

Zavarivanje masivnog drva

Welding of solid wood

Prethodno priopćenje • Preliminary paper

Prispjelo – received: 12. 2. 2008.

Prihvaćeno – accepted: 28. 10. 2008.

UDK: 630*824.4

SAŽETAK • U radu su prikazane dosadašnje svjetske spoznaje o novijoj metodi spajanja drva, a rezultati eksperimentalnog zavarivanja drva dobiveni su na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Tehnika zavarivanja drva razvijena je kao nov način spajanja drvenih dijelova uz pomoć topline koja se razvija zbog trenja i tlaka. Drveni se elementi spajaju bez upotrebe ljepila. Tijekom procesa zavarivanja rastale se površinski slojevi drva (lignin) u međusobnom kontaktu, a to se događa zbog utjecaja tlaka i topline, koja se najčešće postiže trenjem elemenata koje zavarujemo.

U međupovršinskoj zoni stanična je struktura drva u potpunosti uništena, a u zoni zavarivanja znatno je povećana gustoća drva jer su drvene stanice sasvim uništene. Stijenke stanica popucaju zbog utjecaja topline, tlačne sile i kemijske reakcije tijekom hlađenja drva.

Zahvaljujući upotrebi isključivo prirodnih materijala, tako spojeni proizvodi ekološki su prihvatljivi. Pri recikliranju ili spaljivanju zavareni proizvodi, kao ni prirodno drvo, ne oslobađaju toksične tvari.

Ključne riječi: masivno drvo, zavarivanje drva, moždanici, adhezija

ABSTRACT • This paper presents the up-to-date knowledge and results of the application of wood welding techniques at the Faculty of Forestry University of Zagreb.

Wood welding technologies have been developed as a new way of bonding timber by using high temperature generated by friction and pressure. Timber is assembled without any adhesives. During the process the surface layer of timber (lignin), which is in direct contact with its counterpart, melts due to high pressure and temperature, which is usually generated by mechanical friction of the elements being connected.

The cell structure in the interface area of timber is completely destroyed, while in the welding area the density is increased due to the destruction of wood cells. The cell walls are broken, as a result of exposure to high temperatures, mechanical pressure and chemical process, which occur during the cooling stage.

Only natural materials are used in wood welding, which makes these products eco-friendly. In case of recycling, welded products may be disposed of just as natural timber, without the release of toxic substances.

Keywords: solid wood, welding wood, dowels, adhesion

1. UVOD

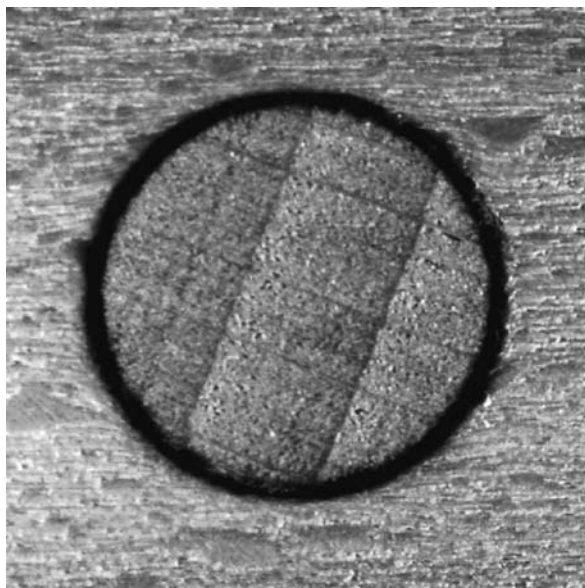
1 INTRODUCTION

Zavarivanje drva omogućuje spajanje dvaju ili više elemenata drva ili drvene ploče bez upotrebe ljepila. Metodom zavarivanja uz pomoć vibracija drveni elementi međusobno vibriraju, zbog čega se pojavljuje trenje među površinama u dodiru, razvija se toplina koja „omekša i rastali” strukturu stanica drva (hemice-

lulozu i lignin), a vlakanca drva međusobno se isprepletu. Zbog hlađenja struktura drva otvrdnjavanja i nastaje čvrsti spoj (zavar). Nešto jednostavniji način povezivanja dva ili više elemenata masivnog drva ili ploče ostvaruje se umetanjem drvenog čepa (moždanika). Kroz elemente se probuši rupa manjeg promjera od promjera čepa, i u nju se uz pomoć okretnog momenta utiskuje drveni čep, a elementi koji se zavaruju međusobno se čvrsto priljube.

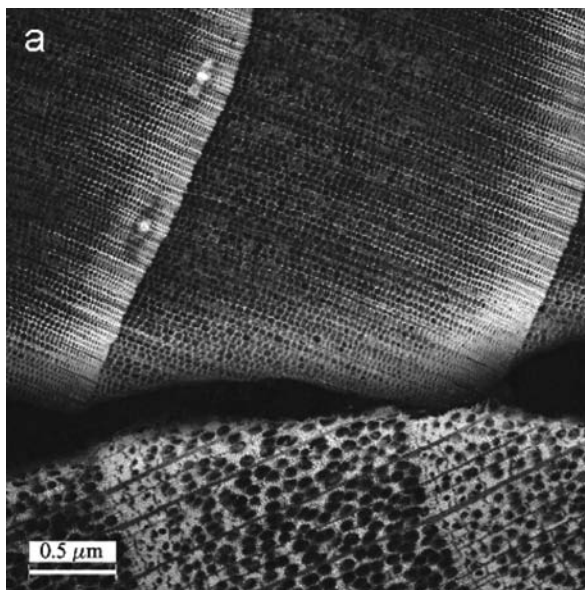
¹ Autori su redom, asistent, viši asistent, izvanredni profesor, profesor i student Drvnotehnološkog odsjeka Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska.

¹ The authors are assistant, senior assistant, associated professor, professor and student at Wood Technology Department, Faculty of Forestry, University of Zagreb, Croatia.



Slika 1. Optička mikrografija poprečno presječenoga izbrazdanog drvenog čepa zavarenoga za podlogu (bukovina na bukovinu). Zavareni crni krug na mikrografiji dio je granice zavara i odgovara području veće gustoće (Pizzi i dr., 2004).
Figure 1 Optical micrograph of the cross section of a ribbed wood dowel welded to the substrate (beech to beech). The welded black circle on the micrograph is part of the weldline edge and corresponds to higher density area (Pizzi *et al.*, 2004)

Rezultati istraživanja pokazali su da nakon 20 sekundi od početka hlađenja zavarenog spoja, čvrstoća zavarenih spojeva doseže 70 % maksimalne vrijednosti koja se postiže nakon 15 minuta hlađenja. Takvo ponašanje zavarenog spoja omogućuje sastavljanje višeslojnih drvenih ploča koje se zavaruju tehnikom vibriranja (Stamm i dr., 2005).



Vrste drva, razlike u promjerima drvenog čepa i ulazne rupe, vrijeme tlačenja i frekvencija vrtnje drvenog čepa (moždanika) neki su od vrlo važnih parametara za čvrstoću spoja, dok otklon vlaknaca u podlozi i drvenom čepu te upotreba izbrazdanoga ili natisnutoga drvenog čepa nisu značajnije utjecali na čvrstoću spoja. Ako je utiskivanje (forsiranje) drvenog čepa u podlogu prebrzo, dobivaju se lošiji rezultati (Ganne-Chedeille i dr., 2005).

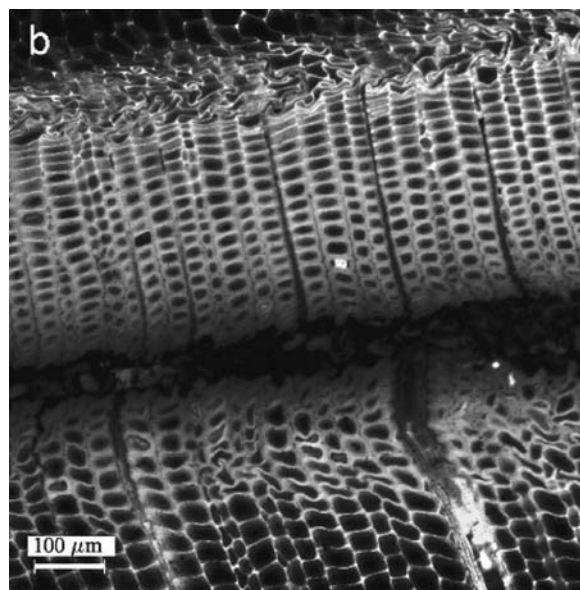
Osim masivnog drva, tehnikom zavarivanja mogu se spajati i drvene ploče. OSB i MDF ploče zavaruju se uz pomoć drvenog čepa (moždanika) jednako dobro kao i masivno drvo.

1.1. Spajanje slojeva drva trenjem 1.1 Wood welding by mechanical friction

Dva ili više elemenata mogu se debljinski sastaviti bez upotrebe lijepila. Elementi koji se sastavljaju međusobno vibriraju i između elemenata nastaje trenje, a kao posljedica trenja između površina u kontaktu pojavljuje se temperatura, koja doseže više od 673 K (Stamm i dr., 2005). Rezultat tako visoke temperature jest razgradnja strukture drva. Kemijska je analiza pokazala da su polioze razmjerno uništene (Stamm i dr., 2005). Raspadanje acetilnih grupa polioze dovodi do stvaranja acetatne kiseline, što uzrokuje hidrolizu i olakšava niz kemijskih reakcija.

Stanice ranog drva norveške smreke mnogo su osjetljivije na proces zavarivanja nego stanice kasnog drva, ali se na slici 2. vidi kako su i stanice kasnog drva deformirane.

Stanice drva do međupovršinskih slojeva deformirane su pod utjecajem termo-mehaničkih postupaka. Tamna i gusta masa međupovršinskog materijala ima



Slika 2. Mikrostruktura površinskog područja; a) zavar norveške smrekovine i bukovine, b) zavar smrekovine i smrekovine (Stamm i dr., 2005)

a) Međupovršina je vidljiva kao tamna, nepravilna linija između dijelova bukovine (dolje) i norveške smrekovine (gore)
 b) Stanice ranog drva deformirane su čak i nekoliko stotina μm od područja zavara

Figure 2 Microstructure of the surface layer: a) Norwegian spruce-beech weldline, b) spruce-spruce weldline (Stamm *et al.*, 2005)

a) The interface is visible as a dark and curved line between parts of beech (down) and Norwegian spruce (up)
 b) Early wood cells have been deformed in the range of hundreds μm from the weldline

ugrađene dijelove stanica drva. Nekadašnja struktura stanice u potpunosti je uništena u kontaktnoj zoni.

1.1.1. Vibracijsko zavarivanje toplinski obrađenog drva

1.1.1. Vibration welding of heat-treated timber

Pokušaj modifikacije zavarivanja uz pomoć vibracija i trenja provodi se tako da se drvo prethodno toplinski obradi temperaturom od 150 do 280 °C. Čvrstoća zavara tako obrađenog drva bila je niža nego drva koje nije toplinski obrađeno zato što je taljenje staničnog materijala bilo manje i stanice drva su se manje ispreplele i povezale (Boonstra i dr., 2006). Porast krutosti i lomljivosti drvnih stanica za vrijeme zavarivanja povezuje se sa toplinskom obradom drva.

1.2. Spajanje masivnog drva uz pomoć moždanika

1.2. Wood dowel welding of solid wood

Drveni čep (moždanik) može biti zavaren za drvenu podlogu bez dodavanja ikakvih ljepila, umetanjem uz pomoć rotacije pri velikoj brzini čepa. Postignuta čvrstoća spojeva usporediva je s rezultatima dobivenim lijepljenjem PVAc ljepilom. Međutim, pri zavarivanju drva spoj postiže traženu čvrstoću za nekoliko sekundi, dok su PVAc ljepilu potrebna 24 sata (kondicioniranje nakon lijepljenja) da bi se postigao isti rezultat. Upotreba suhoga drvenog čepa umetnutoga u vruću podlogu nakon predgrijavanja na visoku temperaturu (100 °C) pokazala je znatno bolje rezultate nego što su dobiveni upotrebom PVAc ljepila (Pizzi i dr., 2004).

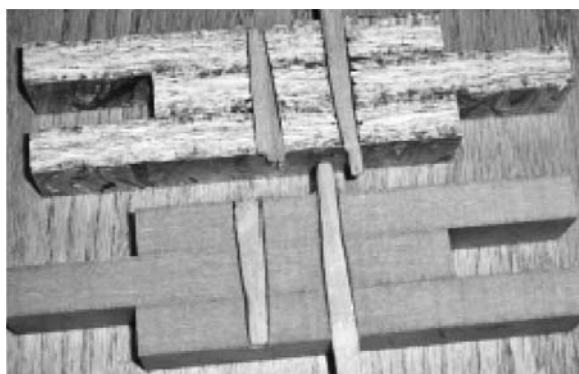
Ako su zavareni spojevi izloženi povećanom sadržaju vode, njihova se čvrstoća smanjuje. Nakon 24-satnog uranjanja uzoraka u hladnu vodu čvrstoća zavarenih spojeva smanjila se za 12 % (Pizzi i dr., 2006). Jones i Pizzi (2007) istraživali su kako vlaga utječe na čvrstoću zavarenog spoja modificiranog drva sitkanske smreke. Rezultati istraživanja pokazuju da su spojevi od modificiranog drva otporniji na utjecaj povećanog sadržaja vode nego spojevi od drva koje nije bilo modificirano.

1.3. Spajanje drvnih ploča uz pomoć moždanika

1.3. Welding-through dowelling of wood panels

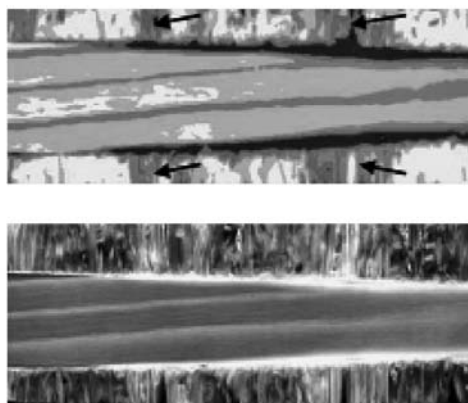
Resch i drugi (2006) istraživali su spajanje drvnih ploča uz pomoć drvenih čepova prema europskim normama EN 1380 (1999) i EN 1995-1-1 (2003). Na slici 3. prikazano je spajanje drvnih ploča tehnikom zavarivanja. Istraživanja su pokazala da je izvlačna sila čepa na pločama gotovo jednaka izvlačnoj sili na masivnom drvu. Pri zavarivanju panel-ploče izvlačna je sila bila znatno manja od ostalih jer je panel-ploča bila izrađena od topolovine, koja je imala znatno manju gustoću od gustoće drugih upotrijebljenih ploča.

Osim zadovoljavajuće čvrstoće i linije zavara dobro su formirane i oblikovane te nije došlo do mrvljenja ni raspucavanja ploče. Na slici 4. prikazana je linija zavara OSB ploče promatrane rengenksom mikrodensitometrijom. Iz tako jasne linije zavara može se zaključiti kako se događaju iste reakcije i procesi kao i pri zavari-



Slika 3. Spajanje OSB i MDF ploče dvama drvenim čepovima (Resch i dr., 2006)

Figure 3 Welding of OSB and MDF panels by two wood dowels (Resch *et al.*, 2006)



Slika 4. Primjer debljinskog zavarivanja OSB ploče od tri dijela (gornja slika) Rengenška slika od koje je mikrodensitometrijom napravljena donja slika (Resch i dr., 2006)

Figure 4 Example of welding-through of an OSB panel consisting of three parts (up), X-ray microdensitometry (down) (Resch *et al.*, 2006)

vanju masivnog drva te da ljepilo, razna punila i dodaci iz ploča ne utječu negativno na sam proces zavarivanja.

Prema istraživanjima Rescha i dr., (2006), elementi od OSB ploča učvršćeni zavarenim drvenim čepovima imaju veću čvrstoću od istih uzoraka učvršćenih željeznim čavlima.

S obzirom na to da je promjer rupe i moždanika (zador) pri zavarivanju vrlo bitan, jer se vrh moždanika pri utiskivanju u rupu (podlogu) „istroši“ i u tom dijelu ne dolazi do zavarivanja, cilj rada bio je utvrditi optimalni oblik rupe kako bi linija zavara obuhvatila cijeli obod moždanika.

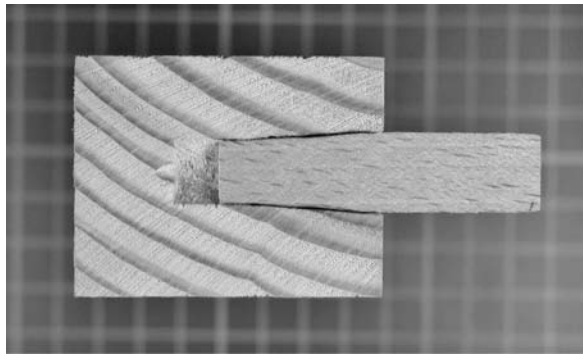
2. MATERIJALI I METODE

2. MATERIALS AND METHODS

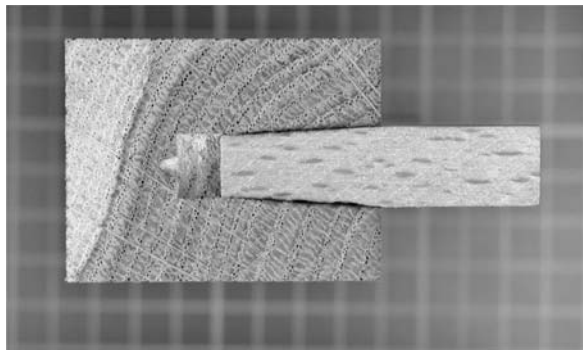
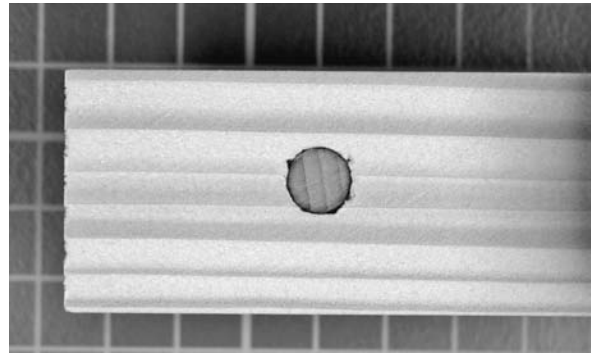
2.1. Zavarivanje moždanika u rupu

2.1. Welding of wood dowels in the hole

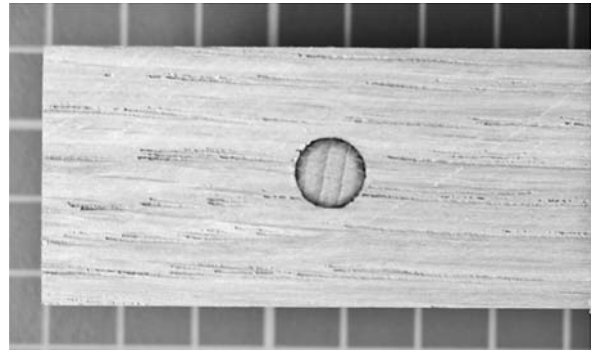
Istraživanja zavarivanja moždanika u rupu provedena su na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Uzorci su bili izrađeni od hrastovine i smrekovine dim. 200 x 40 x 30 mm i u svakom su uzorku izbušene po tri rupe promjera 8 mm. Bukovi moždanici bili su najljepljivi (komercijalno ih je bilo lako nabaviti), promjera 10 mm. Prema Pizziju i dr., (2003) to se smatra opti-



Slika 5. Presjeci zavarenoga bukova moždanika na smrekovini (Župčić i dr., 2007)
 Figure 5 Cross sections of the welded beech dowel on spruce substrate (Župčić et al.,2007)



Slika 6. Presjeci zavarenoga bukova moždanika na hrastovini (Župčić i dr., 2007)
 Figure 6 Cross sections of the welded beech dowel on oak substrate (Župčić et al.,2007)



malnim zadorom, jer ako je on veći ili manji, izvlačna se sila smanjuje. Prosječan zador na smrekovim uzorcima iznosio je 2,15 mm, a na hrastovima 2,22 mm. Bukovi moždanici duljine 100 mm zavarivani su u tako izbušene rupe stupnom bušilicom. Frekvencija vrtnje moždanika pri utiskivanju u rupu na smrekovini ili hrastovini iznosio je 1520 o/min.

Kontrolni uzorci u koje su moždanici lijepljeni MEKOL 1141 ljepilom bili su izrađeni od smrekovine i hrastovine jednakih dimenzija i rasporeda bušenja rupa kao i za zavarivanje, samo je razlika bila u promjeru rupe, koja je iznosila 10 mm. Prosječni zador pri lijepljenju moždanika u smrekovu podlogu iznosio je 0,11 mm, a za hrastovu podlogu 0,18 mm.

2.2. Debljinsko ili širinsko sastavljanje elemenata uz pomoć moždanika

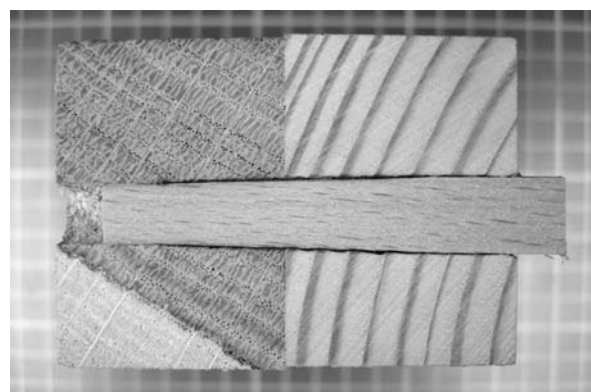
2.2 Assembling of laminated board or blockboard elements by dowels

Ako se dva ili više elemenata međusobno debljinski ili širinski zavaruju uz pomoć moždanika, troši se vrh moždanika i čvrstoća zavara se smanjuje. Pri prolasku moždanika kroz drvene elemente nastaje zagrijavanje zbog trenja, stanice drva se deformiraju i tale, te je pri ulasku u sljedeći uzorak moždanik već istrošen i u tom se dijelu neće postići zavarivanje jer se promjer moždanika previše smanjio.

Kako bi se izbjegli ti nedostaci, ideja ovog rada bila je bušenje rupa različitih promjera (9, 8, 7 i 6 mm) da bi se ostvario zavar po cijelome moždaniku i povećala čvrstoća spoja. Elementi su izrađeni od hrastovine (200 x 30 x 30 mm) i smrekovine (200 x 40 x 30 mm). Moždanik je najprije prolazio kroz hrastov ele-

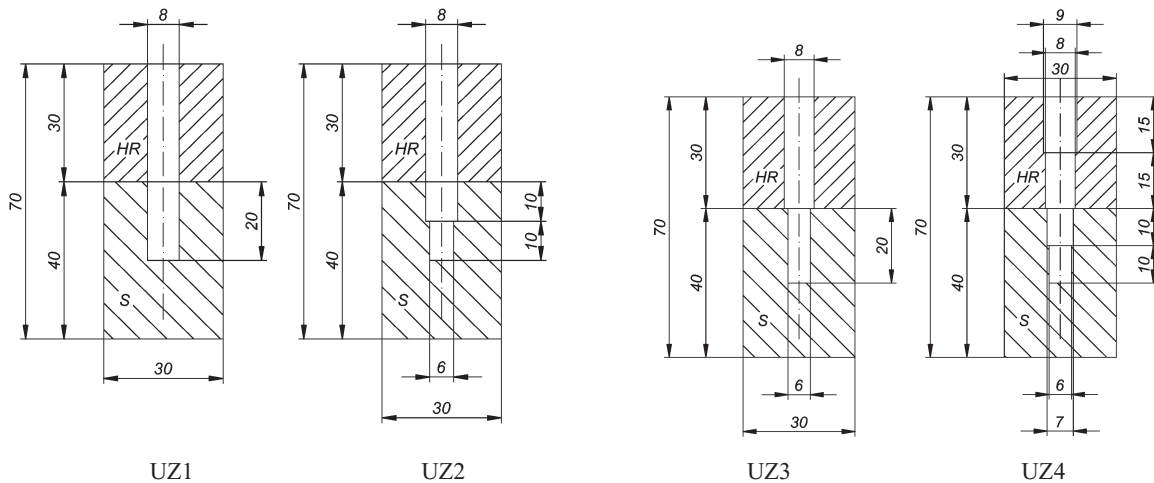
Tablica 1. Uzorci
 Table 1 Samples

Oznaka/Code	Opis/Description
SV	moždanici zavareni u smrekovinu Dowels welded on spruce substrate
SL	moždanici lijepljeni u smrekovinu Dowel glued on spruce substrate
HV	moždanici zavareni u hrastovinu Dowels welded on oak substrate
HL	moždanici lijepljeni u hrastovinu Dowels glued on oak substrate



Slika 7. Prikaz vrha moždanika koji se previše „istrošio“ i nije postignuto zavarivanje
 Figure 7 Top of wooden dowel too worn out to be welded

ment, kako bi se moždanik što više istrošio. Tako zavarivani elementi raspiljeni su na tri elementa jednakih dimenzija i nakon kondicioniranja provedeno je istraživanje izvlačne sile na kidalici.



Slika 8. Poprečni presjek četiriju načina bušenja rupe u uzorku
Figure 8 Cross section of four types of hole drilling

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA 3 RESEARCH RESULTS

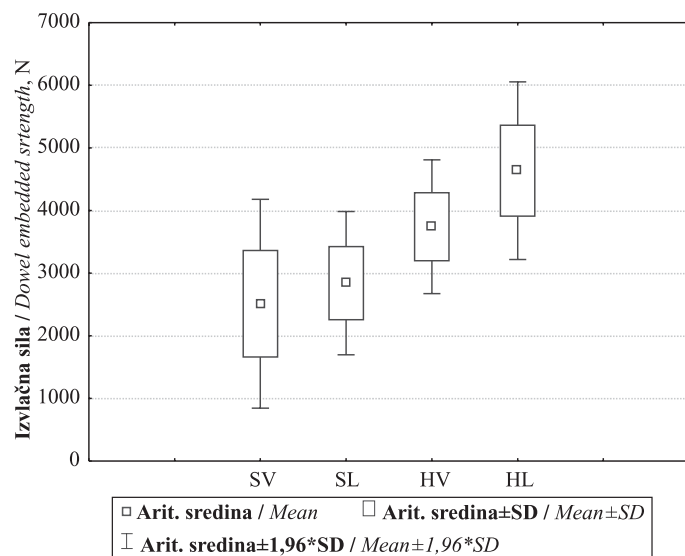
Rezultati istraživanja prikazani su u tablici 2. Iz njih je vidljivo kako ne postoji statistički značajna razlika za moždanik koji je zavaren ili zalijepljen u rupu, dok za sve ostale kombinacije postoji statistički značajna razlika. Moždanik zalijepljen u rupu u hrastovini ima veću izvlačnu silu od moždanika koji je zavaren u hrastovu rupu. Također je vidljivo kako moždanik zavaren za hrastovu podlogu ima veću izvlačnu silu nego moždanik koji je zalijepljen ili zavaren za smrekovu podlogu.

Pri debljinskom spajanju dvaju elemenata od smrekovine i hrastovine dobiveni su dosta zanimljivi podaci. Ne postoji statistički značajna razlika između UZ2 i UZ3, dok između svih ostalih uzoraka postoji statistički značajna razlika. To se objašnjava time što je u UZ3 izbušena rupa premalog promjera te se moždanik naglo potrošio i na vrhu nije ostvareno zavarivanje. Za UZ4 dobiveni su najbolji rezultati i iz toga se može zaključiti kako je potrebno bušiti rupu koja po dužini ima različite promjere (višestupanjska rupa). Najslabiji rezultati dobiveni su za UZ1 zato što vrh moždanika nije zavaren. Prolaskom kroz hrastov element smanjio se promjer moždanika, a time i potrebni zador, te nije postignut zavar.

4. ZAKLJUČAK 4 CONCLUSION

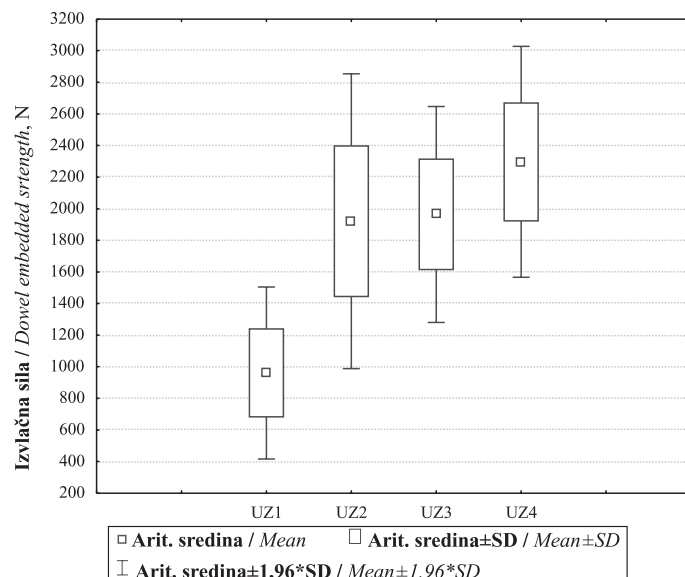
Drveni elementi od masivnog drva, a prema literaturi i ploče (OSB, MDF i panel ploče), mogu se sastavljati tehnikom zavarivanja bez upotrebe lijepila.

Rotacijsko zavarivanje drvenog čepa pri velikoj brzini uspješan je način spajanja dvaju drvenih elemenata u proizvodnji namještaja.



Slika 9. Usporedba izvlačne sile za moždanike zavarene ili zalijepljene u hrastovinu ili smrekovinu

Figure 9 Comparison of dowel embedded strength for welded or glued dowels on spruce substrate or oak substrate



Slika 10. Utjecaj promjera rupe na izvlačnu silu

Figure 10 Influence of hole diameter on dowel embedded strength

Tablica 2. Rezultati usporedbe (*p*) veličine izvlačne sile za moždanike zavarene ili zalijepljene u hrastovinu ili smrekovinu
Table 2 Comparison results for welded or glued dowels on spruce substrate or oak substrate

	Arit. sredina grupe 1 <i>Mean Group 1</i>	Arit. sredina grupe 2 <i>Mean Group 2</i>	t-vrijednost <i>t-value</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	Velicina uzorka grupe 1 <i>Valid Group 1</i>	Velicina uzorka grupe 2 <i>Valid Group 2</i>	Standardna devijacija grupe 1 <i>Std.Dev. Group 1</i>	Standardna devijacija grupe 2 <i>Std.Dev. Group 2</i>	F-omjer varijanci <i>F-ratio Variances</i>	<i>p</i> varijanci <i>p Variances</i>
	N	N				<i>n</i>	<i>n</i>	N	N		
SV vs. SL	2512,565	2840,571	-1,45803	40	0,152639	21	21	850,3970	582,7720	2,129345	0,098930
SV vs. HV	2512,565	3741,072	-5,57629	40	0,000002	21	21	850,3970	544,1359	2,442467	0,052251
SV vs. HL	2512,565	4636,048	-8,71142	40	0,000000	21	21	850,3970	724,2973	1,378509	0,479332
SL vs. HV	2840,571	3741,072	-5,17565	40	0,000007	21	21	582,7720	544,1359	1,147051	0,762005
SL vs. HL	2840,571	4636,048	-8,85064	40	0,000000	21	21	582,7720	724,2973	1,544672	0,338819
HV vs. HL	3741,072	4636,048	-4,52721	40	0,000053	21	21	544,1359	724,2973	1,771818	0,209546

Tablica 3. Rezultati usporedbe (*p*) utjecaja promjera rupe na izvlačnu silu
Table 3 Comparison results of influence of hole diameter on dowel embedded strength

	Arit. sredina grupe 1 <i>Mean Group 1</i>	Arit. sredina grupe 2 <i>Mean Group 2</i>	t-vrijednost <i>t-value</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	Velicina uzorka grupe 1 <i>Valid Group 1</i>	Velicina uzorka grupe 2 <i>Valid Group 2</i>	Standardna devijacija grupe 1 <i>Std.Dev. Group 1</i>	Standardna devijacija grupe 2 <i>Std.Dev. Group 2</i>	F-omjer varijanci <i>F-ratio Variances</i>	<i>p</i> varijanci <i>p Variances</i>
	N	N				<i>n</i>	<i>n</i>	N	N		
UZ1 vs. UZ2	961,2708	1921,013	-7,9339	39	0,000000	21	20	277,4730	476,0735	2,943789	0,020686
UZ1 vs. UZ3	961,2708	1964,339	-10,3162	40	0,000000	21	21	277,4730	348,6340	1,578695	0,315362
UZ1 vs. UZ4	961,2708	2296,591	-13,1710	40	0,000000	21	21	277,4730	372,6361	1,803551	0,195933
UZ2 vs. UZ3	1921,013	1964,339	-0,33364	39	0,740439	20	21	476,0735	348,6340	1,864697	0,175547
UZ2 vs. UZ4	1921,013	2296,591	-2,82061	39	0,007499	20	21	476,0735	372,6361	1,632218	0,285286
UZ3 vs. UZ4	1964,339	2296,591	-2,98369	40	0,004836	21	21	348,6340	372,6361	1,142431	0,768798

Zavarivanje drvenog čepa u podlogu može se ostvariti ako je pritisak dovoljan da tijekom umetanje drvenog čepa i zavarivanja održi elemente zajedno jedan do drugoga.

Drveni spojevi sastavljeni od dva drvena elementa, učvršćena zajedno zavarenim drvenim čepom s obje strane, daju zadovoljavajuću razinu čvrstoće.

Eksperiment je pokazao da za podlogu zalijepljene i zavarene moždanice od iste vrste drva nisu zabilježene statistički značajne razlike izvlačne sile.

Kako bi se povećala čvrstoća zavara pri debljinskom ili širinskom sastavljanju potrebno je izbušiti rupu koja po dužini ima različite promjere (višestupanjsku rupu).

5. LITERATURA

5 REFERENCES

1. Boonstra, M.; Pizzi, A.; Ganne-Chedeille, C.; Properzi, M.; Leban, J.M. 2006: Vibration welding of heat-treated wood. *J. Adhesion Sci. Technol.*, 20 (4): 359 - 369.
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. Jones, D.; Pizzi, A. 2007: Frictional welding of dowels into modified wood. *Proceedings of the 5th COST E34, Bonding of Modified Wood, September 6th, University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Bled-Slovenija, 13 - 19.*
4. Pizzi, A.; Properzi, M.; Leban, J.M.; Zanetti, M.; Pichelin, F. 2003: Mechanically – induced wood welding. *Maderas. Ciencia y tecnologia*, 5 (2): 101 - 106.
5. Pizzi, A.; Leban, J.M.; Kanazavwa, F.; Properzi, M.; Pichelin, F. 2004: Wood dowel bonding by high-speed rotation welding. *J. Adhesion Sci. Technol.*, 18 (11): 1263 - 1278.
6. Pizzi, A.; Despres, A.; Mansouri, H.; Leban, J.M.; Rigollet, S. 2006: Wood joints by through-dowel rotation welding: microstructure. 13C-NMR and water resistance. *J. Adhesion Sci. Technol.*, 20 (5): 427 - 436.
7. Resch, L.; Despres, A.; Pizzi, A.; Bocquet, J.-F.; Leban, J.M. (2006): Welding-through doweling of wood panels. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 64: 423 - 425.
8. Stamm, B.; Natterer, J.; Navi, P. 2005: Joining of wood layers by friction welding. *J. Adhesion Sci. Technol.*, 19 (13 - 14): 1129 - 1139.
9. Župčić, I.; Mihulja, G.; Bogner, A. (2007): Wood welding – a new wood bonding technology. *Proceedings of International conference: New technologies and materials in industries based on the forestry sector. University of Zagreb, Faculty of Forestry, UFI-Paris, Zagreb, October 19th 2007, 65 - 71.*

Corresponding address:

Assistant IVICA ŽUPČIĆ, BSc

Department for furniture and wood products
Faculty of Forestry, University of Zagreb
Svetošimunska 25
HR-10000 Zagreb
Croatia
E-mail: zupcic@sumfak.hr