



# Uticaj termičkih tretmana na gustinu i bubrenje bukovog furnira

mr Aleksandar Lovrić\*, dr Vladislav Zdravković\*\*

\*asistent, Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu

\*\*vredni profesor, Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu

**Izvod:** U radu su prikazani rezultati dobijeni primenom različitih termičkih tretmana na bukovo ljušteno furnir. U eksperimentu su korišćene temperature od 180°C do 220°C, a vreme izlaganja uzoraka na svakoj temperaturi variralo je od pola do tri sata. Prema rezultatima istraživanja optimalni termički tretmani bukovog furnira bili bi 190, 200 i 210°C na dva sata ili 220°C u trajanju od jedan sat. Ukoliko se želi dobiti veća dimenziona stabilnost (uz nešto veće smanjenje mehaničkih svojstava), optimalani tretmani bili bi tri sata na 200°C, ili 90min. na 220°C.

**Ključne reči:** bukovo furnir, termička modifikacija, gustina, bubrenje

## Influence of the thermal treatments on density and swelling of beech veneer

**Abstract:** In the paper results of influence of different thermal treatments on beech peeled veneer are presented. In the experiment, temperatures between 180 °C and 220 °C were used, and time of every treatment was from half to three hours. Treatments with temperatures of 190, 200 i 210°C and duration of two hours, and temperature 220°C and duration of one hour, gave optimal results. If higher dimensional stability is wanted (but with higher reduction of mechanical properties), recommended treatments are 3 hours et 200°C, or 90 min. et 220°C.

**Key words:** beech veneer, thermal modification, density, swelling

### 1. UVOD

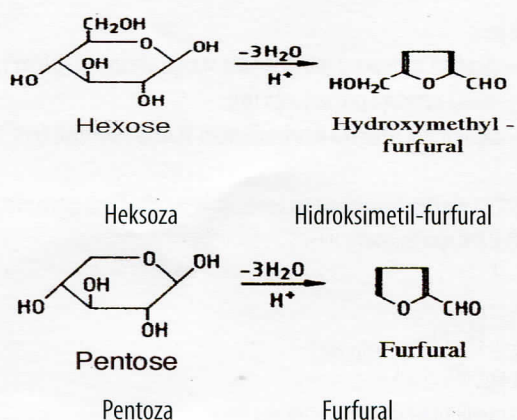
Sa promenom vlažnosti vazduha menja se i odgovarajuća ravnotežna vlažnost drvnih proizvoda. Za posledicu imamo da drvo prima, odnosno otpušta odgovarajuću količinu vlage i usled toga menja svoje dimenzije. Da bi se ova negativna pojava svela u tolerantne okvire razvijeni su standardi koji propisuju kolika treba da bude vlažnost gotovih proizvoda u zavisnosti od njihove buduće primene. Kako bi se uticaj vlažnosti sveo na najmanju moguću meru, za spoljašnju upotrebu koriste se vrste sa većom dimenzionom stabilnošću, a odgovarajućom površinskom obradom gotovi proizvodi se štite od uticaja spoljašnje sredine.

Drugi pristup ovom problemu je izlaganje drveta različitim tretmanima koji smanjuju higroskopnost drveta i time se postiže željena stabilnost. Tretmani mogu biti termički ili hemijski (eterifikacija, esterifikacija, acetilovanje, oksidacija itd.) Termičkim tretmanima se pored smanjenja higroskopnosti dobija i veća otpornosti na dejstvo lignokolnih gljiva. Ovo je rezultat hemijskih promena iniciranih visokom temperaturom.

Dimenziona stabilnost se može objasniti degradacijom hemiceluloze drveta. Termička modifikacija najviše utiče na ovaj hidrofilni polimer u drvetu i kao rezultat se dobije drvo koje ima manje afiniteta

prema vodi i dobru stabilnost dimenzija (Weiland, Guyonnet 2003).

Prema (Rowell et al. 2009) dimenziona stabilnost se postiže degradacijom polimera unutar ćelijskog zida, prvenstveno hemiceluloza, a kasnije i celuloze. Tokom degradacije nastaju furanska jedinjenja kao što su furfural i hidroksimetil furfural (slika 1).



Slika 1. Formiranje furanskih jedinjenja iz heksoza i pentoza kao posledica termičkog tretmana (Rowell et al. 2009)

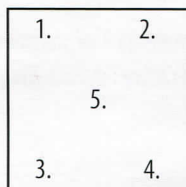
Figure 1. Formation of furan products from hexoses and pentoses as a result of heat treatments of wood (Rowell et al. 2009)

Veću otpornost termički modifikovanog bukovog drveta na dejstvo lignikolnih gljiva konstatovali su mnogi istraživači: Ohnesorge et al. (2009), Pfriem et al. (2009), Ivković (2007)... Veća otpornost termički modifikovanog drveta je najverovatnije posledica degradacije hemiceluloze u ćelijskim zidovima. Što je tretman oštrij, odnosno što je veća temperatura i dužina izlaganja uzoraka toplotnom tretmanu, to će i otpornost uzoraka na dejstvo lignikolnih gljiva biti veće.

Termički tretmani drveta imaju i svoje negativne efekte. Kao posledicu termičke modifikacije drveta dobijamo smanjena mehanička svojstva drveta. Tako Majano et al. (2009) istražuju specifičnu energiju loma (specific fracture energy) za netretirane i tretirane bukove uzorke na temperaturama od 160 do 250°C u trajanju od 2 do 16h. Pre ispitivanja uzorci su kondicionirani na 20°C i relativnoj vlažnosti vazduha od 65%. Specifična energija loma računata je za radialno-longitudinalni i tangencijalno-longitudinalni pravac i to za netretirane uzorke, kao i za uzorke izložene nižim, srednjim i višim temperaturama. Istraživači zaključuju da je kod tretiranih uzoraka (u zavisnosti od oštine tretmana), energija loma manja u radialno-longitudinalnom pravcu za 57, 75 i 86% u odnosu na netretirane uzorke. U tangencijalno-longitudinalnom pravcu ova energija je manja za 40, 71 i 84%. Takođe, kod netretiranih uzoraka, izračunata je signifikantno veća specifična energija loma u radialno-longitudinalnom u odnosu na tangencijalno-longitudinalni pravac. Ova razlika nije potvrđena za termički modifikovane uzorke.

Iz gore navedenog proističe da se termičkom modifikacijom postiže bolja dimenziona stabilnost i veća otpornost tretiranog drveta na dejstvo lignikolnih gljiva, ali se smanjuju mehanička svojstva ispitivanog materijala. Izbor odgovarajuće temperature i trajanje tretmana je pitanje optimizacije.

Cilj ovog rada je da se ukaže na optimalni termički tretman bukovog furnira, kojim se dobija zadovoljavajući odnos između povećanja dimenzione stabilnosti (posmatrane preko promene zapreminskog bubrenja) i gubitka mase, odnosno smanjenja gustine termički tretiranog furnira.



Slika 2. Šema merenja debljine furnira

Figure 2. Scheme of measuring of veneer

## 2. METOD RADA

Za eksperiment je korišćen ljušten bukov furnir nominalne debljine 2mm. Iz listova furnira izrezano je 155 uzoraka dimenzija 100x100mm. Metodom slučajnog izbora određeno je pet uzoraka za utvrđivanje sledećih fizičkih svojstava ispitivanog materijala: početna vlažnost, gustina u prosušenom, apsolutno suvom i napojenom stanju, ukupni procenat bubrenja u aksijalnom, radialnom i tangencijalnom pravcu, kao i ukupno zapreminsko bubrenje.

Izmerene su tačne dimenzije uzoraka (dužina i širina pomoću digitalnog šublera, a debljina na pet mesta pomoću komparatera sa stopom – slika 2.) i masa na vagi tačnosti 0,01g.

Na osnovu izračunatih dimenzija i mase, izračunata je prosečna gustina netretiranih uzoraka u

prosušenom stanju vlažnosti:

$$\rho_p = \frac{m_p}{V_p} \quad (\text{g} / \text{cm}^3)$$

gde je:

$\rho_p$  – gustina uzoraka u prosušenom stanju vlažnosti ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$m_p$  – masa uzoraka pre sušenja (g);

$V_p$  – zapremina uzoraka u prosušenom stanju vlažnosti ( $\text{cm}^3$ ).

Početna vlažnost ispitivanog materijala je određena gravimetrijskom metodom zagrevanjem furnira na  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , po formuli:

$$V = \frac{m_p - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad (\%)$$

gde je:

$V_a$  – apsolutna vlažnost uzoraka (%);

$m_p$  – masa uzoraka pre sušenja (g);

$m_0$  – masa uzoraka u apsolutno suvom stanju vlažnosti (g).

Potom su uzorci potopljeni u vodu i posle dva dana su im izmerene mase i dimenzije. Na osnovu ovih podataka izračunata je gustina u sirovom stanju, kao i koliko iznosi ukupno bubrenje u tri osnovna anatomna pravca, odnosno koliko je ukupno zapreminsko bubrenje netretiranih uzoraka:

$$\beta_A = \frac{A_s - A_0}{A_0} \cdot 100 \quad (\%); \quad \beta_R = \frac{R_s - R_0}{R_0} \cdot 100 \quad (\%); \quad \beta_T = \frac{T_s - T_0}{T_0} \cdot 100 \quad (\%); \quad \beta_V = \frac{V_s - V_0}{V_0} \cdot 100 \quad (\%)$$

gde je:

$\beta_A, \beta_R, \beta_T, \beta_V$  – ukupno aksijalno, radijalno, tangencijalno i zapreminsko bubrenje (%);

$A_s, R_s, T_s$  – dimenzije uzoraka u sirovom stanju vlažnosti (m);

$A_0, R_0, T_0$  – dimenzije uzoraka u apsolutno suvom stanju vlažnosti (m);

$V_s$  – zapremina uzoraka u sirovom stanju vlažnosti ( $\text{m}^3$ );

$V_0$  – zapremina uzoraka u apsolutno suvom stanju vlažnosti ( $\text{m}^3$ ).

Ostatak materijala je podeljen u grupe od po pet uzoraka predviđene za različite termičke tretmane. Po merenju mase i dimenzija ovi uzorci furnira su uvijani u aluminijumsku foliju kako bi se sprečio kontakt ispitivanog materijala sa kiseonikom, odnosno paljenje furnirskih uzoraka. U eksperimentu su korišćene sledeće temperature:  $180^\circ\text{C}$ ,  $190^\circ\text{C}$ ,  $200^\circ\text{C}$ ,  $210^\circ\text{C}$  i  $220^\circ\text{C}$ , a vreme izlaganja uzoraka na svakoj od ovih temperatura je variralo od pola sata do tri sata odnosno: 30min, 60min, 90min, 120min, 150 min i 180 min.

Po završetku odgovarajućih termičkih tretmana izvršena su sva merenja i proračuni kao i kod termički netretiranih uzoraka da bi se moglo utvrditi kako visina temperature i dužina izlaganja utiču na ispitivana svojstva bukovog furnira.

### 3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I ANALIZA

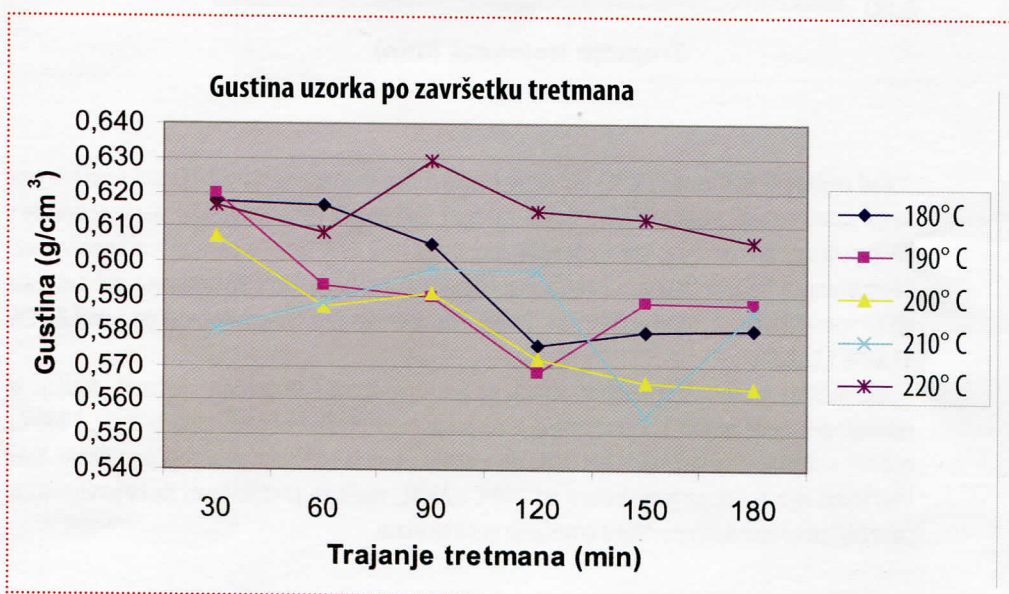
Na osnovu dobijenih podataka pri ispitivanju termički netretiranog materijala, u tabeli 1 su prikazane prosečne vrednosti izračunatih fizičkih svojstava.

Broj uzoraka	Gustina			Bubrenje (%)				Početna vlažnost Va (%)
	$\rho_0(\text{g/cm}^3)$	$\rho_p(\text{g/cm}^3)$	$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	$\beta_A$	$\beta_R$	$\beta_T$	$\beta_V$	
5	0,622	0,635	1,044	0,24	5,84	12,60	19,45	6,73

Iz tebele 1 se može uočiti da je prosečna gustina u apsolutno suvom stanju nešto manja od uobičajenih vrednosti za bukvinu ( $0,690 \text{ g/cm}^3$  - Ugrenović 1950), što može biti posledica porekla materijala, ali i toga što tokom sušenja sirovog furnira dolazi do nekog vida termičke modifikacije drveta (na izlazu iz sušare furnir je bio izložen temperaturama od oko  $160^\circ\text{C}$ ).

Gustina uzoraka koja je računata na osnovu podataka dobijenih neposredno po završetku termičkog tretmana prikazana je na slici 3.

Tabela 1. Izračunata fizička svojstva netretiranog bukovog furnira  
Table 1. Calculated physical properties of untreated beech veneer



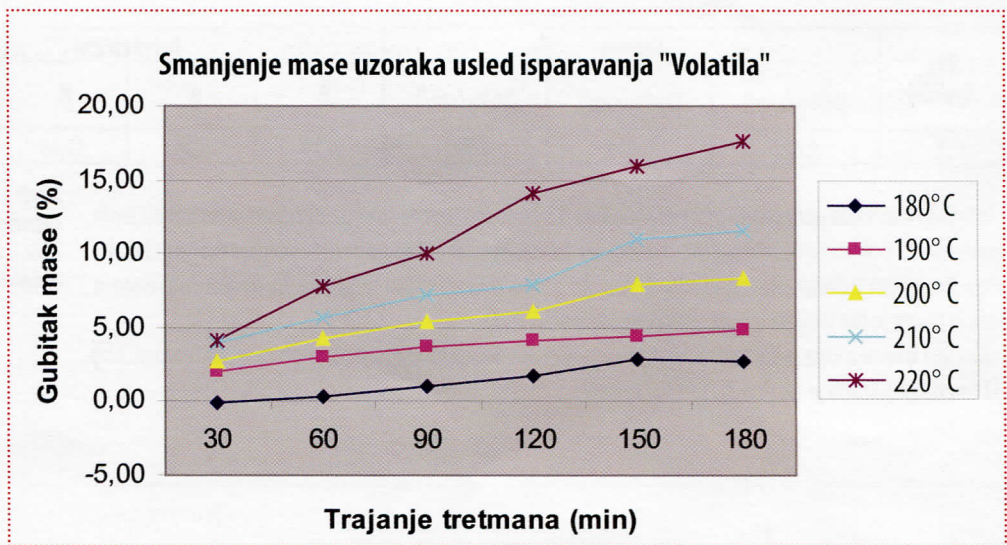
Slika 3. Uticaj termičkog tretmana na gustinu bukovog furnira.  
Figure 3. Influence of thermal treatment on beech veneer density

Sa slike 3 se može videti da kod temperatura od 180, 190 i  $200^\circ\text{C}$ , u prva 2h termičkog tretmana dolazi do smanjenja gustine do oko  $575 \text{ kg/m}^3$ , a onda se gustina bitnije ne menja ( $180$  i  $200^\circ\text{C}$ ) odnosno blago raste  $190^\circ\text{C}$ . Kod viših temperatu ( $210$  i  $220^\circ\text{C}$ ), ne može se uočiti neka pravilnost u promeni gustine ispitivanog materijala sa povećanjem dužine izloženosti tretmanu.

Ova nepravilnost je posledica toga što na gustinu podjednako utiču i promena mase kao i promena dimenzija uzoraka. Na višim temperaturama pored isparavanja vode dolazi i do isparavanja hemijskih jedinjenja nastalih usled promene odnosno razgradnje osnovnih hemijskih komponenata drveta. Od oštine termičkog tretmana zavisice i brzina dekompozicije hemiceluloza, celuloza i lignina tj. do isparavanja drugih jedinjenja za koje je usvojen uopšteni naziv „Volatili“. Prema rezultatima, prikazanim na slici 3, može se predpostaviti da se na nižim temperaturama masa uzoraka brže smanjuje od njihove zapremine, dok na višim temperaturama nema pravilnosti.

Na smanjenje mase uzoraka uticali su i primenjena temperatura i trajanja tretmana (slika 4). Podaci za izradu ovog grafikona su dobijeni tako što se od ukupnog izračunatog gubitka mase (prosečna razlika mase uzoraka pre i posle pojedinog termičkog tretmana - u %) odbila prosečna vlažnost netretiranih uzoraka ( $6,73\%$  - tabela 1). Na ovaj način je na slici 4 prikazan gubitak mase uzoraka pri dejstvu termičkog tretmana, usled isparavanja volatila.

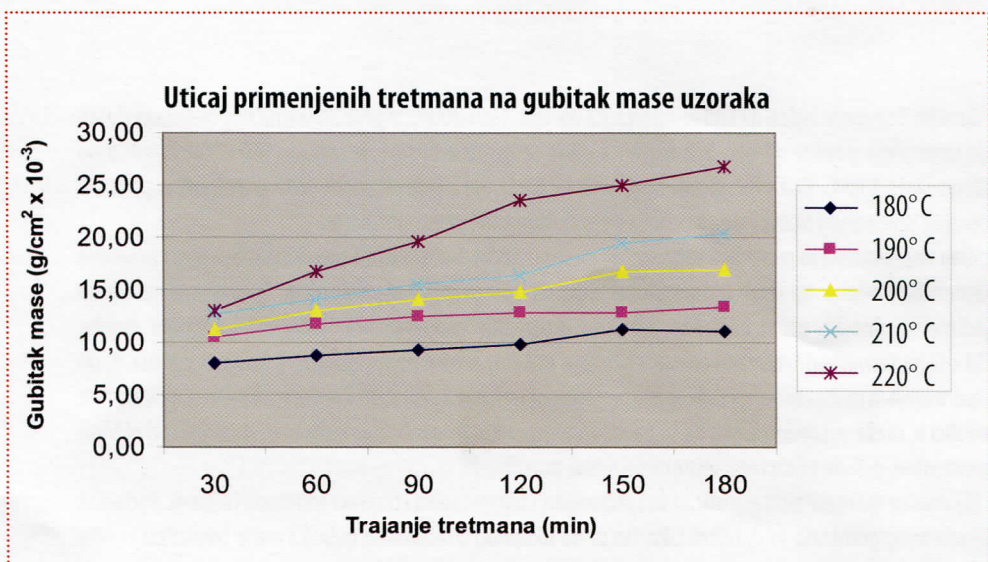
Slika 4.  
 Uticaj temperature i dužine  
 tretmana na isparavanje  
 „Volatila“  
 Figure 4.  
 Influence of temperature  
 and duration of treatment  
 on the VOC evaporation



Kod najblažeg tretmana (180°C) tek posle 60min dolazi do isparavanja volatila odnosno tek tada su ovi uzorci postigli apsolutno suvo stanje vlažnosti. Kod drugih temperatura ovo stanje se postiže u prvih pola sata pri čemu gubitak drvene supstance iznosi od 2 do 4,13%. Sa povećanjem temperature i sa povećanjem trajanja tretmana povećava se i isparavanje volatila. Posle 3h tretmana, gubitak mase pri temperaturama od 180°C i 190°C ne prelazi 5%, dok na višim temperaturama on iznosi 8,31%, 11,62% i 17,62%.

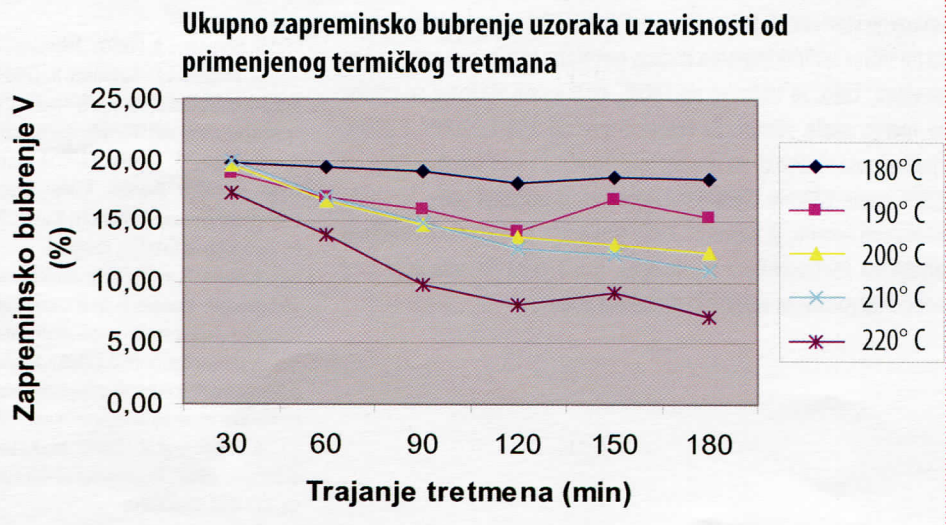
Ako gubitak mase posmatramo u odnosu na površinu uzoraka (izraženo u mg/cm<sup>2</sup>), dobijaju se rezultati prikazani na slici 5. Interesantno je da pri primeni blažih tretmana (180°C, 190°C i 200°C), gubitak mase raste sa trajanjem tretmana do 150min., a onda se bitnije ne menja do 180min. Kako ovaj trend nije uočen za temperature od 210°C i 220°C, može se predpostaviti da bi produženjem „oštrijih“ tretmana došlo do daljeg povećanja gubitka mase.

Slika 5.  
 Gubitak mase uzoraka  
 (mg/cm<sup>2</sup>) u zavisnosti od  
 primenjenog termičkog  
 tretmana  
 Figure 5.  
 Influence of termical  
 treatment on mass loss of  
 wood samples



Sa smanjenjem mase uzoraka, usled isparavanja volatila, može se očekivati i smanjenje mehaničkih svojstava drveta. Nasuprot tome, pozitivno dejstvo termičkog tretmana ogleda se u većoj dimenzionalnoj stabilnosti drveta – slika 6.

Slika 6.  
 Uticaj temperature i dužine  
 tretmana na zapreminsko  
 bubrenje furnira  
 Figure 6.  
 Influence of temperature and  
 duration of treatment on  
 volume swelling of veneer



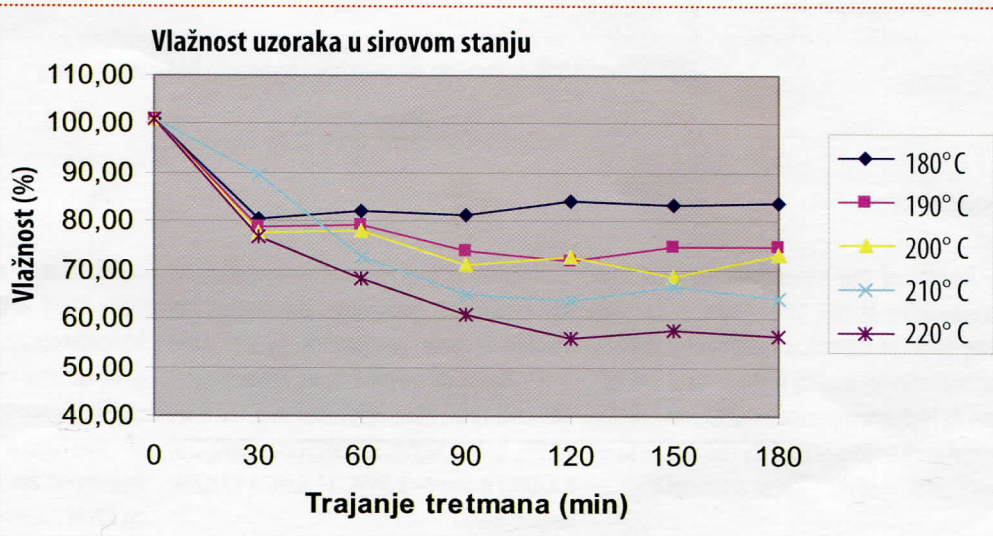
U odnosu na netretirani materijal ( $\beta_v = 19,45\%$ ), temperatura od  $180^\circ\text{C}$  nema značajniji uticaj na smanjenje ukupnog zapreminskog bubrenja (posle 3h  $\beta_v = 18,49\%$ ). Kao što se može i očekivati minimalna vrednost zapreminskog bubrenja dobijena je kod tretmana od  $220^\circ\text{C}$  posle 120min -  $\beta_v = 7,18\%$ . Zanimljivo je da je kod svih tretmana (osim kod temperature od  $190^\circ\text{C}$ ) u prva dva sata smanjenje zapreminskog bubrenja intenzivnije i da se u poslednjem satu tretmana ono usporava. Takođe, tretmani od  $190, 200$  i  $210^\circ\text{C}$  u prva dva sata daju približno iste vrednosti smanjenja zapreminskog bubrenja.

Iz ovog proizilazi da željene pozitivne efekte možemo ostvariti i korišćenjem nižih temperatura kako bi izbegli preterano smanjenje mehaničkih svojstava drveta. Za smanjenje zapreminskog bubrenja bukovog furnira na oko 14%, moguće je koristiti temperaturni tretman od  $190, 200$  i  $210^\circ\text{C}$  na dva sata ili  $220^\circ\text{C}$  u trajanju od jedan sat. Pri tome smanjenje mase uzoraka usled razgradnje osnovnih hemijskih jedinjenja drveta iznosi  $4,15\%, 6,14\%, 7,98\%$  ili  $7,8\%$ .

U slučaju da je potrebno ostvariti veću dimenzionalnu stabilnost bolje je koristiti tretman od tri sata na  $200^\circ\text{C}$  nego od tri sata na  $210^\circ\text{C}$  uz približno iste efekte ( $\beta_v$  oko  $12,5\%$ ), ili 90min na  $220^\circ\text{C}$   $\beta_v = 9,75\%$ . Tretmane na  $220^\circ\text{C}$  preko 90min ne treba koristiti, bez obzira na povećano smanjenje zapreminskog utezanja, jer je gubitak mase preveliki tako da se postavlja pitanje upotrebljivosti dobijenog materijala.

Pored smanjenja zapreminskog bubrenja, termički tretmani uticali su i na smanjenje vlažnosti bukovog furnira u sirovom stanju. U odnosu na netretirane uzorke ( $V_s = 100,97\%$ ), vlažnost termički modifikovanog furnira u sirovom stanju (merena nakon 48h po potapanju uzoraka u vodu), kretala se od  $89,71\%$  do  $55,91\%$ , slika 7.

Slika 7.  
 Zavisnost vlažnosti furnira u  
 sirovom stanju od primenjene  
 temperature i dužine  
 tretmana  
 Figure 7.  
 Influence of temperature and  
 duration of treatment on raw  
 veneer moisture content



Primenjeni tretmani utiču tako da se sa povećanjem temperature smanjuje vlažnosti furnira u sirovom stanju. Pri tome se može uočiti da na nižim temperaturama dužina tretmana ima manji uticaj nego na višim. Tako, za tretman od 180°C, izračunata vlažnost se bitnije ne menja posle 30min. Za temperature od 190°C, 200°C i 210°C ujednačenje vlažnosti nastupa posle 90min., a kod temperature od 220°C posle 120min. Smanjena sposobnost upijanja vode, termički tretiranog furnira, je najverovatnije posledica razlaganja hidrofilnih jedinjenja (hemiceluloza i celuloze), usled čega se smanjuje broj slobodnih mesta za vezivanje molekula vode.

#### 4. ZAKLJUČAK

Termička modifikacija drveta sprovodi se u cilju postizanja bolje dimenzione stabilnosti i povećanja otpornosti na dejstvo lignikolnih gljiva. Rezultati oglada pokazuju da primenjeni termički tretmani različito utiču na gustinu uzoraka. Kod temperatura od 180, 190 i 200°C, u prva dva sata termičkog tretmana dolazi do smanjenja gustine do oko 575 kg/m<sup>3</sup>, a onda se gustina bitnije ne menja (180 i 200°C) odnosno blago raste (190°C). Kod viših temperatu (210 i 220°C), ne može se uočiti neka pravilnost u promeni gustine ispitivanog materijala sa povećanjem dužine izloženosti tretmanu.

Sa povećanjem temperature i sa povećanjem trajanja tretmana, povećava se isparavanje volatila (VOC). Posle tri sata tretmana, gubitak mase pri temperaturama od 180 i 190°C ne prelazi 5%, dok na višim temperaturama (200, 210 i 220°C) on iznosi 8,31%, 11,62% i 17,62%.

Povećanje dimenzione stabilnosti ispitivano je preko smanjenja ukupnog zapreminskog bubrenja. Dobijeno je da modifikacija bukovog

#### 5. LITERATURA

1. Ugrenović A. (1950): „Tehnologija drveta“, udžbenik, Zagreb.
2. Weiland J.J., Guyonnet R. (2003): „Study of chemical modifications and fungi degradation of thermally modified wood using DRIFT spectroscopy“, European Journal of Wood and Wood Products, France.
3. Ivkovic S. (2007): „Gubitak mase termički modifikovanog drveta bukve *Fagus moesiaca* (Domin, Mally/ Czeczott.) pod uticajem lignokolnih gljiva *Coniophora puteana* (Schum.Fr) Karst. i *Trametes versicolor* (Fr.) Pil“, Prerada drveta br. 20, Šumarski Fakultet, Beograd.
4. Rowell R. et al (2009): „Understandig decay resistance, dimensional stability and strength changes in heat treated and acetylated wood“, Proceedings of 4th European conference on wood modification, str. 489-502, Stockholm.
5. Ohnesorge D. et al. (2009): „Laboratory tests on the natural durability of six different wood species after hygrothermal treatment“, Proceedings of 4th European conference on wood modification, str. 159-164, Stockholm.
6. Pfriem A. et al. (2009): „Production of thermally modified veneer with high decorative value“, Proceedings of 4th European conference on wood modification, str. 443-446, Stockholm.
7. Majano A. et al. (2009): „Fracture characteristics and properties of thermally modified timber made out of beech“, Proceedings of 4th European conference on wood modification, str. 177-180, Stockholm.

furnira na 180°C nema značajan uticaj na smanjenje zapreminskog bubrenja (posle tri sata  $\beta_v = 18,49\%$ ), dok je najveće smanjenje postignuto na temperaturi od 220 °C posle tri sata  $\beta_v = 7,18\%$ . Prema rezultatima istraživanja optimalni termički tretmani bukovog furnira bili bi 190, 200 i 210°C na dva sata ili 220 °C u trajanju od jedan sat, ili ako se želi dobiti veća dimenziona stabilnost, tretman od tri sata na 200°C ( $\beta_v$  oko 12,5%), ili 90min na 220 °C  $\rightarrow \beta_v = 9,75\%$ .

Negativni efekti termičkih tretmana nisu direktno ispitivani, već su u radu prikazani preko smanjenja mase, odnosno gustine, bukovog furnira. Da bi se došlo do zaključka o opravdanosti korišćenja odgovarajućih termičkih tretmanam, potrebno je izvršiti dalja ispitivanja koja bi pokazala koliki je uticaj ovih tretmana na mehanička svojstva furnira ili proizvoda dobijenih upotrebom ovako modifikovanog materijala.

#### Uticaj termičkih tretmana na gustinu i bubrenje bukovog furnira

mr Aleksandar Lovrić, dr Vladislav Zdravković

#### SUMMARY

Results of the experiment showed that temperature of 180, 190 i 200°C in the first two hours of thermal treatment influence on reduction of density to the level of 575 kg/m<sup>3</sup>. At higher temperatures (210 and 220°C), trend in changing of density can not be seen with prolonged duration of treatment.

Increasing the temperature and duration of treatment increases evaporation of volatile organic compounds (VOC). After three hours of treatment, at temperatures 180 and 190C, mass loss is not over the level of 5%, but at higher temperatures (200, 210 i 220°C) it counts 8,31%, 11,62% i 17,62%, respectively.

Treatments with temperatures of 190, 200 i 210°C and duration of two hours, and temperature 220°C and duration of one hour, gave optimal results. If higher dimensional stability is wanted (but with higher reduction of mechanical properties), recommended treatments are 3 hours on 200°C, or 90 min. on 220°C.