANOVA analizo.

*Preglednica 4. Statistična razlika ocene kakovosti skobljanja pri različnih podajalnih hitrostih med nemodificirano in modificirano bukovino, izražena s p – vrednostjo*

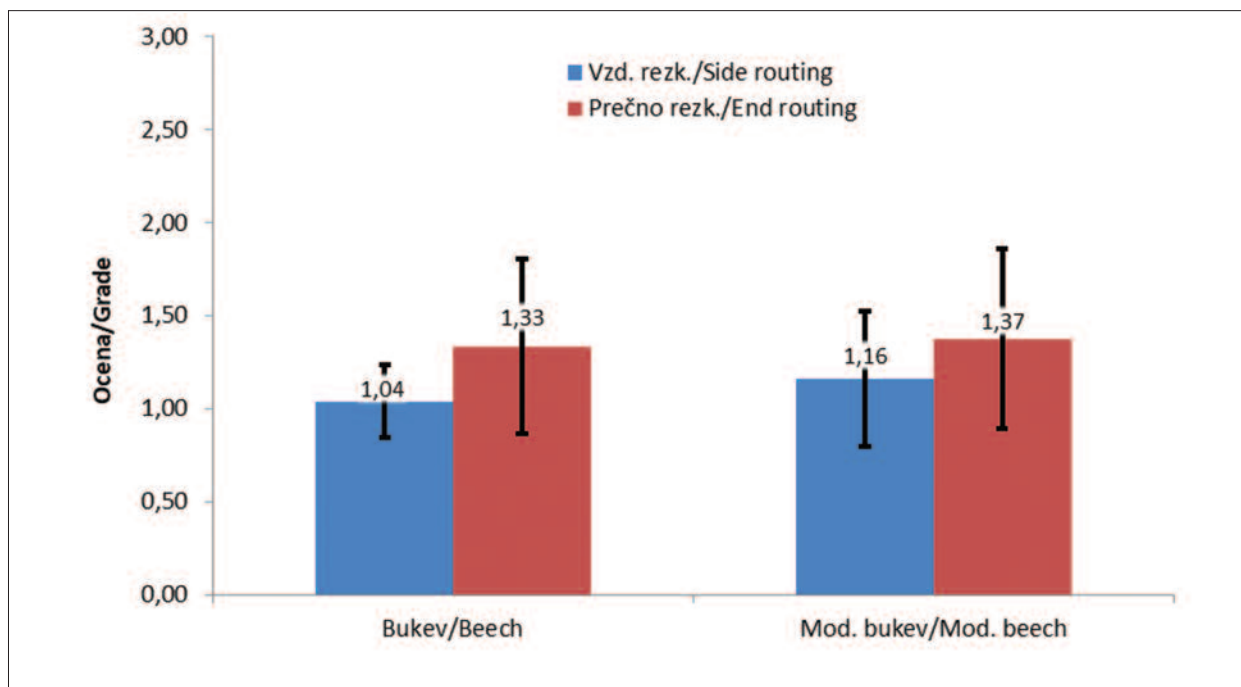
*Table 4. The statistical difference of the planing surface grades at different feeding speeds between unmodified and modified beech expressed by the p - value*

Pod. hitrost / Feeding speed (m/min)	p - vrednost / p -value
5	0,57
18	0,20

Z ANOVA analizo smo preverili tudi, ali se vrednosti pri najmanjši in največji podajalni hitrosti med nemodificirano in modificirano bukovino razlikujejo. Rezultati analize so prikazani v preglednici 4, iz katere je razvidno, da se pri obeh podajalnih hitrostih ocene med nemodificirano in modificirano bukovino ne razlikujejo, kar pomeni, da lahko z verjetnostjo 95 % trdimo, da se nemodificirana in modificirana bukovina enako dobro skobljata, tako pri najnižji kot tudi pri najvišjih podajalnih hitrostih.

### 3.2 REZKANJE 3.2 ROUTING

Rezultati ocen kakovosti površin pri rezkanju (slika 6) so pokazali, da so povprečne vrednosti pri vzdolžnem rezkanju nižje in s tem dobljena boljša kakovost od prečnega rezkanja, tako pri nemodificirani kot pri modificirani bukovini. Z ANOVA analizo smo preverili, ali se vrednosti tudi signifikantno razlikujejo. Rezultati analize (preglednica 5) kažejo, da se vrednosti vzdolžnega rezkanja razlikujejo od prečnega samo pri modificirani bukovini, medtem ko pri nemodificirani bukovini razlike niso značilne.



*Slika 6. Povprečne vrednosti in standardni odklon ocene površine rezkanja nemodificirane in modificirane bukovine*

*Figure 6. Average grades and standard deviations of the evaluated surfaces after routing of unmodified and modified beech wood*

*Preglednica 5. Statistična razlika ocene kakovosti rezkanja v vzdolžni in prečni smeri, izražena s p – vrednostjo*

*Table 5. The statistical difference of the routing surface grades between side and end grain routing expressed by the p – value*

Bukev / Beech	Mod. bukev / Modified beech
1,00	0,03

Iz ocene za vzdolžno in prečno rezkanje za posamezen preizkušaneec smo izračunali povprečno vrednost ter nato z ANOVA analizo preverili, ali se vrednosti med nemodificirano in modificirano bukovino signifikantno razlikujejo. Analiza je pokazala, da se vrednosti med seboj ne razlikujejo značilno, kar pomeni podobno kot pri skobljanju, da se nemodificirana in modificirana bukovina enako kakovostno reza.

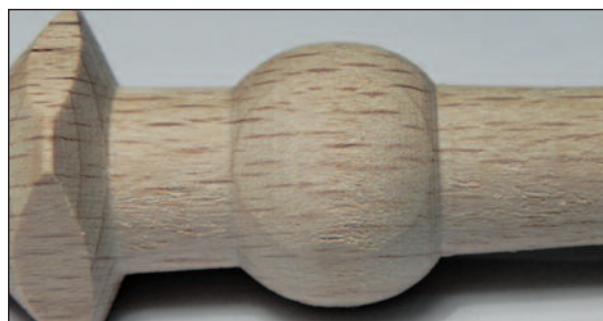
### 3.3 STRUŽENJE

#### 3.3 TURNING

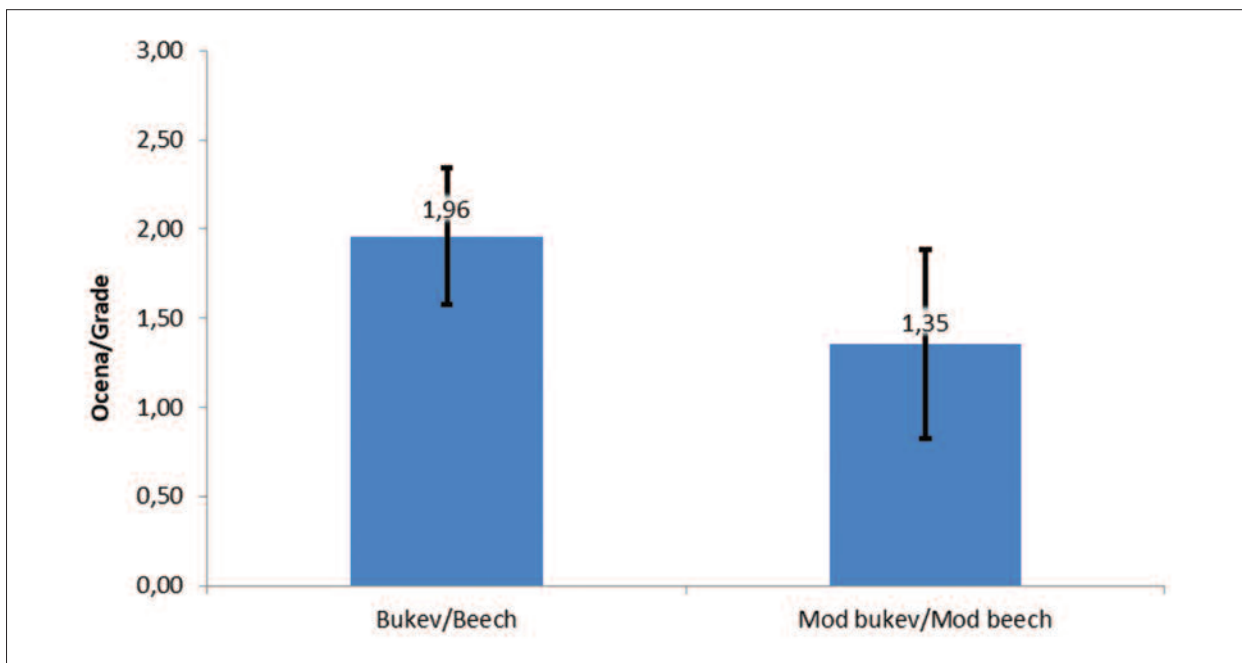
Povprečna vrednost ocen struženja, določenih na površinah A, B in C znaša za nemodificirano bu-

kovino 1,96, za modificirano pa 1,35 (slika 7), kar pomeni, da se modificirana bukovina bolje struži od nemodificirane. Ali so razlike značilne, smo zopet preverili z ANOVA analizo, ki je pokazala, da je p – vrednost 0,05, kar pomeni, da se vrednosti med seboj signifikantno razlikujejo, za razliko od skobljanja in rezkanja, kjer razlik nismo potrdili.

Na sliki 8 je prikazana stružena površina bukovine. Iz slike je razvidna visoka kakovost površine na mestu A, ter malo manj kakovostna površina na mestih B in C, ocenjena z oceno 2, kjer so prisotne manjše zatrganine.



*Slika 8. Ocena 2 na površini struženega vzorca*  
*Figure 8. Grade 2 on surface after turning*



*Slika 7. Skupne povprečne vrednosti ocen površin A, B in C ter standardni odklon za struženje nemodificirane in modificirane bukovine*

*Figure 7. Average grades and standard deviations of evaluated surfaces A, B and C after turning of natural and modified beech wood*

### 3.4 SKUPNE POVPREČNE OCENE IN NORMIRANI REZULTATI

#### 3.4 TOTAL AVERAGE GRADES AND BASE COMPARISON

V preglednicah 6 in 7 so prikazani odstotki preizkušancev s posameznimi ocenami kakovosti površin po skobljanju, struženju in rezkanju za nemodificirano

in termično modificirano bukovino, na sliki 9 pa skupne povprečne ocene kakovosti površin za posamezne obdelovalne postopke za obe vrsti preizkušancev. Iz obeh preglednic je razvidno, da sta naravna in modificirana bukovina glede na ocene 1 in 2 za rezkanje in ocene 1 do 3 za struženje (preglednici 6 in 7) zelo primerni tako za rezkanje kot za struženje, saj

Preglednica 6. Odstotek preizkušancev z ocenami 1, 2 ali 3 za nemodificirano bukovino

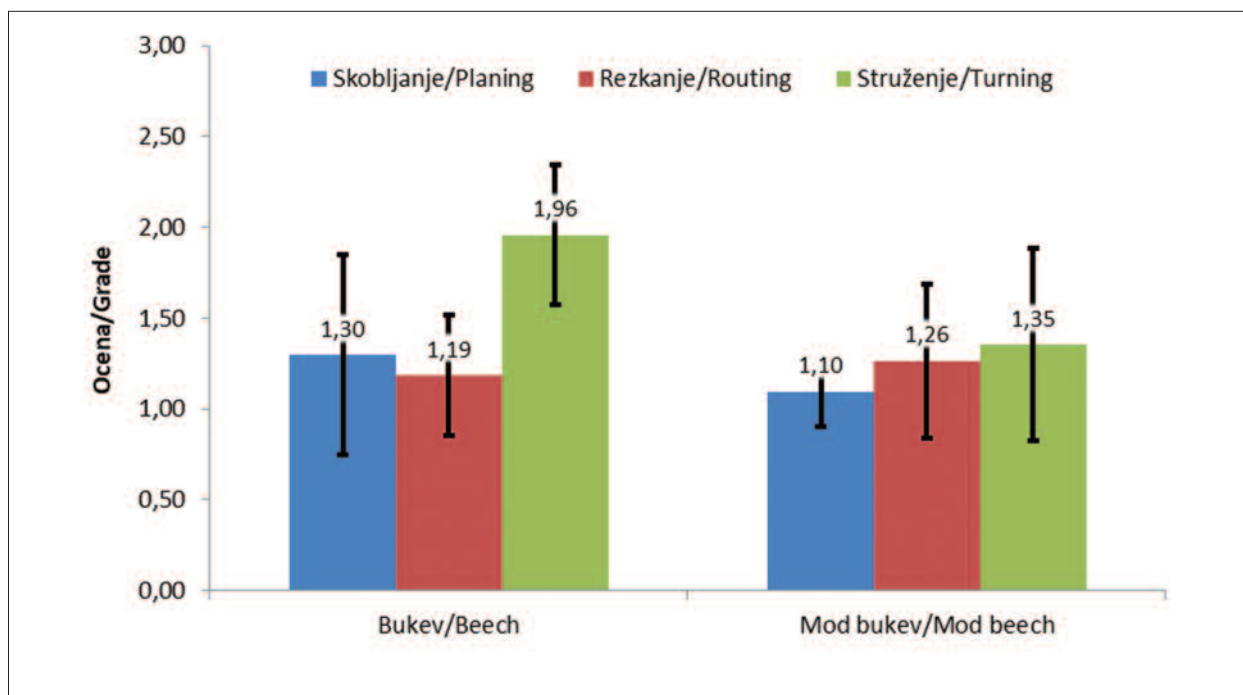
Table 6. Base comparison on percentage of grades No. 1, 2 or 3 for specimens of unmodified beech wood

Bukev / Beech			
Skobljanje / Planing		Rezkanje / Routing	Struženje / Turning
Pod. hitrost / Feeding speed (m/min)	Brez napak / Defect free (%)	Zelo dobro do odlično / Good to excellent (%)	Dobro do odlično / Fair to excellent (%)
5	70	100	100
8	55		
12	55		
18	55		

Preglednica 7. Odstotek preizkušancev z ocenami 1, 2 ali 3 za modificirano bukovino

Table 7. Base comparison on percentage of grades No. 1, 2 or 3 for specimens of modified beech wood

Modificirana bukev / Modified beech			
Skobljanje / Planing		Skobljanje / Planing	Skobljanje / Planing
Pod. hitrost / Feeding speed (m/min)	Brez napak / Defect free (%)	Zelo dobro do odlično / Good to excellent (%)	Dobro do odlično / Fair to excellent (%)
5	100	100	100
8	65		
12	90		
18	65		



Slika 9. Skupne povprečne vrednosti in standardni odklon za vse obdelovalne operacije  
Figure 9. Average grades with standard deviations for all machining operations



imata obe skupini vse preizkušance v opisanem območju ocen. Vendar pa lahko iz slike 9 opazimo, kot je bilo omenjeno že v predhodni razpravi, da so povprečne ocene pri modificirani bukovini nižje kot pri nemodificirani bukovini, kar posledično pomeni boljše površino, tako pri struženju kot pri skobljanju. Ravno tako je pri skobljanju odstotek preizkušancev brez napak pri modificirani bukovini večji kot pa pri nemodificirani bukovini (preglednici 6 in 7).

#### **4 ZAKLJUČEK**

#### **4 CONCLUSION**

Raziskali smo vpliv termične modifikacije na osnovne obdelovalne lastnosti bukovine. Iz povprečnih vrednosti lahko sklepamo, da termična modifikacija pozitivno vpliva na vse obdelovalne lastnosti, vendar pa ANOVA analiza kaže, da termična modifikacija bukovine samo pri določenih operacijah statistično značilno vpliva na kakovost obdelane površine, medtem ko pri večini obdelav razlike med kakovostmi površin nemodificirane in termično modificirane bukovine niso statistično značilne. Poudariti pa je potrebno, da se že nemodificirana bukovina zelo dobro oz. odlično obdeluje, skoblja in rezka, struži pa se zelo dobro. Po termični modifikaciji pa se bukovina tudi struži odlično. Iz slednjega lahko sklepamo, da termična modifikacija na splošno pozitivno vpliva na obdelovalne lastnosti, še zlasti v primeru bolj problematičnih obdelav. Razlike so manjše pri skobljanju in rezkanju, saj se tudi nemodificirana bukovina pri omenjenih operacijah odlično obdeluje.

#### **5 POVZETEK**

#### **5 SUMMARY**

The work carried out determined the influence of thermal modification on the machining properties of beech. The beech for this experiment was thermally modified for 3 hours at 212°C. In accordance with the ASTM D 1666-17 standard, 20 samples of natural and 20 samples of thermally modified beech wood were prepared. From each sample smaller samples for planing, routing and turning were prepared. After machining operation a visual examination of surface quality was made, as evaluated on the basis of five grades or groups as follows: Grade 1 – excellent; Grade 2 – good; Grade 3 – fair; Grade 4 – poor and Grade 5 – very poor.

Planing was done on the thicknessing machine, using four freshly sharpened HSS knives with the rake angle of 30° and revolution speed of 4500 rpm, where the feeding speeds amounted to 5, 8, 12 and 18 m/min and the thickness of the cut amounted to 1.6 mm. Half of the specimens was fed into the machine with the grain and half against the grain. After planing visual examinations for raised, fuzzy and torn grain were made. Base comparison of planing properties on the percentage of defect-free pieces was made, and the average grade for each specimen was calculated.

Routing was done with a CNC machine, where the spindle speed and feeding speed of the CNC router amounted to 6500 rpm and 2 m/min, respectively, and the milling head had two tungsten carbide knives. The side and end grain surfaces were graded for raised, fuzzy, and chipped grain and roughness of end grain after routing. A comparison of routing properties based on percentage of specimens graded 1 and 2 was made, and the average grade for each specimen calculated.

The turning was made on the lathe where the rotational speed of the specimens and feed rate of the blade were 3200 rpm and 120 mm/min, respectively. The specimens were evaluated for fuzzy grain, roughness and torn grain, and the average value of grades was calculated. Comparison of turning properties based on percentage of grades 1, 2 and 3 was made, and the average grade for each specimen calculated.

The results of the planing showed that the average grade increases with increasing feed rate in unmodified beech, and ranges from 1.09 at the feeding speed of 5 m/min to 1.5 at the feeding speed of 18 m/min, while the modified beech wood obtained more or less constant grades between 1.00 and 1.19. The influence of the feeding speed on the grades was verified with ANOVA analysis, which did not confirm any statistically significant influence of the feeding speed on the surface quality. The ANOVA test between the grades at different feeding speeds showed that the values of the grades significantly differed only between the feeding speeds of 5 and 18 m/min, while the ANOVA analysis did not show any significant differences among the other feeding speeds for the planing of unmodified beech.

In routing, it was found that there are no differences in surface quality between natural and mo-

dified beech wood, both for side and end grain routing, where the average values for side and end grain routing for natural and modified beech amounted to 1.04, 1.33, 1.16 and 1.37, respectively.

In turning it was found that the modification has a positive effect on the quality of the surface, which was also confirmed with ANOVA analysis. Thus, the average grade value of unmodified and modified beech wood amounted to 1.96 and 1.35, respectively.

In addition to average grades, the results were also given as percentages of samples with a certain grade value. The percentage of routed samples with a good to excellent grade as well as turning samples with fair to excellent grade amounted to 100%, while for planing the percentage of defect free samples ranged from 55 to 70% for unmodified beech and from 65 to 100% for modified beech.

It can be concluded that thermal modification generally has a positive effect on the machining properties of beech wood, especially with regard to turning. In the case of modified and unmodified beech the differences are not great, as beech without modification can be machined very well.

## ZAHVALA

### ACKNOWLEDGEMENTS

Prispevek smo pripravili v okviru raziskav programskih skupin P4-0015 in P2-0182, ki ju financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, ARRS.

## LITERATURA IN VIRI

### LITERATURE

Boonstra, M. J., Van Acker, J., Tjeerdsma, B., & Kegel, E. (2007). Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents. *Ann. Forest Sci*, 64, 679–690.

Čufar, K., Gorišek, Ž., Merela, M., & Pohleven, F. (2012). Lastnosti bukovega lesa, predelava, problematika in raba v arhitekturi. V: *Bukovi gozdovi v Sloveniji : ekologija in gospodarjenje*. Bončina A. (ur.). Ljubljana, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta, 445–458.

Čufar, K., Gorišek, Ž., Merela, M., Kropivšek, J., Gornik Bučar, D., & Straže, A. (2017). Lastnosti bukovine in njena raba. *Les/Wood*, 66, 1, 27–39.

Esteves, B. M., & Pereira, H. M. (2009). Wood modification by heat treatment: A Review, *Bioresources*, 4, 1, 370–404.

Fašalek, A. (2017). Lastnosti lepilnih spojev lameliranega lesa iz termično modificirane bukovine. Dipl. delo. Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za lesarstvo.

Gorišek, Ž. (1987). Vpliv parjenja na fizikalne in obdelavnostne lastnosti bukovine (*Fagus silvatica* L.). Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani.

Gorišek, Ž., Plavčak, D., Gornik Bučar, D., Merela, M., Čufar, K., & Straže, A. (2017). Fizikalne in mehanske lastnosti svežega in osušenega lesa v bukovih deblih, izruvanih med žledolomom. *Acta Silvae et Ligni*, 112, 7–20.

Gornik Bučar, D., Olenik, M., & Merhar, M. (2017). The new generation of beech veneer based structural elements. *International Conference on Innovative Technologies, IN-TECH 2017, Proceedings*, Ljubljana 11-13.9.2017, p. 205–208.

Hapla, F., & Militz, H. (2008). Ververtung und Verwendung von Buchenholz. In: *Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt – Band 3: Ergebnisse angewandter Forschung zur Buche*. Universitätsdrucke Göttingen: 312-325.

Johansson, D. (2005). Strength and Colour Response of Solid Wood to Heat Treatment. Ph dissertation. Luleå University of Technology.

Kropivšek, J., & Gornik Bučar, D. (2017). Dodana vrednost v izdelkih v gozdno-lesni verigi – Primer: primarna predelava bukovine. *Les/Wood*, 66, 1, 61–72.

Militz, H. (2002). Thermal treatment of wood: European processes and their background. In: *Proceedings of Conference on “Enhancing the durability of lumber and engineered wood products” February 11-13, 2002, Kissimmee, Orlando*. Forest Products Society, Madison.

Piškur, M., & Krajnc, N. (2012). Tokovi in rabe okroglega bukovega lesa. In: *Bukovi gozdovi v Sloveniji : ekologija in gospodarjenje*. Ljubljana: Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta, 459–469.

Prislan, P., Piškur, M., & Gornik Bučar, D. (2015). Stanje žagarske industrije v Sloveniji 2013/2014. *Gozdarski vestnik*, 73, 442–453.

Sandak, J., Goli G., Cetera, P., Sandak, A., & Cavalli, A. Todaro (2017). Machinability of Minor Wooden Species before and after Modification with Thermo-Vacuum Technology. *Materials*, 10, 121.

Sandberg, D., Haller, P., & Navi, P. (2013). Thermo-hydro and thermo-hydro-mechanical wood processing: An opportunity for future environmentally friendly wood products. *Wood Material Science and Engineering*, 8, 1, 64–88.

Stamm, A., Burr, H., & Kline, A. (1955). Heat stabilized wood. *Forest products laboratory Madison, Wisconsin*, 18 p.

Zule, J., Gornik Bučar, D., & Kropivšek, J. (2017). Inovativna raba bukovine slabše kakovosti in ostankov. *Les/Wood*, 66, 1, 41–51.

Zavod za gozdove Slovenije (2018). Poročilo Zavoda za gozdove Slovenije o gozdovih za leto 2017. URL: [http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/PDF/LETNA\\_POROCILA/2017\\_Porocilo\\_o\\_gozdovih.PDF](http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/PDF/LETNA_POROCILA/2017_Porocilo_o_gozdovih.PDF) [mar. 2019]