

Utjecaj toplinske modifikacije bukovine na čvrstoću dužinski spojenih tokarenih elemenata metodom rotacijskog zavarivanja

Influence of Thermal Modification of Beech on the Strength of Longitudinally Connected Turned Elements by Rotational Welding Method

Izvorni znanstveni rad • Original scientific paper

Prispjelo – received: 20. 10. 2010.

Prihvaćeno – accepted: 25. 2. 2011.

*UDK: 630*824; 674.028.1*

doi:10.5552/drind.2011.1034

SAŽETAK • Tehnika rotacijskog zavarivanja drva noviji je način spajanja drvenih dijelova bez upotrebe ljepila, uz pomoć topline koja nastaje trenjem elemenata koje spajamo. Tijekom procesa zavarivanja zbog utjecaja tlaka i topline rastali se površinski sloj drva (lignin i drvene polioze) koji je u međusobnom kontaktu. Istraživanje se temelji na ispitivanju utjecaja toplinske modifikacije i vode (sobne temperature) na čvrstoću zavarenog spoja. Ispitni su uzorci bili dužinski spojeni tokareni elementi izrađeni od bukovine. Toplinski modificirano drvo može se uspješno zavarivati. Rezultati istraživanja pokazali su da se s porastom temperature toplinske modifikacije i potapanjem uzoraka u hladnu vodu (20 °C) izvlačna sila, odnosno čvrstoća spoja smanjuje s porastom gubitka mase pri termičkoj modifikaciji smanjuje se izvlačna sila. U uzoraka koji su bili izloženi utjecaju vode najveća je čvrstoća spoja zabilježena pri zavarivanju drva modificiranoga na 140 °C, a najmanja pri zavarivanju drva modificiranoga na 180 °C.

Ključne riječi: bukovina, zavarivanje masivnoga i modificiranog drva, čvrstoća zavarenog spoja, dužinsko spajanje

ABSTRACT • Wood welding technique is a newer way of connecting wooden parts without using glue with the temperature usually achieved by friction of elements that are connected. During the welding process, due to the influence of pressure and temperature, the surface wood layer (lignin and polyoses) is melted. The research is based on an examination of the influence of thermal modification and the impact of water (room temperature) on the strength of welded joints. Test samples were longitudinally connected turned elements made of solid beech wood. Thermally modified wood can be successfully welded. The results showed that increasing the temperature

¹ Autori su viši asistent, student i profesor na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Republika Hrvatska.

¹ Authors are senior assistant, student and professor at Faculty of Forestry, University of Zagreb, Croatia.

of thermal modification and immersing the samples in cold water (20 °C) cause the decrease of embedded force and tensile strength, respectively. The research has also shown that the increase in weight loss during thermal modification reduces the tensile forces. With samples immersed in cold water, the highest joint strength was recorded in welding thermally modified wood at 140 °C and the lowest joint strength was recorded in welding thermally modified wood at 180 °C.

Key words: *beech, welding of solid and modified wood, strength of welded joints, longitudinal bonding*

1. UVOD 1 INTRODUCTION

Zavarivanje drva trenjem proces je u kojemu se zbivaju kemijsko-fizikalne reakcije, zbog trenja nastaje toplina koja tali i omekša strukturu drva, a hlađenjem tako nastale taline dobiva se čvrsti spoj. Metodom zavarivanja mogu se uspješno spojiti dva ili više elemenata drva bez dodavanja bilo kakvog ljepila ili vezivnog sredstava. Na površinama koje se dodiruju zbog trenja se pojavljuje povišena temperatura koja omekša i rastali strukturu drva (lignin i hemicelulozu) te nataju kemijske promjene. Kemijske promjene počinju s početkom zavarivanja i traju i nakon prestanka zavarivanja (u fazi skrućivanja taline). Hlađenjem struktura drva otvrdnjava te čini čvrsti spoj. Kemijske promjene koje nastaju u drvu nisu obuhvaćene ovim istraživanjem, već su primijenjena znanja iz dostupne literature.

Modifikacija drva postiže se djelovanjem kemijskih, bioloških ili fizikalnih činitelja na drvo, a rezultat tog djelovanja jest promjena kemijskog sastava s ciljem poboljšanja određenih osobina (Hill, 2006). Kombiniranjem vrste grijućeg medija, vremena trajanja procesa, završne temperatura te vrste drva koja će biti modificirana (glavnih parametara modifikacije), dobivaju se željena svojstva modificiranog drva. Promjenom kemizma stanične stijenke smanjuje se njezin afinitet prema vodi, što dovodi do poboljšavanja dimenzionalne stabilnosti. Smanjenjem veličina bubrenja i utezanja smanjuju se naprezanja u sustavu premaz - površina drva te se produljuje vijek trajanja drva, ali i proizvoda izrađenih od modificiranog drva (Hasan i Despot, 2008).

Prema istraživanjima Živkovića i dr. (2008), dobiveno je veliko smanjenje točke zasićenosti vlaknaca (prosječno za 15 %) i sobnoga ravnotežnog sadržaja vode (prosječno za 3,5 do 5 %) pregrijanog drva u odnosu prema prirodnome. Ti se podaci odnose na jasevinu i bukvinu obrađenu na dvije temperaturne razine, na 190 i 210 °C. Koeficijenti utezanja pregrijanog drva nisu smanjeni u usporedbi s nemodificiranim, ali je apsolutno smanjenje vodoupojnosti za 50 % rezultiralo povećanjem dimenzijske stabilnosti za 60 %. Toplinska obrada drva pridonosi manjoj vodoupojnosti, poboljšava dimenzijsku stabilnost, povećava otpornost drva prema biološkoj razgradnji. Takvom se drvu smanjuju mehanička svojstva, promjena boje (zbog modifikacije) na suncu nije stalna i modificirano drvo širi miris paljevine u prostor (Jirouš-Rajković i dr., 2007).

Mehanička svojstva termički modificiranog drva smanjuju se u smjeru vlaknaca drva i okomito na njih. Na temelju ispitivanja čvrstoće modificiranog drva na

udarac mogu se procijeniti njegova mehanička svojstva (Rapp i Sailer, 2001). Čvrstoća modificiranog drva na udarac linearno se smanjuje s porastom temperature modifikacije. Čvrstoća na udarac termički modificiranog drva manja je za 60 % u odnosu prema netretiranom drvu (Sinn i dr., 2002). Ako je modifikacija provedena u zraku, čvrstoća na udarac bit će znatno manja nego pri modifikaciji provedenoj u dušiku. Windeisen i dr. (2007) ispitivali su kemijske promjene na bukovini tijekom termičke modifikacije. Rezultati istraživanja pokazali su da toplinska obrada bukovine na različitim temperaturama uzrokuje promjenu tehnoloških obilježja drva. Postotak fenolnih OH grupa povećava se signifikantno s porastom temperature tretmana u usporedbi s neobrađenim drvom.

Jones i Pizzi (2007) istraživali su kako hladna i kipuća voda utječu na čvrstoću zavarenog spoja modificiranog drva sitkanske smreke. Rezultati istraživanja pokazali su veću izvlačnu silu spojeva toplinski i kemijski (na bazi alkohola) modificiranog drva za vrijeme izlaganja u kipućoj vodi (2 h). Nemodificirani uzorci imali su najveću izvlačnu silu u normalnim uvjetima, dok su kemijski modificirani uzorci (modificirani aceti-lacijskim sredstvom) imali najveću izvlačnu silu pri izlaganju u hladnoj vodi. Postupak zavarivanja modificiranog drva pokazao se primjenjivim i poboljšavao je čvrstoću spoja ako su zavareni spojevi bili izloženi utjecaju vlage i vode. Rezultati ispitivanja pokazuju da upotreba modificiranog drva pri zavarivanju može rezultirati spojem koji može izdržati veći utjecaj vlage. To otvara nove mogućnosti primjene postupka zavarivanja drva.

Utjecaj predgrijavanja drva i presjeka na linearno vibracijsko zavarivanje istraživali su Omrani i dr. (2009). Rezultati istraživanja pokazali su da predgrijavanje površine prije zavarivanja u bukovine pridonosi povećanju posmične čvrstoće s povećanjem predgrijavanja, dok je u hrastovine s povećanjem predgrijavanja zabilježen pad posmične čvrstoće te se povećava standardna devijacija izvlačne sile.

Župčić i dr. (2009) istraživali su zavarivanje moždanika u podlogu od toplinski tretirane i netretirane grabovine. Temperatura toplinske modifikacije iznosila je 200 °C u trajanju 48 h. Frekvencija vrtnje bukova moždanika iznosila je 1 520 okr./min. Istraživanje je pokazalo da moždanici zavareni u podlogu od grabovine koja nije bila toplinski modificirana imaju veću izvlačnu silu (prosječno 84 %, što je statistički značajna razlika) nego moždanici zavareni u toplinski modificiranu podlogu.

Provedeno je istraživanje (Župčić, 2010) u kojemu je moždanik (toplinski modificiran i nemodificiran) zavarivan u smjeru vlaknaca i okomito na njih u po-

Tablica 1. Uzorci korišteni u istraživanju

Table 1 Research samples

Oznaka Code	Opis / Description
N	uzorci netretirani toplinski / Normal test samples
T14	uzorci tretirani toplinski, na temperaturi 140 °C / Test samples thermally modified at 140 °C
T16	uzorci tretirani toplinski, na temperaturi 160 °C / Test samples thermally modified at 160 °C
T18	uzorci tretirani toplinski, na temperaturi 180 °C / Test samples thermally modified at 180 °C
NV	uzorci netretirani toplinski, potapani u hladnu vodu / Normal test samples immersed in cold water
TV14	uzorci tretirani toplinski, na temperaturi 140 °C i potapani u hladnu vodu Test samples thermally modified at 140 °C and immersed in cold water
TV16	uzorci tretirani toplinski, na temperaturi 160 °C i potapani u hladnu vodu Test samples thermally modified at 160 °C and immersed in cold water
TV18	uzorci tretirani toplinski, na temperaturi 180 °C i potapani u hladnu vodu Test samples thermally modified at 180 °C and immersed in cold water

dlogu koja nije bila modificirana, te u podlogu koja je bila modificirana (toplinski i kemijski limunskom kiselinom). Zador pri zavarivanju iznosio je 1,6 mm, frekvencija vrtnje 1 520 okr./min, uz trajanje procesa zavarivanja 0,8 s. Usporedbom zavarivanja moždanika u modificiranu bukovinu toplim zrakom i u nemodificiranu bukovinu u smjeru vlakana te okomito na njih, uočena je statistički značajna razlika u veličini izvlačne sile. I pri lijepljenju nažlijebljenog moždanika u modificiranu bukovinu toplim zrakom i u nemodificiranu bukovinu pokazala se statistički značajna razlika. Modifikacija bukovine toplim zrakom i limunskom kiselinom utječe na smanjenje (statistički značajno) izvlačne sile zavarenoga ili lijepljenog spoja. Pri zavarivanju moždanika modificiranoga limunskom kiselinom i toplim zrakom u nemodificiranu podlogu izvlačna se sila odnosno čvrstoća spoja ne može izmjeriti jer je vlačna čvrstoća moždanika smanjena, te se moždanik lomi na vlak (prosječna sila pri kojoj nastaje lom modificiranog moždanika jest 2 586 N).

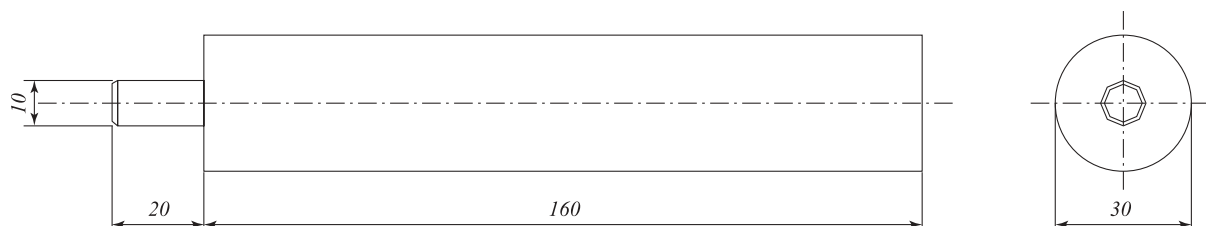
Toplinskom se modifikacijom smanjuju mehanička svojstva drva, ali se poboljšava njegova dimenzijska stabilnost te mu se smanjuje ravnotežni sadržaj vode. Ta pozitivna fizikalna svojstva nastojala su se iskoristiti za eventualno povećanje čvrstoće spoja u uzoraka izloženih utjecaju vode. Stoga je cilj rada bio istražiti utjecaj režima toplinske modifikacije bukovine i hladne vode na čvrstoću odnosno izvlačnu silu zavarenog spoja kod dužinski spojenih tokarenih elemenata. Istraživanje utjecaja hladne vode na čvrstoću spoja provedeno je prema normi za ljepilo (HRN EN 204). Osim spomenutih čimbenika, istraživani je i utjecaj

početne gustoće drva i gubitka mase zbog toplinske modifikacije na čvrstoću spoja.

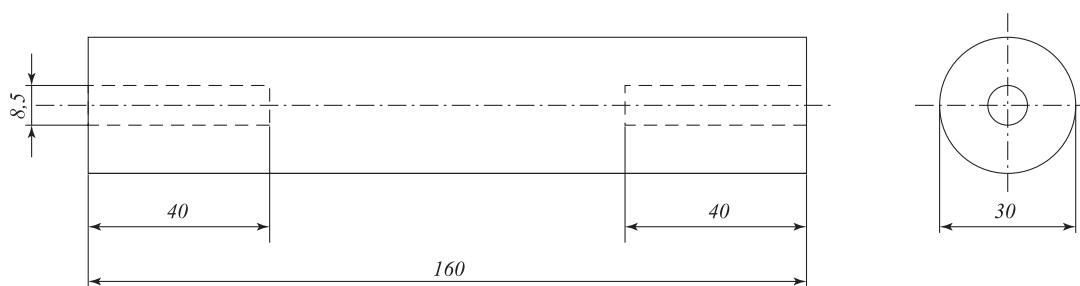
2. MATERIJALI I METODE 2 MATERIALS AND METHODS

2.1. Izrada uzoraka zavarivanjem 2.1 Welding of samples

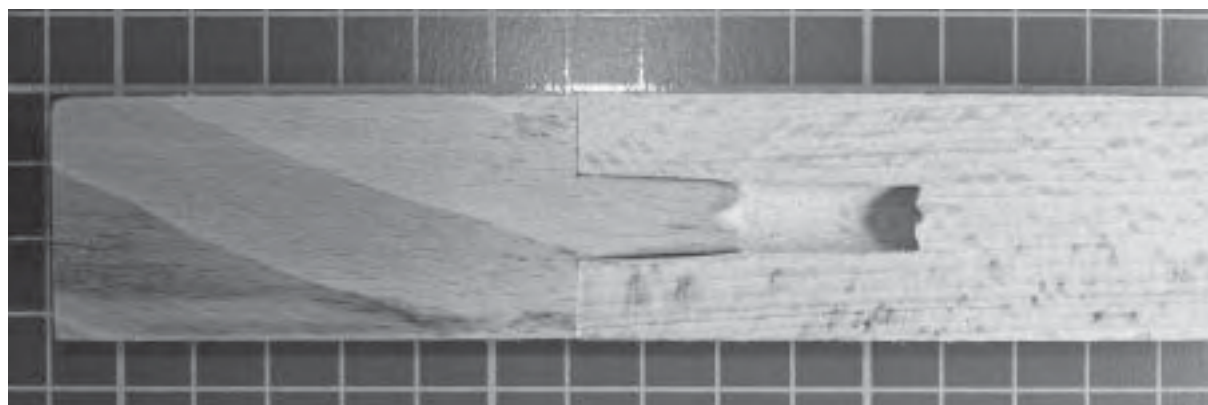
Istraživanja utjecaja toplinske modifikacije bukovine i hladne vode na čvrstoću dužinski spojenih tokarenih elemenata provedena su na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Od ukupno 200 zavarenih uzoraka (modificiranih i nemodificiranih), 193 su uključena u istraživanja, a sedam je uzoraka za vrijeme zavarivanja raspucalo, pa nisu korišteni u daljnjim razmatranjima. Za dužinsko sastavljanje tokarenih elemenata upotrijebljeni su uzorci bukovine promjera 30 mm. Duljina uzoraka iznosila je 160 mm, uvećana za duljinu glatkoga tokarenog čepa koja je iznosila 20 mm. Promjer rupe bio je 8,50 mm, a prosječni promjer čepa 9,92 mm (prosječni zador iznosio je 1,42 mm). Zavarivanje čepa u rupu vršeno je u kontroliranim uvjetima, uz pomoć posebno prilagođenog uređaja i pristroja. Broj okretaja pri zavarivanju uzoraka bio je konstantan i iznosio je 1 520 okr./min, a prosječno trajanje zavarivanja iznosilo je 0,96 s, što odgovara pomaku čepa od 0,82 mm po okretaju. Nakon prestanka rotacije zadržan je pritisak na spojene elemente u trajanju od dvije do četiri sekunde. Skice toplinski modificiranih i nemodificiranih uzoraka korištenih u ovom istraživanju prikazane su na slikama 1. i 2, a presjek dužinski spojenih (zavarenih) tokarenih elemenata prikazan je na slici 3.



Slika 1. Tokareni ispitni uzorak s čepom duljine 20 mm
Figure 1 Turned test sample with dowel length of 20 mm



Slika 2. Tokareni ispitni uzorak s rupom promjera 8,5 mm
Figure 2 Turned test sample with a hole of 8.5 mm in diameter



Slika 3. Uzdužni presjek tokarenog elementa dužinski spojenoga uz pomoć čepa duljine 20 mm
Figure 3 Cross section of linearly turned beech element with a 20 mm dowel

2.2. Određivanje sadržaja vode i gustoće

2.2 Determination of moisture content and density

Sadržaj vode određivao se prema HRN ISO 3130:1999 (hrvatska norma za određivanje sadržaja vode za ispitivanje fizikalnih i mehaničkih svojstava drva). Prosječan sadržaj vode nakon sušenja uzoraka (103 ± 2 °C) iznosio je 9,40 % (min. 8,81 %, maks. 10,08 %).

Nakon što je određen sadržaj vode u drvu, na istim je probama određivana gustoća drva prema HRN ISO 3131:1999 (hrvatska norma za određivanje gustoće drva za ispitivanje fizikalnih i mehaničkih svojstava drva). Prosječna gustoća bukovine iznosila je $0,71 \text{ g/cm}^3$ (min. $0,67 \text{ g/cm}^3$, maks. $0,77 \text{ g/cm}^3$).

2.3. Postupak toplinske modifikacije bukovine

2.3 Process of thermal modification of beech

Postupak toplinske modifikacije bukovine proveden je prije zavarivanja uzoraka. Uzorci su toplinski modificirani na temperaturama 140, 160 i 180 °C. Postupak toplinske modifikacije uzoraka sastojao se od sušenja uzoraka na temperaturi 103 ± 2 °C do 0 % sadržaja vode. Nakon određivanja mase vaganjem uzorci su zagrijani na temperaturu od 140, 160 i 180 °C (ovisno o vrsti ispitivanja) u trajanju od 9 h. Trajanje zagrijavanja sušionika od 103 ± 2 °C do željene temperature iznosilo je oko 30 min, isto koliko i postupno smanjivanje temperature na 103 ± 2 °C. Nakon toplinske modifikacije uzorcima je određena masa vaganjem kako bi se mogao odrediti gubitak mase nakon modifikacije. Prije zavarivanja uzorci su kondicionirani u laboratorijskim uvjetima (temperatura 23 ± 2 °C, relativna vlaga zraka 50 ± 5 %) u trajanju tri tjedna.

Prosječni sadržaj vode (nakon kondicioniranja) uzoraka tretiranih na 140 °C iznosio je 5,73 %, tretiranih na 160 °C iznosio je 4,43 % a tretiranih na 180 °C iznosio je 1,56 %.

2.4. Postupak potapanja uzoraka u hladnu vodu

2.4 Procedure of immersing samples in cold water

Nakon toplinske modifikacije, kondicioniranja u laboratorijskim uvjetima (temperatura 23 ± 2 °C, relativna vlaga zraka 50 ± 5 %) i zavarivanja, polovica uzoraka potapana je u hladnu vodu. Ispitivanje se provodilo prema normi za ljepila HRN EN 204. Uzorci su bili potapani u vodi pri 20 ± 5 °C, u vremenu od 3 h. Nakon potapanja višak vode uklonjen je suhom krpom i uzorci su ostavljeni dva dana na kondicioniranju u laboratorijskim uvjetima (temperatura 23 ± 2 °C, relativna vlaga zraka 50 ± 5 %). Nakon kondicioniranja uzorcima je određena masa vaganjem i potom su stavljeni na sušenje. Postupak se sastojao od postupnog zagrijavanja uzoraka na temperaturu 103 ± 2 °C do 0 % sadržaja vode. Nakon sušenja uzorci su tri tjedna kondicionirani u laboratorijskim uvjetima, te im je prosječni sadržaj vode za modifikaciju na 140 °C iznosio 4,15 %, za 160 °C sadržaj vode je bio 3,81 %, a uzorci modificirani na 180 °C imali su prosječni sadržaj vode od 2,38 %.

2.5. Metoda ispitivanja

2.5 Test method

Ispitivanje rotacijski zavarenih spojeva (moždanka) na toplinski modificiranim i u hladnu vodu potapanih bukovih uzoraka provedeno je na univerzalnoj kidalici u Zavodu za znanost o drvu na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Pomak za vrijeme ispitivanja

vanja iznosio je 5 mm/min. Uz pomoć računala obavljena su mjerenja sile i pomaka, pa su sve vrijednosti točno i precizno izmjerene.

3. REZULTATI I DISKUSIJA 3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Utjecaj toplinske modifikacije bukovine i hladne vode na izvlačnu silu

3.1 Influence of thermal modification of beech and cold water on embedded force

Rezultati istraživanja (tabl. 2 i sl. 4) pokazali su da toplinska modifikacija bukovine, a pogotovo hladna voda, imaju negativan utjecaj na izvlačnu silu odnosno na čvrstoću spoja. Najbolje rezultate izvlačne sile postigli su nemodificirani uzorci, što je bilo i očekivano. Što je temperatura modifikacije, veća to je čvrstoća spoja odnosno izvlačna sila manja. Drvu se modifikacijom povećava krtoš, pa dolazi do loma vlaknaca, a ne do isprepletanja u talini, što je rezultiralo smanjenjem izvlačne sile zavarenog čepa. Smanjenje mehaničkih svojstava u smjeru vlaknaca i okomito na njih, slabljenje otpornosti na cijepanje te znatan porast krtošći posljedica su termičke modifikacije (Feist i dr., 1987; Rapp i Sailer, 2001). Pri zagrijavanju drva bez kisika najprije se razgrađuju drvene polioze (hemiceluloze), zatim celuloza, te na kraju lignin (Tjeerdsma i dr., 1998). Upravo je ta razgradnja celuloze jedan od čimbenika koji utječu na čvrstoću zavarenog spoja.

Potapanjem nemodificiranih i modificiranih uzoraka u hladnu vodu rezultiralo je značajnijim smanjenjem izvlačne sile. Toplinski netretirani uzorci koji su potapani u hladnu vodu (NV) imaju u prosjeku 47 % manju izvlačnu silu od uzoraka netretiranih toplinski i nepotapanih u hladnu vodu (N). Uzorci tretirani toplinski na temperaturi 140 °C potapani u hladnu vodu (TV14) imaju u prosjeku 41 % manju izvlačnu silu od nepotapanih uzoraka (T14). Uzorci tretirani toplinski na temperaturi 160 °C potapani u hladnu vodu (uzorci TV16) imaju u prosjeku 50 % manju izvlačnu silu od uzoraka tretiranih na temperaturi 160 °C koji nisu bili

potapani u hladnu vodu (T16). Uzorci tretirani toplinski na temperaturi 180 °C potapani u hladnu vodu (TV18) imaju u prosjeku 42 % manju izvlačnu silu od uzoraka koji nisu potapani (T18). Dobiveni rezultati imaju sličan trend kao i rezultati do kojih su u svojim istraživanjima došli Jones i Pizzi (2007). Iz njihova istraživanja također je vidljiv negativan utjecaj hladne vode na izvlačnu silu.

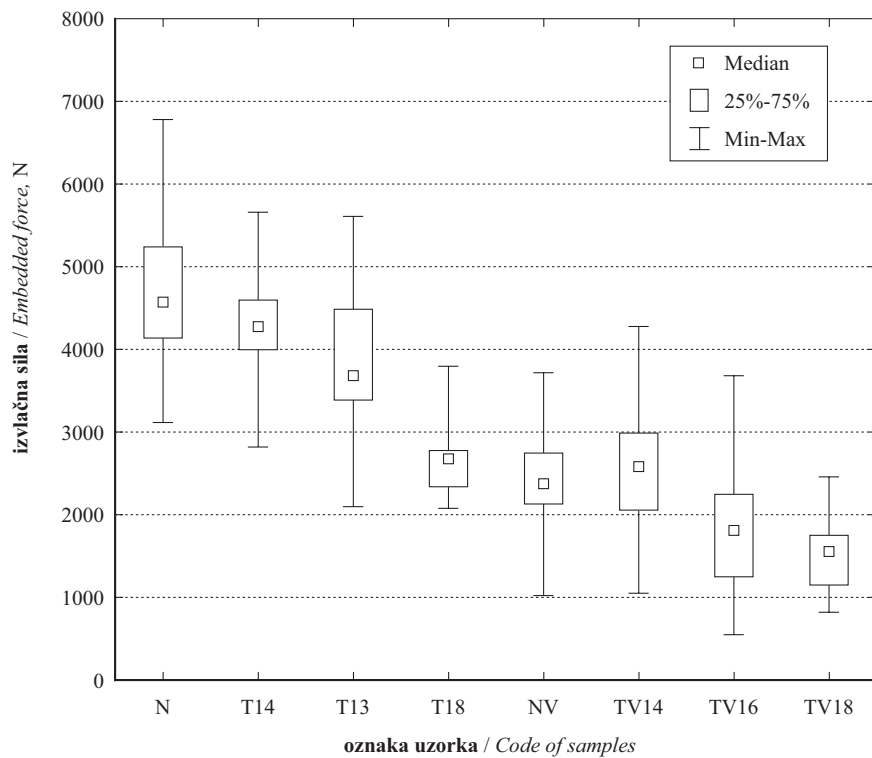
Prema rezultatima istraživanja, za gotovo sve spojeve koji su izloženi utjecaju hladne vode zamijećen je pad izvlačne sile, samo je pri toplinskoj modifikaciji na 140 °C zabilježen porast izvlačne sile u usporedbi s nemodificiranim drvom. Stoga se može zaključiti da nije opravdana upotreba toplinske modifikacije jer daje vrlo malo poboljšane rezultate od zavarivanja drva koje nije bilo toplinski modificirano. Osim toga, sam proces podrazumijeva određenu potrošnju energije i vremena, a dobiveni rezultati nisu značajno bolji. S obzirom na to da se toplinskom modifikacijom povećava dimenzijska stabilnost drva, pretpostavljeno je da će zavareni spoj od modificiranog drva biti otporniji na utjecaj vode. Rezultati istraživanja nisu potvrdili tu pretpostavku.

U ovom je istraživanju odabran zador od 1,42 mm, koji nipošto nije optimalan jer je prema Pizziju i dr. (2003) zador od 2 mm optimalan, a ako je veći ili manji, izvlačna se sila smanjuje (primijenjena frekvencija vrtnje iznosila je 1 200 okr./min). U istraživanju je korišten manji zador od optimalnoga da bi se spriječilo raspucavanje modificiranog drva. Modifikacijom se povećava krtoš drva, što dovodi do pojave pukotina u zavarenom spoju i time se smanjuje čvrstoća spoja. Svaki spoj na kojem se pojavi pukotina ne može se rabiti u daljnjim istraživanjima. Prema provedenim istraživanjima (Župčić i dr., 2010), vidljivo je da izvlačna sila postiže maksimalne iznose pri zadoru od 2 do 2,5 mm, pa su to ujedno i optimalni zadori za rotacijsko zavarivanje nažlijebljenih moždanika (frekvencija vrtnje 1 520 okr./min). Kada se zadori povećavaju ili smanjuju u odnosu prema optimalnima, dolazi do smanjenja izvlačne sile odnosno čvrstoće spoja (odnosi se na toplinski neobrađeno drvo).

Tablica 2. Deskriptivna statistika izvlačne sile u ovisnosti o toplinskoj modifikaciji bukovine i o hladnoj vodi

Table 2 Descriptive statistics of results of embedded force in dependence on thermal modification of beech and cold water

Oznaka uzorka Code	Aritmetička sredina izvlačne sile Embedded force Means N	Broj uzoraka Number of samples	Standardna devijacija izvlačne sile Embedded force Std. Dev.	Minim. izvlačna sila Embedded force Minimum	Maks. izvlačna sila Embedded force Maximum	Izvlačna sila Q25 Embedded force Q25	Izvlačna sila medijan Embedded force Median	Izvlačna sila Q75 Embedded force Q75
			N	N	N	N	N	N
N	4 616,0	25	839,5	3 120,0	6 780,0	4 140,0	4 560,0	5 240,0
T14	4 318,0	25	798,7	2 820,0	5 660,0	4 000,0	4 260,0	4 600,0
T16	3 699,6	25	1 020,2	1 100,0	5 610,0	3 350,0	3 680,0	4 470,0
T18	2 669,2	25	431,6	2 080,0	3 800,0	2 340,0	2 670,0	2 780,0
NV	2 446,5	23	655,0	1 020,0	3 720,0	2 130,0	2 370,0	2 750,0
TV14	2 535,4	24	745,2	1 050,0	4 280,0	2 060,0	2 575,0	2 990,0
TV16	1 838,2	22	862,1	550,0	3 680,0	1 250,0	1 790,0	2 250,0
TV18	1 541,8	22	427,7	820,0	2 460,0	1 150,0	1 535,0	1 750,0
Sve grupe	3 005,5	191	1 289,1	550,0	6 780,0	2 130,0	2 810,0	3 980,0

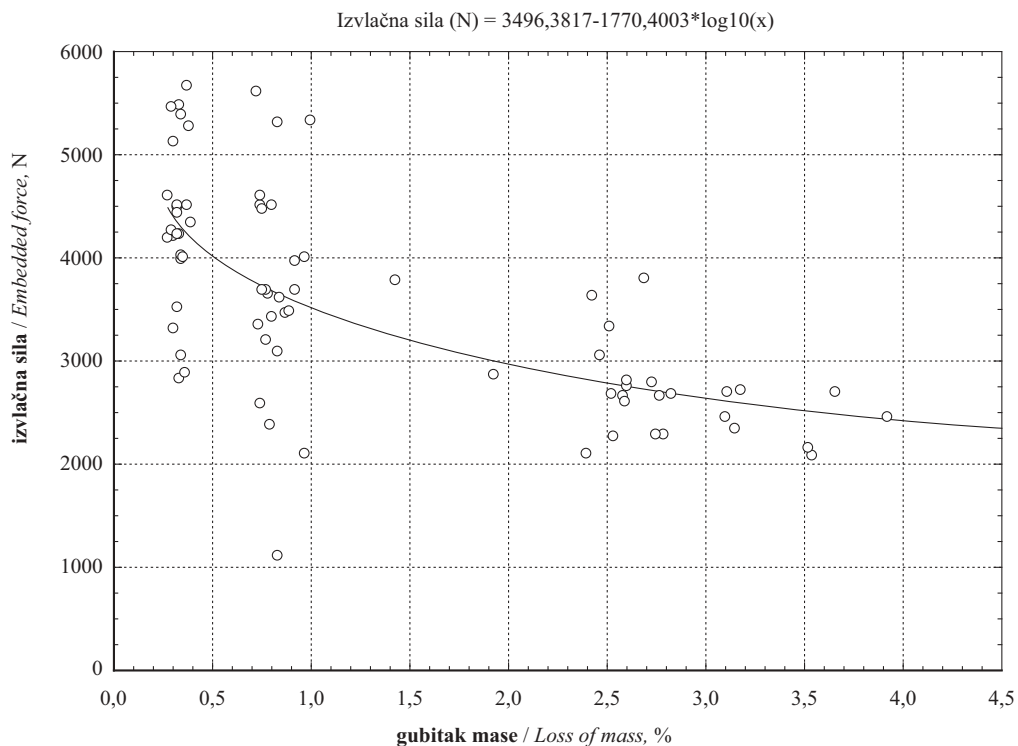


Slika 4. Utjecaj toplinske modifikacije bukovine i hladne vode na izvlačnu silu
Figure 4 Influence of thermal modification of beech and cold water on embedded force

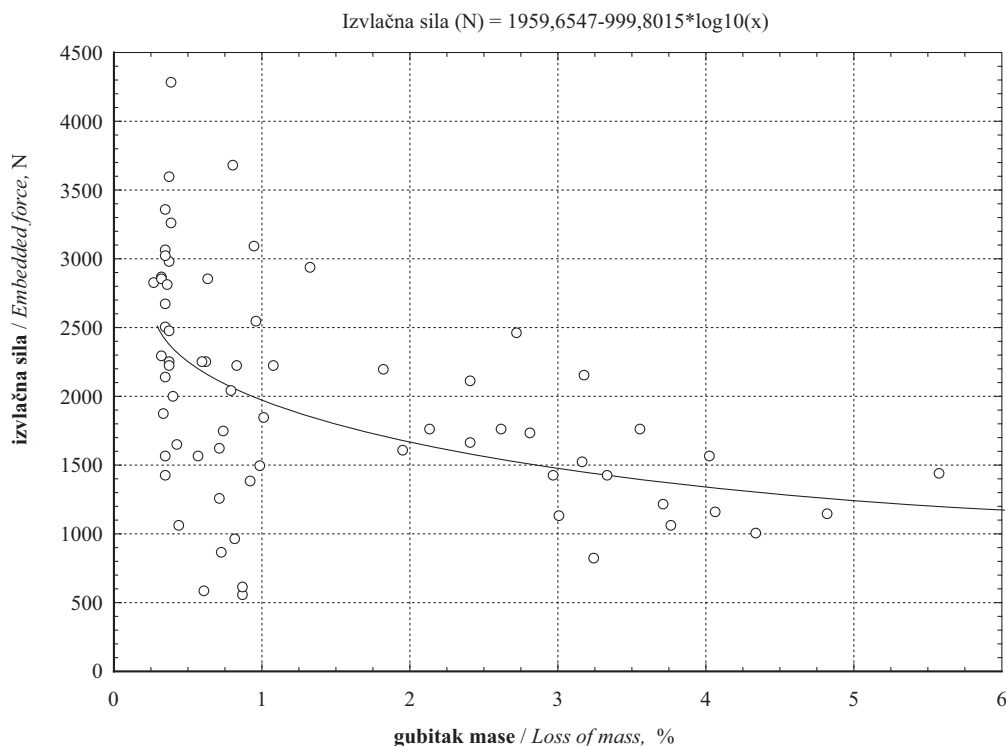
3.2. Usporedba gubitka mase i izvlačne sile uzoraka tretiranih i netretiranih u hladnoj vodi
 3.2 Comparison of mass loss and embedded force of treated and untreated samples in cold water

Rezultati istraživanja pokazali su da najmanji gubitak mase imaju uzorci koji su bili tretirani na temperaturi 140 °C. Što je temperatura modifikacije bila veća, to je i gubitak mase veći, pa su najveći gubitak

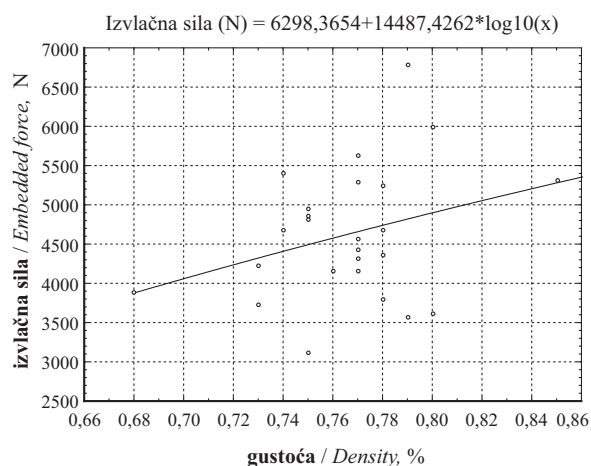
mase imali uzorci tretirani na temperaturi 180 °C. Prosječni gubitak mase uzoraka tretiranih na 140 °C iznosio je 0,34 % (min. 0,27, maks. 0,43 %). Za uzorke tretirane na 160 °C gubitak mase iznosio je 0,85 % (min. 0,57, maks. 1,43 %), dok je gubitak mase uzoraka tretiranih na 180 °C iznosio 3,09 % (min. 1,80, maks. 5,53 %). Na slici 5. prikazan je utjecaj gubitka mase na izvlačnu silu. Vidljivo je da se porastom gubi-



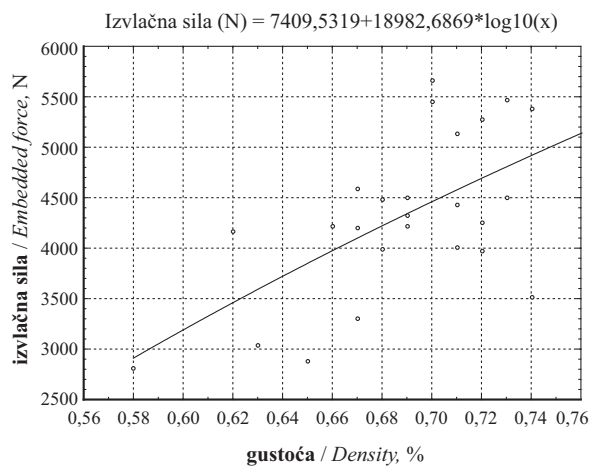
Slika 5. Utjecaj gubitka mase na izvlačnu silu u toplinski tretiranih uzoraka
Figure 5 Influence of mass loss on embedded force of thermally treated samples



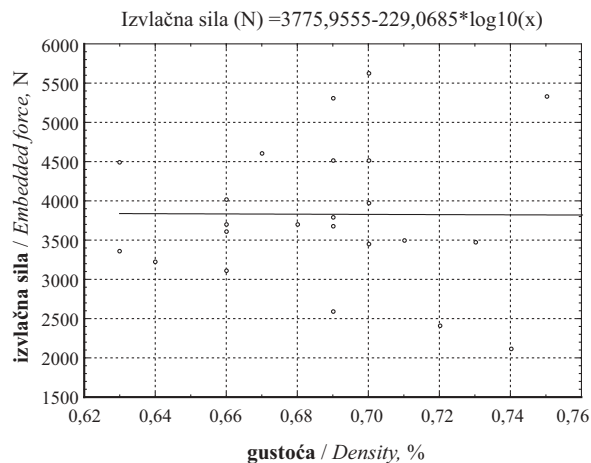
Slika 6. Utjecaj gubitka mase na izvlačnu silu u toplinski tretiranih uzoraka potapanih u hladnu vodu
Figure 6 Influence of mass loss on embedded force of thermally treated samples immersed in cold water



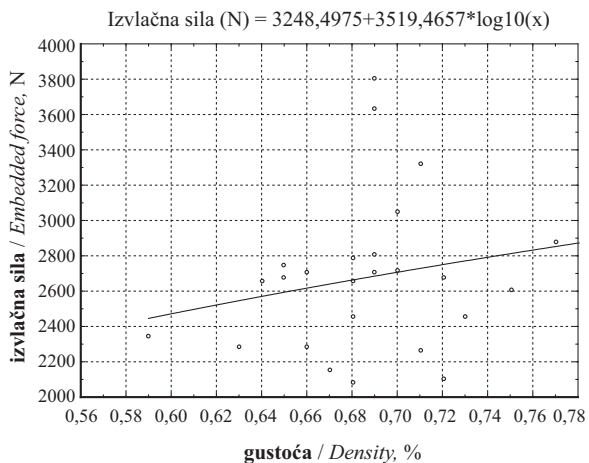
a) N



b) T14

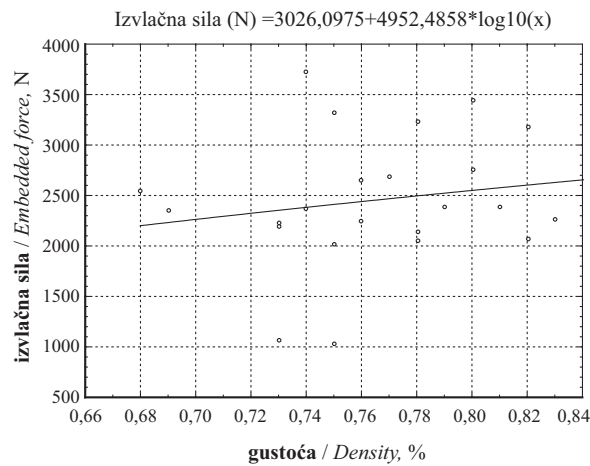


c) T16

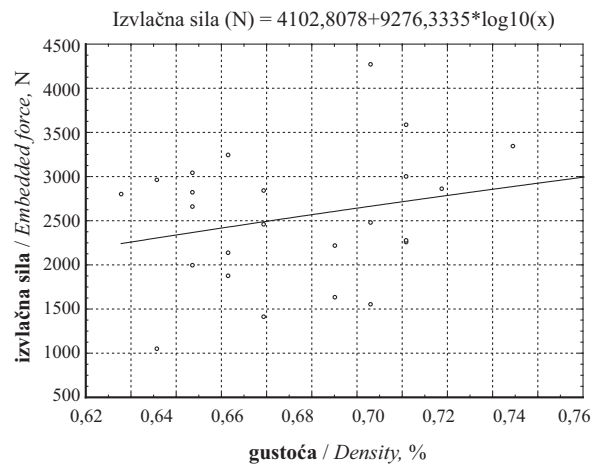


d) T18

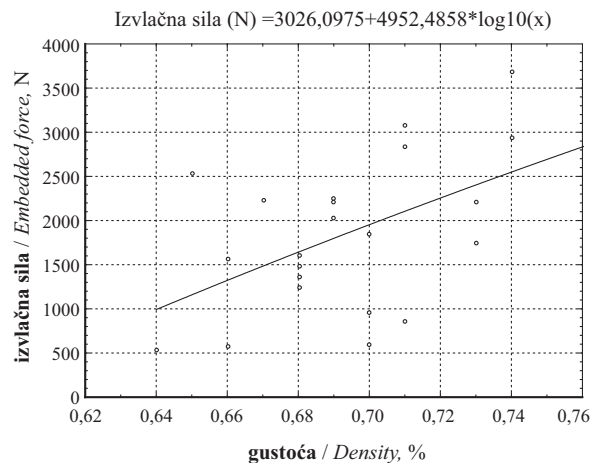
Slika 7. a), b), c), d) Utjecaj gustoće na izvlačnu silu u uzoraka netretiranih hladnom vodom
Figure 7 a, b, c, d Influence of density on embedded force of untreated samples in cold water



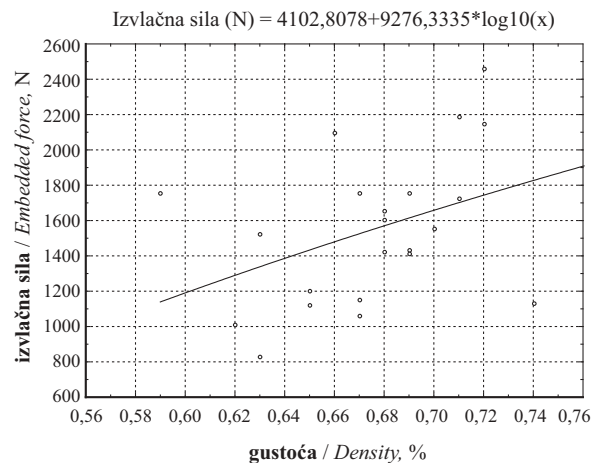
a) N



b) T14



c) T16



d) T18

Slika 8. a), b), c), d) Utjecaj gustoće na izvlačnu silu u uzoraka tretiranih hladnom vodom
Figure 8 a, b, c, d. Influence of density on embedded force of treated samples in cold water

tka mase (s povećanjem temperature modifikacije) smanjuje izvlačna sila zavarenih uzoraka. Povećanje temperature modifikacije dovodi do povećanja grešaka zavarivanja (pojavljuju se pukotine u elementima), što je negativno svojstvo modifikacije.

3.3. Usporedba gustoće i izvlačne sile uzoraka netretiranih i tretiranih u hladnoj vodi

3.3 Comparison of density and embedded force of untreated and treated samples in cold water

Razlike u anatomskoj i fizikalnoj građi drva svakako utječu na proces zavarivanja drva, pa se može pretpostaviti kako kemijska, anatomska i fizikalna svojstva unutar iste vrste drva imaju utjecaj na čvrstoću zavarenog spoja. Unutar iste širine goda postoje varijacije u udjelu ranoga i kasnog drva. Uz istu širinu goda veći udio kasnog drva (u bukovine) preduvjet je povećanja gustoće drva, što može utjecati na povećanje čvrstoće zavarenog spoja. Prema provedenim istraživanjima (Župčić, 2010), s porastom gustoće drva unutar ovog istraživanja porasla je izvlačna sila. Iz rezultata provedenog ispitivanja (sl. 7. i 8) vidljivo je da s povećanjem gustoće raste izvlačna sila toplinski tretiranih i netretiranih zavarenih uzoraka. Trend rasta izvlačne sile s porastom gustoće drva zabilježen je u uzoraka potapanih u hladnu vodu, ali i u uzoraka koji nisu tretirani hladnom vodom (sobne temperature).

4. ZAKLJUČAK 4 CONCLUSION

Tokareni se elementi mogu uspješno dužinski spajati uz pomoć čepa tehnikom rotacijskog zavarivanja. Tako spojeni tokareni elementi mogli bi u budućnosti pronaći svoju primjenu u proizvodnji namještaja.

Toplinska modifikacija bukovine utječe na smanjenje izvlačne sile, odnosno čvrstoće zavarenog spoja. Najbolje rezultate izvlačne sile pokazuju uzorci koji nisu tretirani toplinski i nisu potapani u hladnu vodu (uzorci N). Eksperiment je pokazao da se s povećanjem temperature toplinske modifikacije vrijednosti izvlačne sile stalno smanjuju. Najlošije rezultate izvlačne sile imaju uzorci tretirani na temperaturi 180 °C (uzorci T18).

Hladna voda ima negativan utjecaj na toplinski modificirano, ali i na nemodificirano drvo (izvlačna sila u uzoraka potapanih u vodu prosječno se smanjuje od 40 do 50 %). U uzoraka potapanih u vodu najveću izvlačnu silu postigli su uzorci toplinski tretirani na 140 °C, dok su nemodificirani uzorci imali statistički neznačajno manju izvlačnu silu. Za uzorke potapane u hladnu vodu bilo je očekivano da će pri svim primijenjenim temperaturama modifikacije izvlačna sila

biti veća od one u nemodificiranom drvu s obzirom na to da se modifikacijom povećava dimenzijska stabilnost drva, te mu se smanjuje afinitet prema vodi.

Istraživanje utjecaja gubitka mase na izvlačnu silu pokazalo je da se s porastom gubitka mase smanjuje izvlačna sila zavarenog spoja. S povećanjem temperature toplinske modifikacije raste gubitak mase uzoraka.

Eksperiment je pokazao da s porastom gustoće uzoraka raste izvlačna sila, odnosno čvrstoća zavarenog spoja.

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. Hasan, M.; Despot R., 2003: Termički modificirano drvo – materijal današnjice. *Les – wood*, 55 (3): 342-345.
3. Jirouš-Rajković, V.; Turkulin, H.; Živković, V., 2007: Metode poboljšanja svojstava građevnog drva. *Drvna industrija*, 58 (1): 23-33.
4. Jones, D.; Pizzi, A., 2007: Frictional welding of dowels into modified wood. *Proceedings of the 5th COST E34, Bonding of modified wood, September 6th 2007.*, University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Bled-Slovenija, 13-19.
5. Leban, J.-M.; Mansouri, H. R.; Omrani, P.; Pizzi, A., 2008: Dependence of dowel welding on rotation rate. *Holz Roh Werkst.*, (66): 241-242.
6. Omrani, P.; Mansouri, H. R.; Pizzi, A.; Masson, E., 2009: Influence of grain direction and pre-heating on linear wood welding. *Eur. J. Wood Prod.*, 68 (1): 113-114. doi:10.1007/s00107-009-0349-6
7. Pizzi, A.; Properzi, M.; Leban, J.M.; Zanetti, M.; Pichelin, F., 2003: Mechanically – induced wood welding. *Maderas. Ciencia y tecnologia*, 5 (2): 101 - 106.
8. Rapp, A. O.; Sailer, M., 2001: Oil-heat-treatment of wood – process and properties. *Drvna industrija*, 52 (2): 63-70.
9. Sinn, G.; Gindl, M.; Reiterer, A., 2002: Ausgewählte materialphysikalische Eigenschaften von modifiziertem Holz. *Modifiziertes Holz: Eigenschaften und Märkte*, 171-189.
10. 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. doi:10.1007/s001070050287
11. Windeisen, E.; Strobel, C.; Wegener, G., 2007: Chemical changes during the production of thermo-treated beech wood. *Wood Sci Technol*, 41: 523-536. doi:10.1007/s00226-007-0146-5
12. Živković, V.; Prša, I.; Turkulin, H.; Sinković, T., Jirouš-Rajković, V., 2008: Dimensional stability of heat treated wood. *Drvna industrija*, 59 (2): 69-73.
13. Župčić, I.; Mihulja, G.; Govorčin, S.; Bogner, A.; Grbac, I.; Hrovat, B., 2009: Zavarivanje termički modificirane grabovine. *Drvna industrija*, 60 (3): 161-166.
14. Župčić, I., 2010: Čimbenici koji utječu na spajanje bukovih tokarenih elemenata tehnikom zavarivanja. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, disertacija, 1-237.
15. Župčić, I.; Bogner, A.; Grbac, I.; Lozančić, I., 2010: New insights into rotation welding of beech wood. *Proceedings of International conference: Wood is good – transfer of knowledge in practice as a way out of the crisis: University of Zagreb, Faculty of Forestry, INNOVAWOOD, Zagreb, October 15th 2010*, 147-152.
16. *** HRN EN 204:2001 (klasifikacija termoplastičnih adheziva za drvo za nekonstrukcijske primjene).
17. *** HRN ISO 3130:1999 (hrvatska norma za određivanje sadržaja vode za ispitivanje fizikalnih i mehaničkih svojstava drva).
18. *** HRN ISO 3131:1999 (hrvatska norma za određivanje gustoće drva za ispitivanje fizikalnih i mehaničkih svojstava drva).

Corresponding address:

Assistant IVICA ŽUPČIĆ, Ph.D.

University of Zagreb
Faculty of Forestry
Svetošimunska 25, p.p. 422
HR-10002 Zagreb, Croatia
e-mail: izupcic@sumfak.hr