

# Zavarivanje termički modificirane grabovine

## Welding of thermally modified hornbeam

### Prethodno priopćenje · Preliminary paper

Prispjelo – Received: 19. 2. 2009.

Prihvaćeno – Accepted: 16. 7. 2009.

UDK: 630\*824.4; 674.028.1

**SAŽETAK** • Tehnika rotacijskog zavarivanja primjenjuje se pri zavarivanju moždanika (klina) u podlogu. Tijekom zavarivanja zbiva se kemijsko fizički proces koji nastaje kao posljedica trenja zbog rotacije moždanika i utiskivanja u statičnu podlogu, uz određeni zador.

U radu su prikazani rezultati zavarivanja moždanika u podlogu od termički modificirane (grabovine obrađene na temperaturi od 200 °C u trajanju 48 h) i nemodificirane grabovine. U nemodificiranoj je grabovini izvlačna sila (moždanika iz podloge) veća (prosječno 84 %) nego u modificiranoj. To je posljedica manje krtosti i cjepivosti nemodificiranog drva te kraćeg trajanja procesa zavarivanja (utiskivanja moždanika).

**Ključne riječi:** zavarivanje drva, moždanici, termička modifikacija, grabovina

**ABSTRACT** • Welding of dowels in the base is carried out by technology of rotation welding. During welding, a physical-chemical process takes place as a result of mechanical friction because of dowel rotation and impression into the static base with the set tightness.

This article shows the results of dowel welding in thermally modified (treated at the temperature of 200°C for 48 h) and non-modified hornbeam base. Embedded force (dowel out of base) is greater with non-modified hornbeam (on average 84 %) than with modified hornbeam. This is the effect of less brashness and cleaving of non-modified wood and shorter time of welding (dowel impression).

**Key words:** welding wood, dowels, thermal modification, hornbeam

### 1. UVOD

#### 1 INTRODUCTION

Zavarivanjem drva omogućuje se spajanje dvaju ili više elementa drva ili drvene ploče bez upotrebe ljepila. Spajanje drva klinovima, bez ikakva lijepljenja i zavarivanja, bilo je korišteno stoljećima. Odnedavno je napredovala jednostavna tehnologija spajanja uz pomoć klinova jer se klinovi (moždanici) zavaruju i tako čine čvrsti spoj. Rotacijsko zavarivanje moždanika bez adheziva rezultiralo je nastankom spojeva znatne čvrstoće. Zavarivanje drva određeno je temperaturom, topljenjem nekih amorfnih polimernih tvari i vezanjem drvnih stanica jedne do druge u strukturi drva. Metodom zavarivanja uz pomoć vibracija drveni elementi

međusobno vibriraju, zbog čega se pojavljuje trenje između površina koje se dodiruju, razvija se toplina koja „omekša i rastali” strukturu stanica drva, a vlakanca drva međusobno se isprepletu. Isti se proces zbiva pri rotacijskom zavarivanju. Zbog hlađenja struktura drva otvrdnjava i nastaje čvrsti spoj (zavar).

Jones i Pizzi (2007) istraživali su kako hladna i kipuća voda utječe na čvrstoću zavarenog spoja modificiranog drva sitkanske smreke. Uzorci su bili modificirani temperaturom 210 – 240 °C te kemijski (acetilacijskim sredstvom te sredstvom na bazi alkohola). Rezultati istraživanja pokazali su veću čvrstoću spojeva termički modificiranog drva i kemijski modificiranoga (na bazi alkohola) za vrijeme izlaganja u kipućoj vodi (2 sata). Nemodificirani uzorci imali su najveću čvr-

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

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

stoću u normalnim uvjetima, dok su kemijski modificirani uzorci (modificirani acetilacijskim sredstvom) pokazali najveću čvrstoću pri izlaganju u hladnoj vodi.

Termička modifikacija je postupak kojim se bez unošenja dodatnih kemikalija, samo uz utjecaj topline, tlaka i vlage, mijenja kemijska struktura staničnih stijenki. Kombiniranjem vrste medija za grijanje, vremena trajanja procesa, završne temperature te vrste drva koja se modificira (glavnih parametara modifikacije), dobivaju se željena svojstva modificiranog drva. Promjenom kemizma stanične stijenke smanjuje se njezin afinitet prema vodi te poboljšava dimenzionalna stabilnost. Termičkom modifikacijom mijenja se kemijska struktura u staničnoj stijenci, smanjuje se njezin afinitet prema vodi te se poboljšava dimenzionalna stabilnost. Smanjenje sadržaja vode u drvu smanjuju se i tlakovi para ispod nepropusnih debelostjenih premaza. Smanjenjem veličina bubrenja i utezanja smanjuju se naprezanja u sustavu premaz-površina drva te mu se produkuje vijek trajanja, kao i od takvog drva izrađenih proizvoda (Hasan i Despot, 2008).

Prema istraživanjima Živkovića i dr. (2008) rezultati pokazuju veliko smanjenje točke zasićenosti vlaknaca (prosječno 15 %) i sobnog ravnotežnog sadržaja vode (prosječno 3,5 do 5 %) pregrijanog drva u usporedbi s prirodnim. Ti se podaci odnose na jasenovinu i bukovicu obrađenu na dvije temperaturne razine, 190 i 210 °C. Koeficijenti utezanja pregrijanog drva nisu smanjeni u usporedbi s nemodificiranim drvom, ali je apsolutno smanjenje vodoupojnosti za 50 % rezultiralo povećanjem dimenzijske stabilnosti drva za 60 %.

Toplinska obrada drva pridonosi manjoj vodoupojnosti, poboljšava dimenzijsku stabilnost, povećava otpornost drva prema biološkoj razgradnji. Osim toga, smanjuju se mehanička svojstva takvog drva, promjena boje na suncu nije stalna i drvo širi miris paljevine u prostor (Jirouš-Rajković i dr., 2007). Miris zavarenog drva vrlo je sličan mirisu toplinski obrađenog drva samo je znatno slabijeg intenziteta.

S obzirom na to da se zavarivanje bukova moždanika u podlogu od hrastovine ili bukovicine (tvrde vrste drva) u prethodnim istraživanjima pokazalo uspješnim (Župčić i dr., 2008), cilj ovog rada jest istražiti mogućnost zavarivanja moždanika u podlogu od grabovine, utvrditi postoje li razlike između zavarivanja moždanika u termički modificiranu i nemodificiranu grabovinu te odrediti optimalno vrijeme utiskivanja moždanika.

## 2. MATERIJALI I METODE RADA 2 MATERIALS AND APPLIED METHODS

Istraživanja zavarivanja moždanika u podlogu od grabovine, koja je prethodno obrađena toplim zrakom (termički modificirana na temperaturi 200 °C u trajanju 48 h) i grabovine koja nije bila tretirana provedena su na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Modifikacija je rađena za komercijalne svrhe tako da su svi detaljniji podaci tijekom modifikacije tajna proizvođača. Drvo je prosječno imalo šest godova po centimetru a

tekstura je bila radijalno-tangentna (modificirani i nemodificirani uzorci) s obzirom na smjer zavarivanja.

### 2.1 Ispitni uzorci

#### 2.1. Test samples

Uzorci su bili izrađeni od modificirane i nemodificirane grabovine dim. 320 x 24 x 28 mm i u svakom su uzorku izbušene po tri rupe promjera 8 mm. U netretiranu grabovinu u podlogu je zavareno 12 moždanika (četiri uzorka s tri rupe u svakom). U termički tretiranu grabovinu ukupno su zavarena 24 moždanika (osam uzoraka s tri rupe u svakome).

Bukovi moždanici bili su nažlijebljeni (komercijalno ih je bilo lako nabaviti), srednjeg promjera 10,02 mm. Prema Pizziju i dr. (2003), zador od 2 mm optimalan je zador, jer ako je on veći ili manji, izvlačna se sila smanjuje. Bukovi moždanici duljine 120 mm rotacijom su utiskivani u provrt na dubinu 20 mm. Frekvencija vrtnje moždanika iznosila je 1520 o/min. Parametri zavarivanja bili su jednaki za modificiranu i za nemodificiranu grabovinu samo je bilo promjenjivo trajanje procesa zavarivanja.

Na slici 4. prikazan je uređaj uz pomoć kojega su moždanici zavarivani za podlogu. Vrijeme trajanja utiskivanja (zavarivanja) bilo je promjenjivo, u rasponu



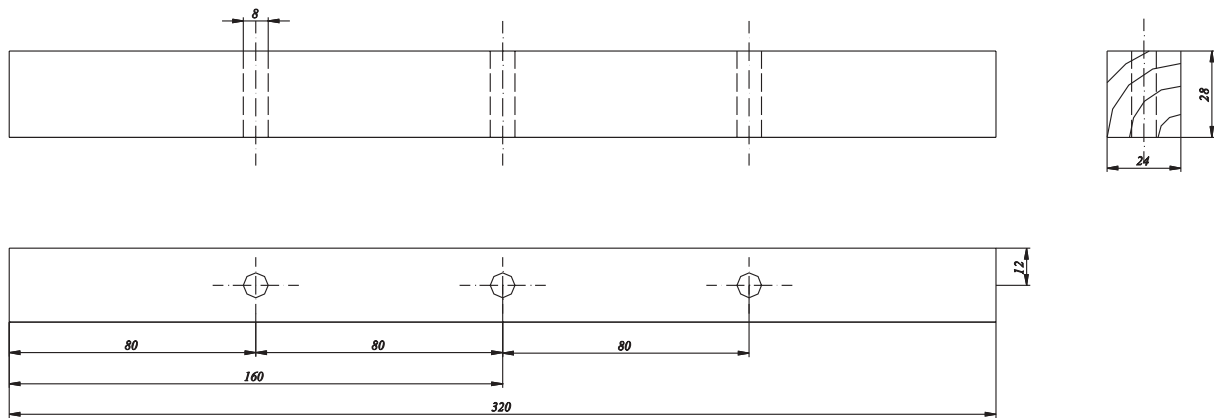
Slika 1. Materijal za izradu uzoraka (termički tretirana i netretirana grabovina)

Figure 1 Material for production of test samples (modified and normal hornbeam)



Slika 2. Obađeni ispitni uzorci

Figure 2 Made test samples



**Slika 3.** Ispitni uzorak za određivanje izvlačne sile  
**Figure 3** Test sample for determining the embedded force

od 1,1 do 1,6 s za nemodificiranu grabovinu i 1,5 do 2,8 s za modificiranu grabovinu.

Nakon utiskivanja uzorci su kondicionirani (temperatura 23 °C, relativna vlaga zraka 50 %) šest dana. Nakon završetka kondicioniranja ispitivana je izvlačna sila na kidalici tvrtke Wolpert.

## 2.2. Određivanje sadržaja vode

### 2.2 Determination of moisture content

Nakon završetka ispitivanja izvlačne sile za svaki je uzorak određen sadržaj vode. Na udaljenosti 50 mm od oba kraja uzorka ispiljene su po dvije probe kojima je odmah određena masa (vaganjem) te su stavljene u sušionik. Svi su uzorci osušeni na 0 % sadržaja vode (103 ± 2 °C) do konstantne mase. Sadržaj vode određivao se prema HRN ISO 3130 : 1999. (hrvatska norma za određivanje sadržaja vode za ispitivanje fizikalnih i mehaničkih svojstava drva).



**Slika 4.** Zavarivanje moždanika za podlogu  
**Figure 4** Welding of dowels into the basis

Prosječan sadržaj vode za nemodificiranu grabovinu iznosio je 7,9 % (min. 7,8 % a maks. 8,1 %). Sadržaj vode za termički modificiranu grabovinu bio je znatno niži, samo 3,1 % (min. 3,0 a maks. 3,3 %), što je vrlo značajna razlika. Modificirani i nemodificirani uzorci bili su u istim klimatskim uvjetima (šest dana) te je modificirana grabovina imala gotovo 2,5 puta manju vlagu od obične grabovine. Prije zavarivanja uzorci su držani u sobnim uvjetima oko 30 dana, ali sadržaj vode u drvu nije mjeren.

## 2.3. Određivanje gustoće

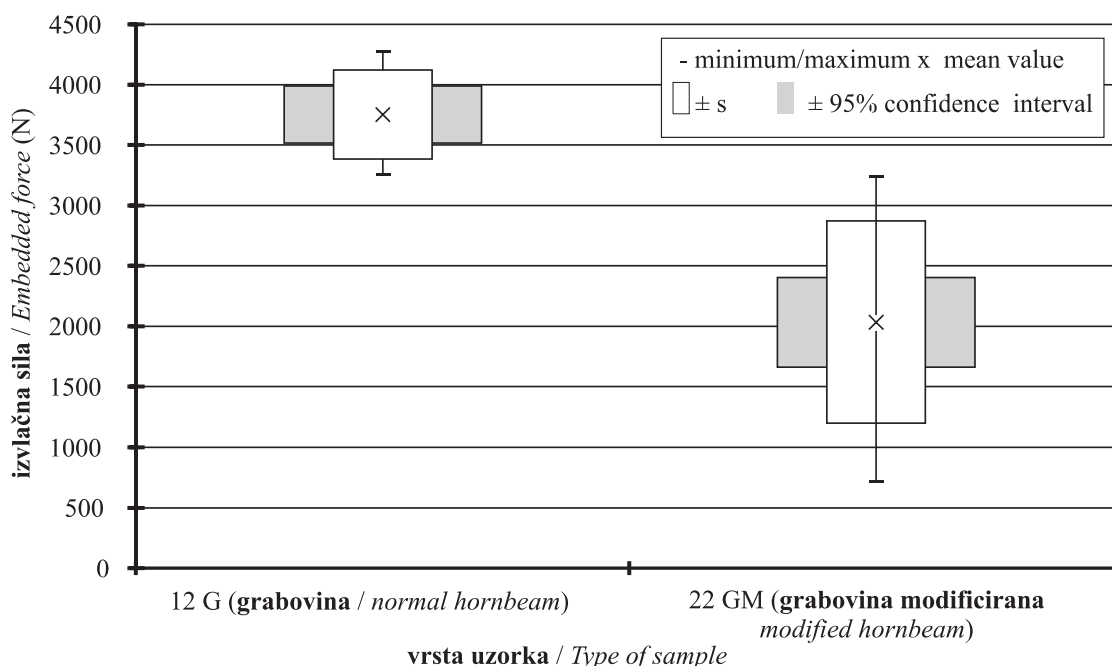
### 2.3 Determination of density

Nakon što je određen sadržaj vode u drvu na istim je probama određena gustoća drva prema HRN ISO 3131 : 1999. (hrvatska norma za određivanje gustoće drva za ispitivanje fizikalnih i mehaničkih svojstava drva).



**Slika 5.** Ispitni uzorak u uređaju za ispitivanje izvlačne sile (kidalica)

**Figure 5** Test sample in the device for the determination of embedded force



**Slika 6.** Statistička usporedba izvlačnih sila za modificiranu i nemodificiranu grabovinu  
**Figure 6** Statistical comparison of embedded force for modified and normal hornbeam

Prosječna gustoća ( $\rho_0$ ) nemodificirane grabovine iznosila je  $0,74 \text{ g/cm}^3$  (min.  $0,72 \text{ g/cm}^3$ , a maks.  $0,75 \text{ g/cm}^3$ ). Prosječna gustoća modificirane grabovine je  $0,73 \text{ g/cm}^3$  ( $0,69 \text{ g/cm}^3$ , a maks.  $0,80 \text{ g/cm}^3$ ), što je neznatno manje (prosječno  $0,55 \%$ ) od nemodificirane grabovine.

### 3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA 3 RESEARCH RESULTS AND DISCUSSION

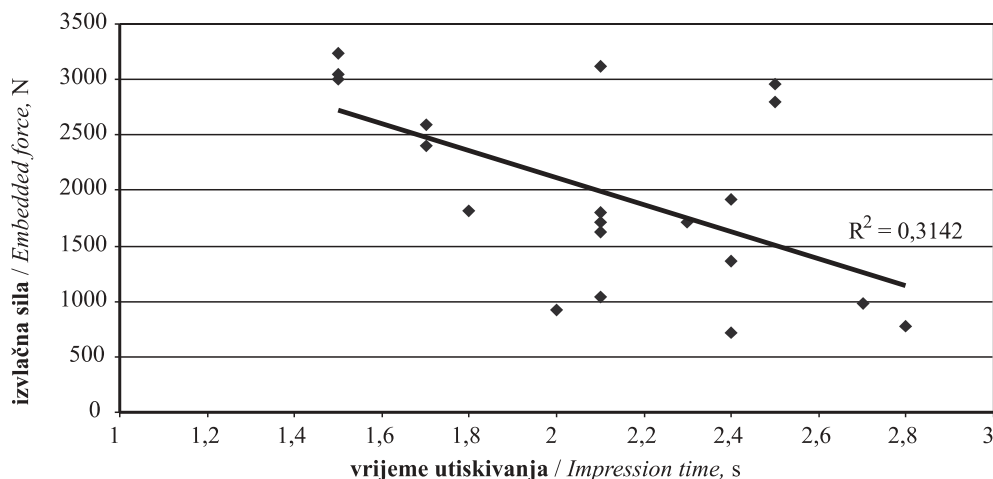
Rezultati ovog istraživanja pokazali su veću izvlačnu silu na nemodificiranoj grabovini nego na modificiranoj (sl. 6). Drvu se modifikacijom povećava krtost pa dolazi do loma vlaknaca, a ne do isprepletanja, što je rezultiralo smanjenjem izvlačne sile zavarenog moždanika. Smanjenje mehaničkih svojstava u smjeru vlaknaca i okomito na njih, slabljenje otpornosti na cijepanje te znatan porast krtosti posljedica su termičke modifikacije (Feist i dr., 1987; Rapp i dr., 2001). Veće rasipanje podataka za modificiranu grabovinu obja-

šnjava se time što je i vremenski interval procesa zavarivanja trajao dulje.

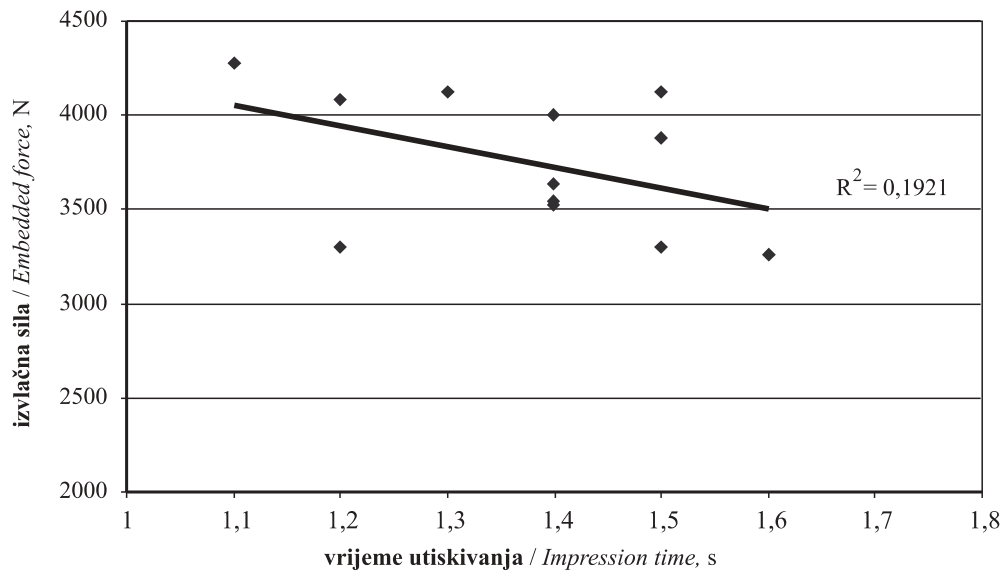
Pri zagrijavanju drva bez kisika najprije se razgrađuju hemiceluloze, zatim celuloza te na kraju lignin (Tjeerdsmas i dr., 1998). Upravo je ta razgradnja celuloze jedan od čimbenika koji utječu na čvrstoću zavarenog spoja.

Prosječna površina zavarenog spoja nemodificirane grabovine iznosila je  $569,36 \text{ mm}^2$ , pa je prosječna čvrstoća zavarenog spoja  $6,6 \text{ N/mm}^2$ . Prosječna površina spoja modificirane grabovine bila je  $564,23 \text{ mm}^2$  (manja), na što uvelike utječe trajanje procesa zavarivanja i krtost podloge. Prosječna čvrstoća zavarenog bukova moždanika u modificiranu grabovinu iznosila je  $3,6 \text{ N/mm}^2$ .

Brzina (vrijeme) utiskivanja drvenog čepa (moždanika) u podlogu izravno utječe na čvrstoću zavarenog spoja (Ganne-Chedeille i dr., 2005). Iz dijagrama na slici 7. (modificirana grabovina) vidljivo je smanjenje izvlačne sile s povećanjem vremena utiskivanja. Korela-



**Slika 7.** Usporedba izvlačnih sila i vremena utiskivanja za modificiranu grabovinu  
**Figure 7** Comparison of embedded force and impression time for modified hornbeam



**Slika 8.** Usporedba izvlačnih sila i vremena utiskivanja za nemodificiranu grabovinu  
**Figure 8** Comparison of embedded force and impression time for normal hornbeam

cijski koeficijent ( $r = 0,56$ ) pokazuje značajnu povezanost vremena utiskivanja i izvlačne sile. Što je brzina utiskivanja manja, to se razvija veća temperatura na kontaktnim površinama, pa može doći do paljenja drva, a time i do smanjenja izvlačne sile. Vrijeme utiskivanja nije moglo biti manje od 1,5 s jer su nastajale pukotine na uzorku. Za vrijeme trajanja zavarivanja od 1,5 s moždanik napravi 38 okretaja, što prosječno iznosi 0,53 mm pomaka po svakom okretaju. Ako zavarivanje traje 2,8 s, tada moždanik napravi 70,9 okretaja uz prosječni pomak od 0,28 mm po jednom okretaju.

Pri tom postupku zavarivanja cjepivost drva vrlo je važno mehaničko svojstvo, koje određuje vrijeme utiskivanja moždanika. Što je to vrijeme kraće, kraće je i trajanje samog zavarivanja, ali su veća opterećenja na bočne površine rupe i uzrokuju pukotine na uzorku. Nastane li pukotina u smjeru zavarivanja, proces se prekida i izvlačna sila moždanika naglo pada. Kad bi poprečni presjek uzoraka bio veći, vjerojatno bi trajanje zavarivanja moglo biti kraće a time bi i rezultati izvlačne sile bili bolji (veći).

Za nemodificiranu grabovinu interval utiskivanja iznosio je od 1,1 do 1,6 s. Koeficijent korelacije ( $r = 0,44$ ) pokazuje da je riječ o slabo koleriranim podacima povezanosti vremena utiskivanja i izvlačne sile. Trajanje zavarivanja od 1,1 s znači da moždanik napravi 27,9 okretaja ili pomak od 0,72 mm po jednom okretaju, dok za vrijeme trajanja od 1,6 s moždanik napravi 40,5 okretaja ili pomak od 0,49 mm po okretaju. S obzirom na dimenzije uzorka, vrijeme utiskivanja nije moglo biti kraće od 1,1 s zbog pojave pukotina, ali i maksimalno trajanje utiskivanja od 1,6 s daje zadovoljavajuću izvlačnu silu s obzirom na to da je riječ o slabom koeficijentu korelacije.

#### 4. ZAKLJUČAK 4 CONCLUSION

Većina dobrih svojstava termički obrađenog drva ne dolazi do izražaja u procesu zavarivanja. Jedan od

razloga smanjenja izvlačne sile termički obrađenog drva u usporedbi s neobrađenim jest smanjenje nekih mehaničkih svojstava takovog drva. Na temelju rezultata provedenih istraživanja može se zaključiti sljedeće.

- Bukovi se moždanici mogu uspješno zavariti u termički modificiranu i u nemodificiranu (običnu) grabovinu.
- Eksperiment je pokazao da moždanici zavareni u nemodificiranu grabovinu imaju veću izvlačnu silu (prosječno 84 %) nego moždanici zavareni u termički modificiranu grabovinu.
- Brzina utiskivanja moždanika (trajanje procesa zavarivanja) uvelike utječe na izvlačnu silu i što je to vrijeme dulje, sila je manja (to posebno vrijedi za modificiranu grabovinu). Ako se poveća vrijeme utiskivanja, na uzorku se u smjeru zavarivanja pojavljuju pukotine koje smanjuju izvlačnu silu.
- Istraživanje je pokazalo da je trajanje zavarivanja od 1,1 do 1,6 s za nemodificiranu grabovinu optimalno, a za modificiranu je grabovinu najkraće trajanje zavarivanja 1,5 s.
- Sadržaj vode u drvu termički modificirane i nemodificirane grabovine značajno se (prosječno 2,5 puta) razlikuju nakon kondicioniranja (šest dana).

#### 5. LITERATURA 5 REFERENCES

1. Feist, W. C.; Sell, J. 1987: Weathering Behaviour of Dimensionally Stabilized Wood Treated by Heating under Pressure of Nitrogen Gas, *Wood and Fiber Science*, 19 (2):183-195.
2. Ganne-Chedeille, C.; Pizzi, A.; Thomas, A.; Leban, J.M.; Bocquet, J.-F.; Despres, A.; Mansouri, H. 2005: Parameter interactions in two-block welding and the wood nail concept in wood dowel welding. *J. Adhesion Sci. Technol.*, 19 (13-14): 1157 - 1174.
3. Hasan, M.; Despot, R.; 2003: Termički modificirano drvo – materijal današnjice, *Les – wood*, 55 (3): 342-345.
4. Jirouš-Rajković, V.; Turkulin, H.; Živković, V. 2007: Metode poboljšanja svojstava građevnog drva, *Drvna industrija*, 58 (1): 23-33.

5. Jones, D.; Pizzi, A. 2007: Frictional welding of dowels into modified wood. Proceedings of the 5<sup>th</sup> COST E34, Bonding of Modified Wood, September 6<sup>th</sup>, University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Bled-Slovenija, 13 - 19.
6. Pizzi, A.; Properzi, M.; Leban, J.M.; Zanetti, M.; Pichelin, F. 2003: Mechanically – induced wood welding. *Maderas. Ciencia y tecnologia*, 5 (2): 101-106.
7. Rapp, A. O.; Sailer, M. 2001: Oil-heat-treatment of wood – process and properties, *Drvena industrija*, 52 (2): 63-70.
8. Tjeerdsma, B.; Boonstra, M.; Pizzi, A.; Tekely, P.; Militz, H. 1998: Two-steps heat-treated timber: molecular-level reasons for wood performance improvement. *Holz Roh-Werkstoff*, 56 (3): 149-153.
9. Živković, V.; Prša, I.; Turkulin, H.; Sinković, T.; Jirouš-Rajković, V. 2008: stability of heat treated wood, *Drvena industrija*, 59 (2): 69-73.
10. Župčić, I.; Mihulja, G.; Bogner, A.; Grdić, D. 2008: Welding dowels in the transversal cross-section of solid wood. Proceedings of International conference: Wood is good - properties, technology, valorisation, application: University of Zagreb, Faculty of Forestry, UFI-Paris, Zagreb, October 17<sup>th</sup> 2008, 105-112.
11. Župčić, I.; Mihulja, G.; Bogner, A.; Grbac, I.; Hrovat, B. 2008: Zavarivanje masivnog drva, *Drvena industrija*, 59 (3): 113-119.
12. \*\*\* HRN ISO 3130 : 1999. (hrvatska norma za određivanje sadržaja vode za ispitivanje fizikalnih i mehaničkih svojstava drva)
13. \*\*\* HRN ISO 3131 : 1999. (hrvatska norma za određivanje gustoće drva za ispitivanje fizikalnih i mehaničkih svojstava drva)

**Corresponding address:**

Assistant IVICA ŽUPČIĆ, BSc

Department of Furniture and Wood Products  
Faculty of Forestry  
University of Zagreb  
Svetošimunska 25, p.p. 422  
HR-10002 Zagreb, Croatia  
e-mail: zupcic@sumfak.hr