

# Usporedba fizikalnih svojstava neobrađene i toplinski obrađene bukovine i grabovine

## Comparison of Physical Properties of Untreated and Heat Treated Beech and Hornbeam

### Prethodno priopćenje • Preliminary paper

Prispjelo – received: 14. 6. 2011.

Prihvaćeno – accepted: 22. 11. 2011.

UDK: 630\*812.23; 630\*812.3; 630\*812.463

doi:10.5552/drind.2011.1118

**SAŽETAK** • Istraživanjem fizikalnih svojstava toplinski obrađene bukovine i grabovine utvrđeno je da je njihova srednja vrijednost manja i signifikantno se razlikuje od srednjih vrijednosti fizikalnih svojstava neobrađene bukovine i grabovine. Srednja vrijednost gustoće u apsolutno suhom stanju toplinski obrađene bukovine manja je za 8,5 % od neobrađene, a za grabovinu je ona manja za 7,5 %. Smanjenje srednjih vrijednosti maksimalnih utezanja toplinski obrađene bukovine i grabovine u odnosu prema neobrađenoj još je veće. Maksimalno radijalno utezanje toplinski obrađene bukovine manje je za 7 %, maksimalno tangencijalno utezanje za 23,5 %, a maksimalno volumno utezanje za 19,3 % od istih fizikalnih svojstava neobrađene bukovine. Toplinski obrađena grabovina ima srednju vrijednost maksimalnoga radijalnog utezanja za 123 %, maksimalnoga tangencijalnog utezanja za 86 % i maksimalnoga volumnog utezanja za 99,5 % manju od istih fizikalnih svojstava neobrađene grabovine.

Takvim smanjenjem maksimalnih utezanja u radijalnome i tangencijalnom smjeru toplinskom obradom grabovina postaje znatno prihvatljivija za izradu proizvoda za koje je važna dimenzionalna stabilnost.

**Ključne riječi:** fizikalna svojstva, toplinski obrađeno drvo, bukovina, grabovina

**ABSTRACT** • The investigation of physical properties of heat treated beech wood and hornbeam wood found that their average value is lower and significantly different from average values of physical properties of untreated beech wood and hornbeam wood. The average value of density in absolutely dry condition of heat treated beech wood is smaller by 8.5% from the untreated, and the hornbeam wood is smaller by 7.5%. Reduction of average values of maximum shrinkage of heat treated beech wood and hornbeam wood is even bigger in relation to the untreated wood. Maximum radial shrinkage of heat treated beech wood is smaller by 7%, maximum tangential shrinkage by 23.5% and maximum volumetric shrinkage by 19.3% compared to the same physical properties of untreated beech wood. Heat treated hornbeam wood has an average value of maximum radial shrinkage smaller by 123%, maximum tangential shrinkage by 86% and maximum volume shrinkage by 99.5% compared to the same physical properties of untreated hornbeam wood.

With such reduction in the maximum shrinkage in radial and tangential direction using heat treatment, hornbeam becomes particularly suitable for making products where dimensional stability is important.

**Key words:** physical properties, heat treated wood, beech wood, hornbeam wood

<sup>1</sup> Autori su izvanredni profesor, izvanredni profesor i asistent Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska.

<sup>1</sup> Authors are associate professor, associate professor and assistant at Faculty of Forestry, University of Zagreb, Zagreb, Croatia.

## 1. UVOD 1 INTRODUCTION

Celuloza, hemiceluloze i lignin (Kollmann i Cote, 1968) tri su makromolekularne komponente od kojih je izgrađeno drvo. Reaktivne hidroksilne grupe u polimerima stijenki gradbenih stanica drva utječu na većinu kemijskih i fizikalnih svojstava drva. Iznosi utezanja koji utječu na stabilnost drva jedni su od njegovih bitnih fizikalnih svojstava. Toplinskom obradom drva smanjuje se utjecaj reaktivnih hidroksilnih grupa. U proteklim desetljećima mnogi su istraživači proveli istraživanja na tom području (Stamm, 1946, 1956; Stamm, 1964; Hillis, 1984; Rowell, 1983; Rowell, 1984; Kumar, 1994; Militz *et al.*, 1997). Tjeerdsma *et al.* (1998) i Kotilainen (2000) također su proučavali utjecaj temperatura viših od 180 °C na kemijska svojstva drva. Na temelju promjene kemijskih svojstava dolazi, među ostalim, do smanjenja mase i higroskopnosti drva odnosno do povećanja stabilnosti dimenzija drva (Tjeerdsma *et al.*, 1998; Kotilainen, 2000; Yildiz, 2002; Rousset *et al.*, 2004). Uz te pozitivne učinke toplinske obrade drva nastaju i negativni koji se očituju smanjenjem mehaničkih svojstava drva (Yildiz *et al.*, 2002). Veličina slabljenja mehaničkih svojstava drva ovisi o vrsti drva, maksimalnoj temperaturi i vremenu izloženosti drva visokoj temperaturi (Vernois, 2001). Navedena istraživanja pridonijela su mogućnosti široke industrijske primjene toplinske obrade drva (Bourgeois, 1989; Rapp, 2001).

Bukva (*Fagus sylvatica* L.) je najzastupljenija vrsta drva u Hrvatskoj pa je zato potrebno proučiti fizikalna svojstva bitna za njezinu uporabu. Toplinska obrada bukovine, uz poboljšanje fizikalnih svojstava, omogućuje i ujednačavanje boje, doduše većinom smeđe, za dijelove bukovih stabala koji sadržavaju nepravu srž odnosno crveno srce. Time se povećava i iskoristivost sirovine.

Grab (*Carpinus betulus*) je zbog nekih svojih fizikalnih svojstava slabo cijenjena vrsta difuzno poroznih listača. Uobičajena je sličnost fizikalnih svojstava grabovine sa svojstvima bukovine, uz još veće iznose utezanja nego u bukovine. S takvim fizikalnim svojstvima grabovina je slabo iskorištena iako posjeduje specifična estetska svojstva. Toplinsk je obrada proces koji bi trebao omogućiti veću primjenjivost grabovine, uz gubitak specifičnih estetskih svojstava. Mogućnost šire primjene grabovine u drvnoj industriji i manja cijena grabovine kao sirovine mogli bi se povećati primjenom toplinske obrade.

## 2. MATERIJAL I METODE 2 MATERIAL AND METHODS

Istraživanje je provedeno na bukovini i grabovini. Od svake vrste drva uzeta je po jedna srednjača dužine dva metra, a sredina te piljenice nalazila se na prsnoj visini. Srednjače su izrađene od stabala s područja Papuka i iz iste gospodarske jedinice, što znači da su stabla imala i jednake uvjete rasta. Srednjača je u poprečnoj ravnini prepiljena na pola i dio ispod prsne

visine uzet je za izradu uzoraka recentne bukovine i grabovine. Dio piljenica iznad prsne visine toplinski je obrađen na temperaturi 200 °C, uz ukupno vrijeme trajanja procesa od 72 sata od početka zagrijavanja do hlađenja industrijske komore. Vremensko razdoblje u kojemu je drvo bilo na 200 °C iznosilo je 48 sati.

Nakon završetka procesa toplinske obrade od piljenica su izrađeni uzorci za ispitivanje fizikalnih svojstava drva. Uzorci su izrađivani od piljenica s mjesta od prsne visine prema žilištu i krošnji kako bi položaj uzoraka u piljenicama odnosno deblu bio što sličniji za obje grupe uzoraka. U trenutku ispitivanja fizikalnih svojstava sadržaj vode u uzorcima neobrađene bukovine i grabovine iznosio je 11 %, a u uzorcima toplinski obrađene bukovine i grabovine 4 %.

Ispitivanja fizikalnih svojstava – gustoće nakon potapanja, sadržaja vode nakon potapanja, gustoće u apsolutno suhom stanju, maksimalnih utezanja u radijalnome i tangencijalnom smjeru te maksimalnoga volumnog utezanja – provedena su prema važećim Europskim normama.

Statistička obrada i testiranje signifikantnosti razlike srednjih vrijednosti uspoređivanih svojstava neobrađene i toplinski obrađene bukovine i grabovine obavljeno je Mann-Whitneyevim testom, uz pomoć računalnoga statističkog programa Statistica.

## 3. REZULTATI I DISKUSIJA 3 RESULTS AND DISCUSSION

Statističke vrijednosti rezultata istraživanja fizikalnih svojstava neobrađene i toplinski obrađene bukovine prikazane su u tablici 1.

Srednja vrijednost gustoće nakon potapanja neobrađene bukovine, kao i sadržaja vode nakon potapanja, veća je od gustoće nakon potapanja i sadržaja vode nakon potapanja toplinski obrađene bukovine. Srednje vrijednosti obaju svojstava neobrađene bukovine signifikantno su veće od srednjih vrijednosti toplinski obrađene bukovine prema Mann-Whitneyevu testu.

Srednja vrijednost sadržaja vode nakon potapanja neobrađene bukovine veća je za 15,4 % od srednje vrijednosti sadržaja vode nakon potapanja toplinski obrađene bukovine. To je posljedica smanjenog potencijala upijanja vode nakon toplinske obrade drva.

Slična tendencija smanjenja fizikalnih svojstava i signifikantnost razlike srednjih vrijednosti pokazuje se za gustoću u apsolutno suhom stanju te za maksimalno radijalno, tangencijalno i volumno utezanje. Srednja vrijednost gustoće u apsolutno suhom stanju neobrađene bukovine veća je za 8,5 % od srednje vrijednosti gustoće u apsolutno suhom stanju toplinski obrađene bukovine. Srednja vrijednost maksimalnoga radijalnog utezanja neobrađene bukovine veća je za 7 % od srednje vrijednosti maksimalnoga radijalnog utezanja toplinski obrađene bukovine i signifikantno se razlikuju. Sličan odnos pokazuje maksimalno tangencijalno utezanje, s tim da je srednja vrijednost maksimalnoga tangencijalnog utezanja neobrađene bukovine za 23,5 % veća od srednje vrijednosti maksimalnoga tangencijalnog ute-

**Tablica 1.** Prikaz statističkih vrijednosti fizikalnih svojstava neobrađene i toplinski obrađene bukovine.

**Table 1.** Survey of statistical values for physical properties of untreated and heat treated beech

Neobrađena bukovina – Untreated beech						Toplinski obrađena bukovina – Heat treated beech						
$\rho_w$	$\rho_o$	$W$	$\beta_r$ maks.	$\beta_t$ maks.	$\beta_v$ maks.		$\beta_v$ maks.	$\beta_t$ maks.	$\beta_r$ maks.	$W$	$\rho_o$	$\rho_w$
g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	%		%	%	%	%	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>
49	49	49	49	49	49	N	65	65	65	65	65	65
1,094	0,636	88	4,44	11,6	16,2	MIN	11,7	5	3,3	72	0,546	1,01
1,144	0,680	105	5,78	12,6	17,9	AVE	15	10,2	5,4	91	0,627	1,084
1,201	0,752	117	6,94	13,5	19,1	MAX	17	11,7	8,1	119	0,739	1,141
0,0247	0,0347	8,9	0,62	0,43	0,65	SD	1,54	1,18	0,94	12,7	0,06	0,028
0,0006	0,0012	79,7	0,38	0,19	0,43	VAR	2,36	1,4	0,88	160	0,004	0,0008

Legenda:  $\rho_w$  – gustoća nakon 14-dnevnog potapanja u vodi,  $\rho_o$  – gustoća u apsolutno suhom stanju,  $W$  – sadržaj vode nakon 14-dnevnog potapanja,  $\beta_r$  maks. – totalno radijalno utezanje,  $\beta_t$  maks. – totalno tangencijalno utezanje i  $\beta_v$  maks. – totalno volumno utezanje

Key:  $\rho_w$  – density after a fortnight of water soaking,  $\rho_o$  – density in absolutely dry condition,  $W$  – water content after a fortnight of soaking,  $\beta_r$  max – total radial shrinkage,  $\beta_t$  max – total tangential shrinkage and  $\beta_v$  max – total volume shrinkage

zanja toplinski obrađene bukovine. Srednja vrijednost maksimalnoga volumnog utezanja neobrađene bukovine veća je za 19,3 % nego toplinski obrađene bukovine.

Sve navedene vrijednosti pokazuju da toplinski obrađena bukovina slabije upija vodu, ima manju gustoću i manja maksimalna utezanja od neobrađene. Toplinska obrada bukovine opravdava svoju svrhu jer su toplinskom obradom neobrađene bukovine njezina relativno nepovoljna maksimalna utezanja poboljšana, tj. znatno smanjena.

Na slikama 1. i 2. prikazan je odnos maksimalnoga radijalnog utezanja te gustoće u apsolutno suhom stanju za neobrađenu i toplinski obrađenu bukovinu.

Na slikama 1. i 2. vidljivo je da se s porastom gustoće u apsolutno suhom stanju neobrađene bukovine maksimalno radijalno utezanje smanjuje, uz zadovoljavajući koeficijent korelacije za drvo. Nasuprot tome, s porastom gustoće u apsolutno suhom stanju to-

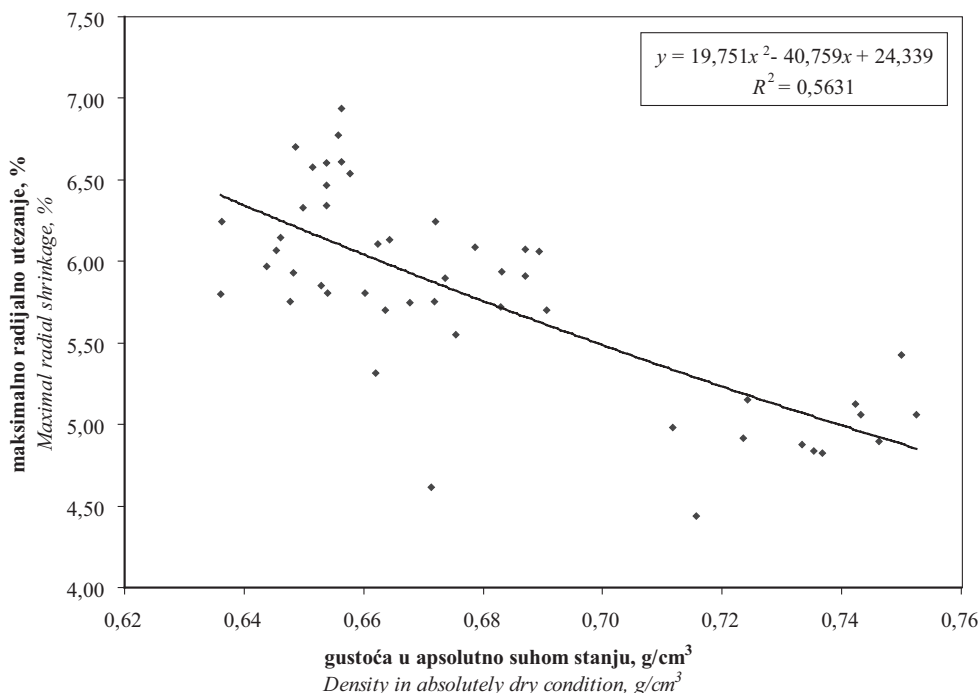
plinski obrađene bukovine maksimalno radijalno utezanje raste, uz zadovoljavajući koeficijent korelacije za drvo.

Slične zakonitosti vidljive su i za maksimalno volumno utezanje neobrađene i toplinski obrađene bukovine na slikama 3. i 4.

Statističke vrijednosti rezultata istraživanja fizikalnih svojstava neobrađene i toplinski obrađene grabovine prikazane su u tablici 2.

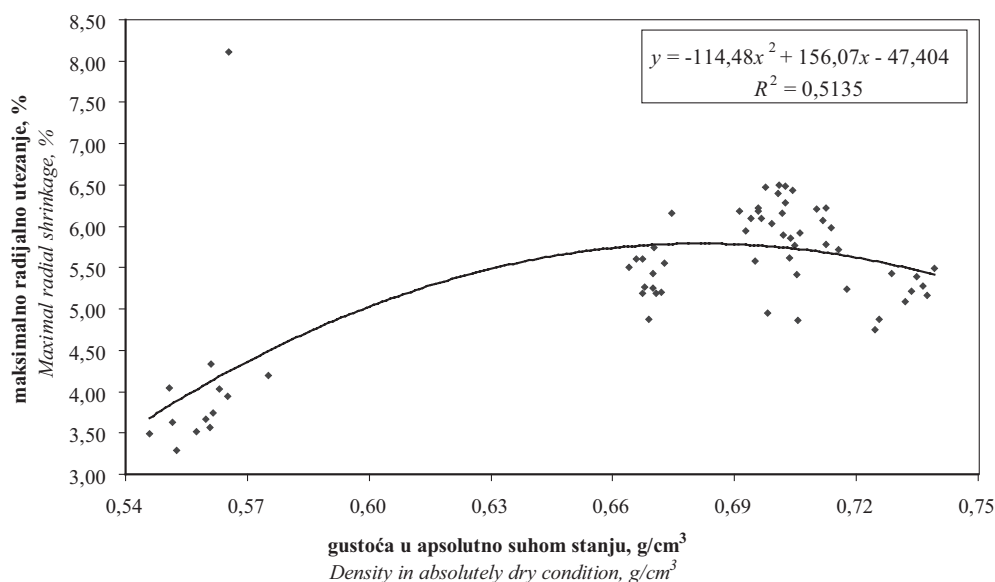
Prema Mann-Whitneyevu testu, srednje vrijednosti gustoće i sadržaja vode nakon potapanja neobrađene grabovine signifikantno su veće od srednjih vrijednosti gustoće i sadržaja vode nakon potapanja toplinski obrađene grabovine.

Srednja vrijednost sadržaja vode nakon potapanja neobrađene grabovine veća je za 12,5 % od srednje vrijednosti sadržaja vode nakon potapanja toplinski obrađene grabovine. To je posljedica smanjenog potencijala upijanja vode nakon toplinske obrade drva.

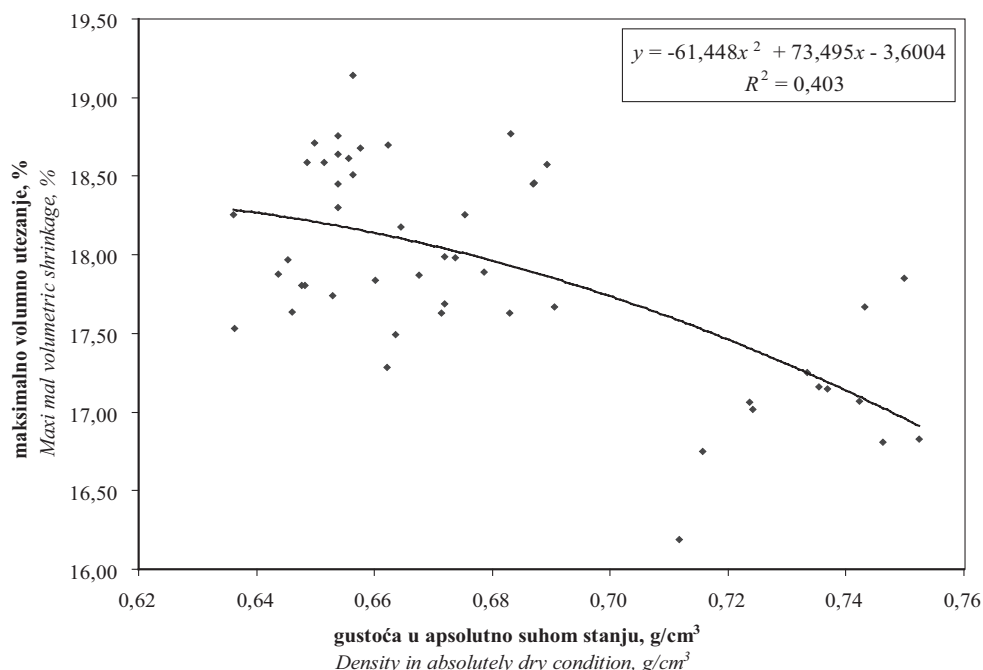


**Slika 1.** Odnos gustoće u apsolutno suhom stanju i maksimalnoga radijalnog utezanja neobrađene bukovine

**Figure 1** Relationship between density in absolutely dry condition and maximum radial shrinkage for untreated beech wood



**Slika 2.** Odnos gustoće u apsolutno suhom stanju i maksimalnoga radijalnog utezanja toplinski obrađene bukovine  
**Figure 2** Relationship between density in absolutely dry condition and maximum radial shrinkage for heat treated beech



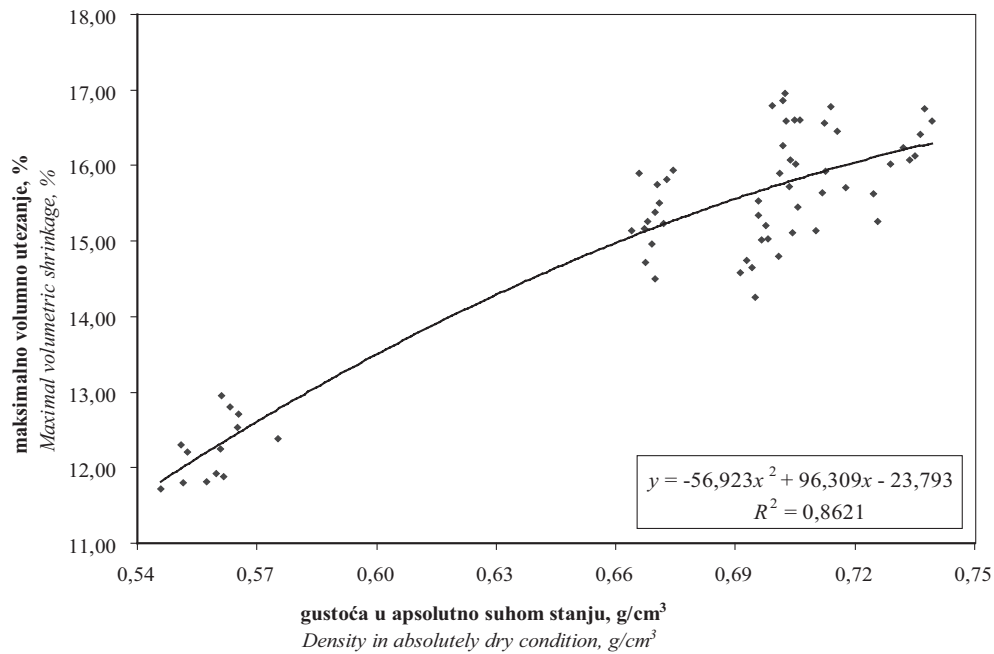
**Slika 3.** Odnos gustoće u apsolutno suhom stanju i maksimalnoga volumnog utezanja neobrađene bukovine  
**Figure 3** Relationship between density in absolutely dry condition and maximum volume shrinkage for untreated beech wood

**Tablica 2.** Prikaz statističkih vrijednosti za fizikalna svojstva neobrađene i toplinski obrađene grabovine  
**Table 2** Survey of statistical values for physical properties of untreated and heat treated hornbeam wood

Neobrađena grabovina <i>Untreated hornbeam</i>						Toplinski obrađena grabovina <i>Heat treated hornbeam</i>						
$\rho_w$	$\rho_o$	$W$	$\beta_r$ maks.	$\beta_t$ maks.	$\beta_v$ maks.		$\beta_v$ maks.	$\beta_t$ maks.	$\beta_r$ maks.	$W$	$\rho_o$	$\rho_w$
g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	%		%	%	%	%	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>
59	59	59	59	59	59	N	30	30	30	30	30	30
1,103	0,683	84	6,34	8,3	15,5	MIN	7,53	4	3,1	66	0,620	1,049
1,125	0,716	90	8,02	9,86	17,1	AVE	8,57	5,3	3,6	80	0,666	1,092
1,154	0,735	94	9,54	11,1	19,3	MAX	9,99	8,6	4,4	92	0,711	1,124
0,01	0,0123	2,43	0,84	0,64	0,92	SD	0,65	0,92	0,31	6,38	0,03	0,02
0,0001	0,0002	5,92	0,71	0,41	0,85	VAR	0,42	0,84	0,1	40,6	0,0009	0,0004

Legenda:  $\rho_w$  - gustoća nakon 14-dnevnog potapanja u vodi,  $\rho_o$  - gustoća u apsolutno suhom stanju,  $W$  - sadržaj vode nakon 14-dnevnog potapanja,  $\beta_r$  maks. - totalno radijalno utezanje,  $\beta_t$  maks. - totalno tangencijalno utezanje i  $\beta_v$  maks. - totalno volumno utezanje

Key:  $\rho_w$  - density after a fortnight of water soaking,  $\rho_o$  - density in absolutely dry condition,  $W$  - water content after a fortnight of soaking,  $\beta_r$  max - total radial shrinkage,  $\beta_t$  max - total tangential shrinkage and  $\beta_v$  max - total volume shrinkage

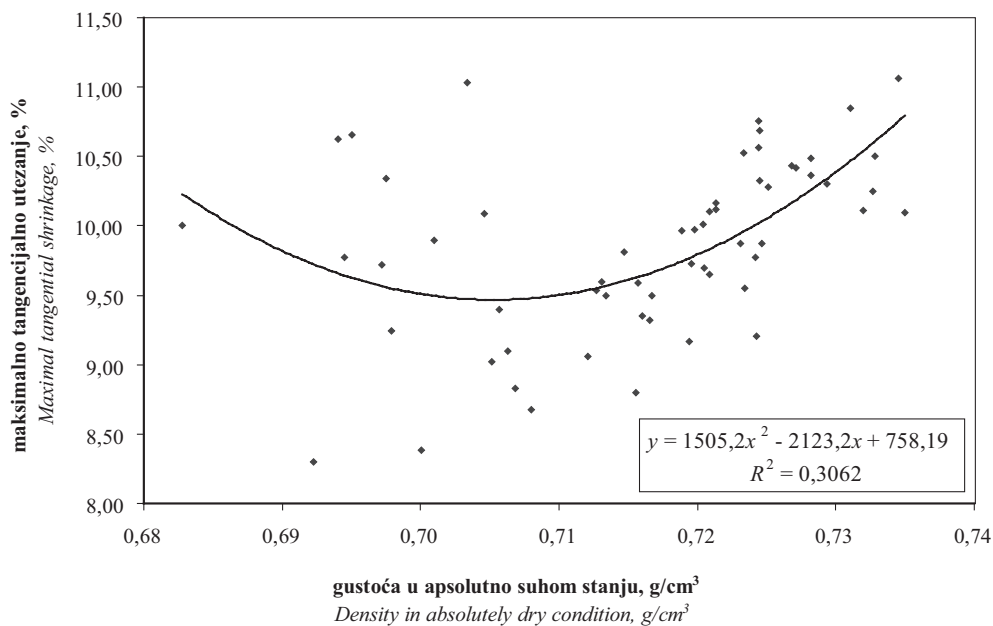


**Slika 4.** Odnos gustoće u apsolutno suhom stanju i maksimalnoga volumnog utezanja toplinski obrađene bukovine  
**Figure 4** Relationship between density in absolutely dry condition and maximum volume shrinkage for heat treated beech wood

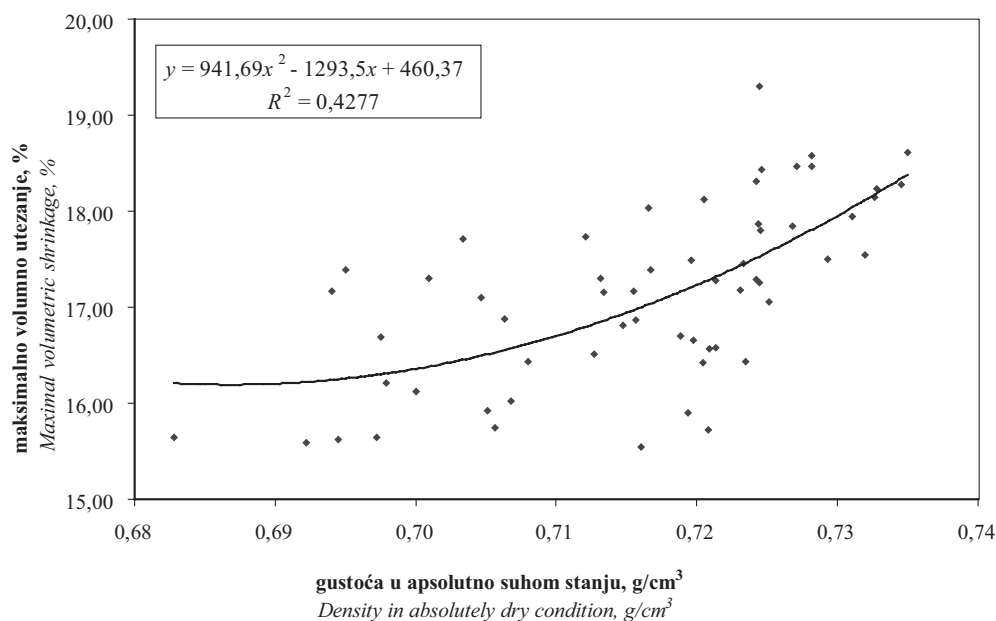
Slična tendencija smanjenja fizikalnih svojstava i signifikantnost razlike srednjih vrijednosti pokazuje se za gustoću u apsolutno suhom stanju te za maksimalno radijalno, tangencijalno i volumno utezanje. Srednja vrijednost gustoće u apsolutno suhom stanju neobrađene grabovine veća je za 7,5 % od srednje vrijednosti toplinski obrađene grabovine. Srednja vrijednost maksimalnoga radijalnog utezanja neobrađene grabovine veća je za 123 % od srednje vrijednosti maksimalnoga radijalnog utezanja toplinski obrađene grabovine i signifikantno se razlikuju. Sličan odnos pokazuje tangencijalno utezanje, s tim da je srednja vrijednost maksimalnoga tangencijal-

nog utezanja neobrađene grabovine za 86 % veća od paralelne srednje vrijednosti toplinski obrađene grabovine. Srednja vrijednost maksimalnoga volumnog utezanja neobrađene grabovine veća je za 99,5 % od paralelne srednje vrijednosti toplinski obrađene grabovine.

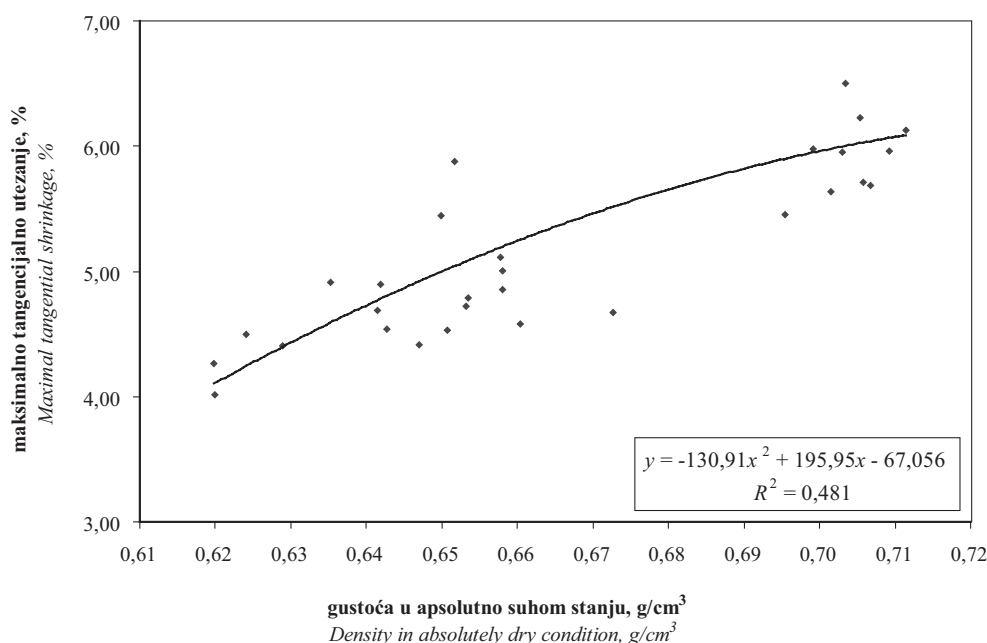
Navedene vrijednosti pokazuju da toplinski obrađena grabovina slabije upija vodu, ima manju gustoću u apsolutno suhom stanju i manja maksimalna utezanja od neobrađene grabovine. Toplinska obrada grabovine opravdava svoju svrhu jer su toplinskom obradom neobrađene grabovine njezina izrazito nepovoljna maksimalna utezanja znatno poboljšana, tj. uvelike smanje-



**Slika 5.** Odnos gustoće u apsolutno suhom stanju i maksimalnoga tangencijalnog utezanja neobrađene grabovine  
**Figure 5** Relationship between density in absolutely dry condition and maximum tangential shrinkage for hornbeam wood



**Slika 6.** Odnos gustoće u apsolutno suhom stanju i maksimalnoga volumnog utezanja neobrađene grabovine  
**Figure 6** Relationship between density in absolutely dry condition and maximum volume shrinkage for hornbeam wood



**Slika 7.** Odnos gustoće u apsolutno suhom stanju i maksimalnoga tangencijalnog utezanja toplinski obrađene grabovine  
**Figure 7** Relationship between density in absolutely dry condition and maximum tangential shrinkage for heat treated hornbeam wood

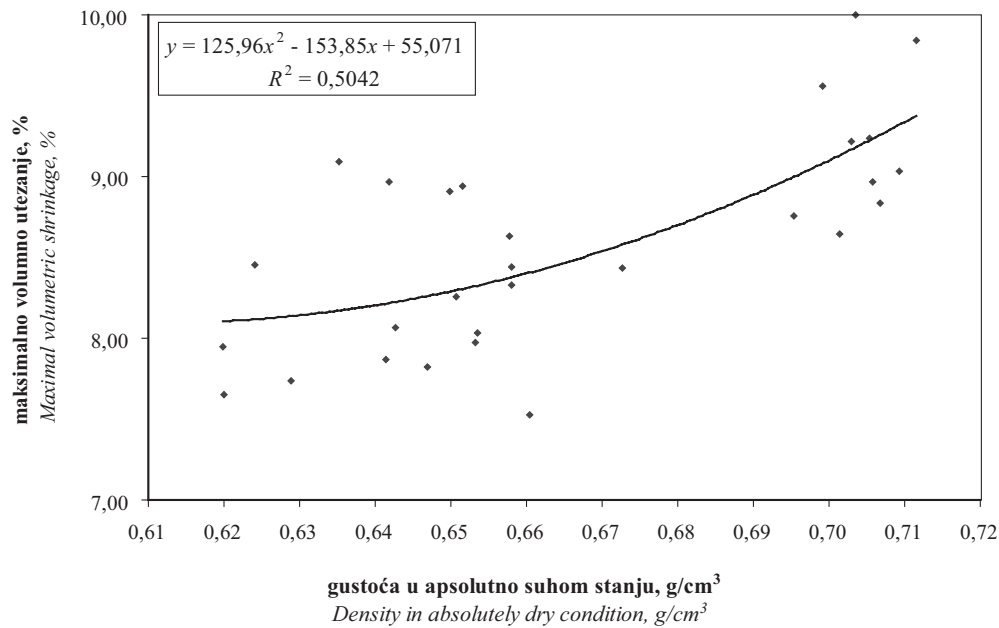
na. Na slikama 5. i 6. prikazan je odnos maksimalnoga tangencijalnog i volumnog utezanja te gustoće u apsolutno suhom stanju za neobrađenu grabovinu.

Na slikama 5 – 8. vidljivo je da se s porastom gustoće u apsolutno suhom stanju povećavaju maksimalna utezanja u tangencijalnom smjeru i volumna utezanja neobrađene i toplinski obrađene grabovine. Koeficijenti korelacije podataka, s krivuljama koje pokazuju trend, također su zadovoljavajući za drvo. Takav opći trend nije u potpunosti jednak za sve prikazane odnose fizikalnih svojstava. Na slici 5. za odnos gustoće u apsolutno suhom stanju i maksimalnoga tangencijalnog utezanja neobrađene grabovine pri nižim je gustoćama zamjetan pad vrijednosti, nakon čega dolazi njegova porasta.

#### 4. ZAKLJUČCI 4 CONCLUSIONS

Toplinskom obradom bukovine postignuto je očekivano smanjenje maksimalnih utezanja po smjerovima, kao i maksimalno volumno utezanje. Iznosi smanjenja srednjih vrijednosti maksimalnih utezanja toplinski obrađene bukovine u usporedbi s neobrađenom kreću se od 19,3 % za maksimalno volumno utezanje i 23,5 % za maksimalno tangencijalno utezanje do 7 % za maksimalno radijalno utezanje.

Srednje vrijednosti maksimalnih utezanja neobrađene bukovine značajno se razlikuju od srednjih vrijednosti maksimalnih utezanja toplinski obrađene bukovine. Neobrađenoj je bukovini toplinskom obra-



**Slika 8.** Odnos gustoće u apsolutno suhom stanju i maksimalnoga volumnog utezanja toplinski obrađene grabovine  
**Figure 8** Relationship between density in absolutely dry condition and maximum volume shrinkage for heat treated horn-beam wood

dom također smanjena gustoća u apsolutno suhom stanju. Srednja vrijednost gustoće u apsolutno suhom stanju neobrađene bukovine veća je za 8,5 % od srednje vrijednosti gustoće u apsolutno suhom stanju toplinski obrađene bukovine i te se vrijednosti značajno razlikuju. Srednja vrijednost gustoće nakon potapanja neobrađene bukovine veća je od iste vrijednosti toplinski obrađene bukovine, što vrijedi i za srednju vrijednost sadržaja vode, koji je nakon potapanja neobrađene bukovine za 15,4 % veći nego u toplinski obrađene bukovine. Iz rezultata istraživanja vidljivo je da s porastom gustoće maksimalno radijalno utezanje u apsolutno suhom stanju u neobrađene bukovine pada. U toplinski obrađene bukovine s porastom gustoće u apsolutno suhom stanju maksimalno radijalno utezanje raste. Ista je pojava uočena i za maksimalno volumno utezanje.

Neobrađena grabovina ima 12,5 % veću srednju vrijednost sadržaja vode nakon potapanja nego toplinski obrađena grabovina, kao i veću srednju vrijednost gustoće u apsolutno suhom stanju, i to za 7,5 %. Srednja vrijednost maksimalnog utezanja u radijalnom smjeru čak je za 123 % veća za neobrađenu grabovinu nego za toplinski obrađenu grabovinu. Srednje vrijednosti maksimalnoga tangencijalnog utezanja neobrađene grabovine veće su za 86 %, a srednje vrijednosti maksimalnoga volumnog utezanja veće su za 99,5 % nego u toplinski obrađene grabovine. Sve srednje vrijednosti istraživanih svojstava neobrađene i toplinski obrađene grabovine značajno se razlikuju. Odnos gustoće u apsolutno suhom stanju i maksimalnih utezanja u tangencijalnom smjeru te maksimalnoga volumnog utezanja pokazuje da s porastom gustoće u apsolutno suhom stanju rastu i maksimalna utezanja u tangencijalnom smjeru i volumno.

Iz provedenog je istraživanja vidljivo da toplinski obrađena bukovina i grabovina imaju manje iznose

srednjih vrijednosti maksimalnih utezanja u radijalnom i tangencijalnom smjeru, kao i volumno utezanje u usporedbi s neobrađenim drvom. Toplinskom je obradom tih dviju vrsta drva, a posebno grabovine, smanjen negativan faktor maksimalnih utezanja kao prepreka za primjenu u proizvodima od drva za koje je stabilnost dimenzija presudna.

## 5. LITERATURA 5 REFERENCES

1. Bourgois, J.; Bartholin, M.C.; Guyonnet, R., 1989: Thermal treatment of wood: analysis of the obtained product. *Wood Sci Technol*, 23 (4): 303-310, <http://dx.doi.org/10.1007/BF00353246>
2. Hillis, W.E., 1984: High temperature and chemical effects on wood stability. Part 1, General considerations. *Wood Sci Technol*, 18: 281-293, <http://dx.doi.org/10.1007/BF00353364>
3. Kollmann, F.; Cote, W., 1968: Principles of Wood Science and Technology 1. Solid Wood. Springer, Heidelberg.
4. Kotilainen, R., 2000: Chemical Changes in wood during heating at 150-260 °C. Ph.D. Thesis, Javaskyla University, Finland.
5. Yildiz, S.; Colacoglu, G.; Yildiz, U.C.; Gezer, E.D.; Temiz, A., 2002: Effects of heat treatment of modulus of elasticity of beech wood. IRG/WP 02-40222.
6. Kumar, S., 1994: Chemical modification of wood. *Wood Fiber Sci* 26 (2): 270-280.
7. Militz, H.; Beckers, E.J.P.; Homan, W.J., 1997: Modification of solid wood: Research and potential. International Research Group in Wood Preservation, Document No IRG/WP 97-40098.
8. Rapp, A.O., 2001: Review on heat treatments of wood. COST Action E22 -Environmental of wood protection, Antibes (France) Rosset, P., Perre, P. and Girard, P.2204: Modification of mass transfer properties in poplar wood (P. Robusta) by a thermal treatment at high temperature. *Holz Roh-Werkst* 62: 113-119.

9. Rowell, R.M., 1983: Chemical modification of wood. *Forest Prod Abstr* 6 (12): 363-382.
10. Rowell, R.M., 1984: The chemistry of solid wood. American Chemical Society, Washington DC 84, <http://dx.doi.org/10.1021/ba-1984-0207>
11. Stamm, A.J., 1946: Heat-stabilized wood. *Ind Eng Chemistry* 38 (6): 630-634, <http://dx.doi.org/10.1021/ie50438a027>
12. Stamm, A.J., 1956: Thermal degradation of wood and cellulose. *Ind Eng Chem* 48: 413-417, <http://dx.doi.org/10.1021/ie51398a022>
13. Stamm, A.R., 1964: Wood and cellulose science. Roland Press, USA, Chapter 19, pp 312-342.
14. Tjeerdma, B.F.; Boonstra, M.; Pizzi, A.; Tekely, P.; Miltz, H., 1998: Characterisation of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement. *Holz Roh-Werkst* 56 (3): 149-153, <http://dx.doi.org/10.1007/s001070050287>
15. Vernois, M., 2001: Heat treatment of wood in France-state of the art. Proceedings of Special Seminar „Review on heat treatments of wood“, Antibes, France.
16. Yildiz, S., 2002: Effects of heat treatment on water repellence and antiswelling efficiency of beech wood. *IRG/WP* 02-40223.

**Corresponding address:**

Assoc. Prof. TOMISLAV SINKOVIĆ, Ph.D.

Department of Wood Science  
Faculty of Forestry, University of Zagreb  
Svetošimunska 25, p.p. 422  
HR-10002 Zagreb, CROATIA  
e-mail: [tsinkovic@sumfak.hr](mailto:tsinkovic@sumfak.hr)