

## Okolju prijazni leseni lamelirani lepljenci

### Environmentally friendly glued laminated timber

Milan Šernek<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo / Rožna dolina C. VIII/34, 1000 Ljubljana

E-Mail: milan.sernek@bf.uni-lj.si

\* Avtor za korespondenco; Tel.: +1-320-3623; Fax: +1-257-2297

---

**Povzetek:** V prispevku so predstavljeni rezultati raziskave o lameliranih lepljencih, ki so bili izdelani iz termično modificirane smrekovine in zlepljeni z lepilnimi mešanici, ki so vsebovale različne deleže utekočinjenega lesa. S proučevanjem trdnostnih lastnosti lepilnih spojev je bilo ugotovljeno, da je iz termično modificirane smrekovine in lepila, ki je vsebovalo del utekočinjenega lesa, možno izdelati lamelirane lepljence, ki so primerni za izdelavo stavbnega pohištva. Zahteve so izpolnjevali lepljenci, ki so bili lepljeni z lepilno mešanico iz 25 % utekočinjenega lesa in 75 % klasičnega melamin-urea-formaldehidnega lepila. Ker je bil del lepilne mešanice izdelan na osnovi obnovljivega naravnega vira – lesa, je ta rezultat z ekološkega vidika obetaven za nadaljnja raziskovanja. Okolju prijazni so lepljenci tudi zato, ker niso bili kemijsko tretirani. Odpornost proti biotskim ter abiotskim dejavnikom jim je bila izboljšana zgolj s termično modifikacijo lesa.

**Ključne besede:** lepljenje; les; melamin-urea-formaldehidno lepilo; utekočinjen les; termična modifikacija

**Abstract:** Bonding performance of glued laminated timber, which was produced from the heat treated wood and bonded with the adhesive mixture containing different proportions of liquefied wood, was studied. The results of the shear strength of the adhesive bond indicated that the heat treated wood bonded with the adhesive mixture containing liquefied wood can be used as elements for windows. Standard requirements have been fulfilled with the specimens, which were bonded with the adhesive mixture containing 25 % of liquefied wood and 75 % of melamine-urea-formaldehyde adhesive. Novel laminated composites from heat treated wood, bonded with new type of adhesives, represent ecologically friendly products because a part of adhesive was made from natural renewable material – wood. No chemicals were used for the improvement of durability of wood. The increased durability and improved dimensional stability of the wood was achieved by the heat treatment.

**Key words:** bonding; wood; melamine-urea-formaldehyde adhesive; liquefied wood; heat treatment

---

#### 1. Uvod

V lesni industriji so bila lepila na osnovi naravnih surovin v prvi polovici 20. stoletja večinoma zamenjana s sintetičnimi lepili. Večina teh lepil vsebuje fenol, resorcinol, ureo ali melamin in formaldehid ter določeno količino drugih kemičnih spojin. Zaradi tega so sintetična lepila na osnovi formaldehida problematična z zdravstvenega in okoljskega vidika. Poleg tega proizvodnja sintetičnih polikondenzacijskih lepil za les skoraj v celoti sloni na predelavi derivatov nafte, ki je neobnovljivi vir.

Sintetična lepila za les predstavljajo določeno tveganje za človekovo zdravje, tako za delavce v industriji kot za končne uporabnike izdelkov. Prosti formaldehid, ki se sprošča med proizvodnjo in uporabo lesnih kompozitov ali pohištva, ki so zlepljeni z lepili na osnovi formaldehida, je domnevno rakotvoren. Kemično je formaldehid sestavljen iz vodika, kisika in ogljika ter spada med lahko hlapne organske komponente. Formaldehid je pri sobni temperaturi v plinastem stanju. Je močno dražilo, ki draži oči in nosno sluznico ter povzroča kašelj. Lahko se pojavijo tudi simptomi bronhitisa. Deluje na grlo, na koži povzroča alergije, lahko se pojavita glavobol in slabost.

Povečana skrb za okolje in vzdržen razvoj nenehno sili znanstvenike k razvoju okolju prijaznih lepil iz naravnih obnovljivih virov. Izrazite prednosti uporabe naravnih materialov pri izdelavi lepil so nižja toksičnost, biološka razgradljivost in razpoložljivost surovin. Seveda morajo biti ti postopki izdelave po izkoristku in stroških primerljivi s postopki izdelave sintetičnih lepil. Ključno pri povečevanju uporabe naravnih produktov v industriji je poznavanje, razumevanje in kontroliranje bistvenih lastnosti novo razvitih lepil, ki so pomembne za končno uporabo.

V zadnjih letih so postali lesni ostanki, lignin in tanin cenjeni nadomestki za nekatere sestavine sintetičnih lepil iz naftnih derivatov (Alma in Bastürk, 2006; Budija in sod., 2009; Kobayashi in sod., 2001; Kunaver in sod., 2009; Ugovšek in sod., 2010). Pred dobrim desetletjem je bil razvit način utekočinjanja lesa, ki predstavlja možno alternativo za sintezo polimerov iz naravnih surovin. Utekočinjen les ima visoko reaktivnost zaradi velikega deleža fenolnih in alkoholnih OH skupin. Lesna biomasa, ki je sestavljena iz najrazličnejših lesnih ostankov iz primarne in sekundarne obdelave, je najbolj primerna za utekočinjanje in pripravo lepila za lepljenje lesa.

Glavni namen raziskave je bil razviti novo okolju prijazno lepilo in z njim izdelati okolju prijazen lameliran leseni lepljenec, ki bo imel ustrezne lastnosti za uporabo pri gradnji nizko energijske hiše.

## 2. Materiali in metode

### 2.1. Utekočinjanje lesa

Za pripravo lepilnih mešanic je bila izdelana zmes polimerov iz utekočinjenega lesa. Za utekočinjanje smo uporabili žagovino topola, ki je ostala po sejalni analizi z odprtino sita 0,237 mm. Žagovino smo posušili na absolutno suho stanje v sušilniku pri 103 °C. Reakcija utekočinjanja mešanice 150 g žagovine, 450 g glicerola in 13,5 g žveplove kisline je potekala v stekleni bučki, potopljeni v oljno kopel. Temperatura oljne kopeli je bila 180 °C, čas kuhanja pa 120 minut. Po zaključku reakcije smo utekočinjeno zmes ohladili, razredčili z 4-dioksanom in vodo (4/1, v/v) ter jo filtrirali. Z vakuumsko črpalko smo nato odstranili ostanek dioksana in vode.

### 2.2. Izdelava lepilnih mešanic iz utekočinjenega lesa in melamin-urea-formaldehidnega lepila

Pripravili smo lepilne mešanice, pri katerih smo spreminjali razmerje med utekočinjenim lesom (UL) in melamin-urea-formaldehidnim (MUF) lepilom. Glavni namen tega je bil razviti lepilno mešanico, ki bo zadostila pogojem za hladno lepljenje, pri tem pa uporabiti čim večji

delež UL in čim manjši delež MUF lepila. MUF lepilo je bilo v dveh komponentah: MUF smola in utrjevalec (U). Pripravili smo več različnih lepilnih mešanic (Tabela 1).

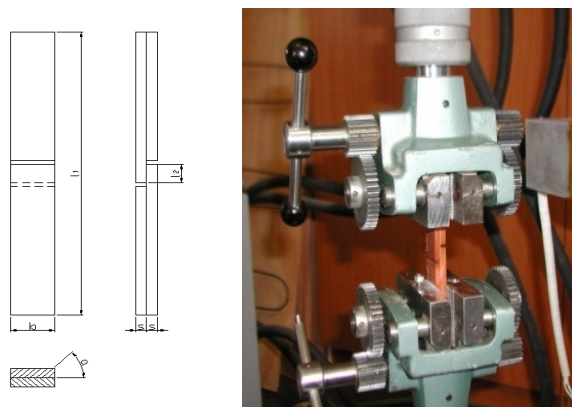
**Tabela 1.** Sestava proučevanih lepilnih mešanic

Lepilna mešanica	Utežni del UL	Utežni del MUF smole	Utežni del utrjevalca
UL0-MUF100-U20	0	100	20
UL25-MUF75-U15	25	75	15
UL50-MUF50-U10	50	50	10
UL0-MUF100-U0	0	100	0
UL25-MUF75-U0	25	75	0
UL50-MUF50-U0	50	50	0

Nato smo pripravili 5 mm debele bukove lamele za lepljenje preskušancev, s katerimi smo ugotavljali kakovost zlepljenosti. Tik pred lepljenjem smo lamele poskobljali, nanесли lepilno mešanico (200 g/m<sup>2</sup>) in formirali dvoslojne lepljence, ki smo jih hladno stiskali 24 ur pri temperaturi 20 °C in tlaku 10 barov.

### 2.3. Ugotavljanje strižne trdnosti lepilnih spojev

Zlepljene lamele smo nato razžagali v strižne preskušance v skladu s standardom SIST EN 205 (Slika 1). Nato smo jim izmerili dimenzije strižne površine in jih razdelili v skupine ter pred preskušanjem različno pripravili (Tabela 2). Po ustrezni pripravi preskušancev je sledilo ugotavljanje strižne trdnosti lepilnega spoja s trgalnim strojem Zwick Z100.



**Slika 1.** Oblika preskušancev in način ugotavljanja strižne trdnosti lepilnih spojev

**Tabela 2.** Načini priprave preskušancev in zahteve za posamezen trajnostni razred lepila

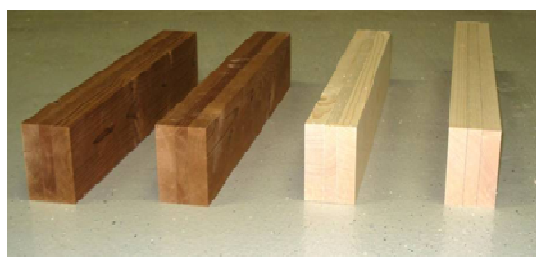
NAČIN PRIPRAVE PRESKUŠANCEV		TRDNOST SPOJA (N/mm <sup>2</sup> )			
		RAZRED LEPILA			
	TRAJANJE IN POGOJI	C1	C2	C3	C4
1	7 dni v standardni klimi	≥10	≥10	≥10	≥10
2	7 dni v standardni klimi, 1 dan namakanja v hladni vodi ((20±5) °C)		≥7	≥7	≥7
3	7 dni v standardni klimi, 3 ure namakanja v vodi ((67±3) °C), 2 uri ohlajanja v hladni vodi ((20±5) °C)			≥4	
4	7 dni v standardni klimi, 3 ure kuhanja v vreli vodi, 2 uri ohlajanja v hladni vodi ((20±5) °C)				≥4

#### 2.4. Termična modifikacija smrekovine

V primeru lameliranih lesenih lepljencev za stavbno pohištvo (okna, vrata) morajo izdelki izkazovati zadostno odpornost proti biotskim in abiotskim dejavnikom, saj so med uporabo izpostavljeni vremenskim in drugim okoljskim vplivom. Za stavbno pohištvo se najpogosteje uporablja smrekovina, ki pa naravno ni zelo odporna. Les smo zato pred lepljenjem termično modificirali, da smo mu izboljšali odpornost proti glivam in insektom ter mu povečali dimenzijsko stabilnost. Termično modifikacijo smrekovega lesa, ki je bil razžagan in posušen na vlažnost 12 %, smo izvedli po postopku »Wood Treatment Technology«.

#### 2.5. Lepljenje termično modificirane smrekovine

Nato smo zlepili 40 trislojnih lepljencev: polovico iz termično modificiranega lesa in polovico iz nemodificiranega lesa (Slika 2). Lamele so bile debeline 22 mm in 16 mm, širine 110 mm in dolžine 1,2 m. Lepili smo 24 ur z dvema lepilnima mešanicama (UL0-MUF100-U20 in UL25-MUF75-U15) pri naslednjih parametrih: vlažnost lesa (8-10) %, nanos lepila 250 g/m<sup>2</sup>, temperatura 20 °C in tlak 10 barov.



**Slika 2.** Termično modificirani in nemodificirani smrekovi lepljenci

#### 2.6. Ugotavljanje strižne trdnosti in delaminacije lepilnih spojev

Iz vsakega lepljenca smo izžagali po štiri preskušance z dimenzijami 40 mm x 40 mm x 60 mm za ugotavljanje strižne trdnosti. Preskušance smo klimatizirali 7 dni v komori s standardno klimo ((20 ± 2) °C in RZV (65 ± 5) %). Strižno trdnost lepilnega spoja smo ugotavljali po standardu SIST EN 392 z univerzalnim testirnim strojem Zwick Z100.

Delaminacijski preskus lepljencev smo izvajali po standardu SIST EN 391. Iz vsakega lepljenca smo izžagali dva preskušanca. Izmerili smo dolžino lepilnih spojev na obeh prečnih prerezih za vsak preskušanec, jih nato vstavili v posodo in jih zalili z vodo. Posodo smo postavili v tlačno komoro, kjer smo najprej vzpostavili in 30 minut vzdrževali podtlak p = -0,85 bar. Potem smo povečali tlak na 7 bar in ga vzdrževali 2 uri. Nato smo preskušance vzeli iz tlačne komore in jih postavili v sušilno komoro s temperaturo 70 °C, kjer smo jih posušili na maso pred preskušnjem. Potem smo z elektronskim kljunastim merilom izmerili dolžino razslojitve vsakega lepilnega spoja na prečni ploskvi in izračunali skupno delaminacijo in maksimalno delaminacijo.

### 3. Rezultati in diskusija

Ugotovili smo, da je na strižno trdnost lepilnega spoja vplivala sestava lepilne mešanice in način priprave preskušancev pred testiranjem (Tabela 3). Na osnovi analize rezultatov smo ugotovili, da kriterijem za lepljenje izdelkov (SIST EN 12765), ki so izpostavljeni povišani vlažnosti (do 18 % - razred lepila C2), ustrežata lepilni mešanici UL0-MUF100-U20 in UL25-MUF75-U15, ki smo ju nato uporabili za nadaljnja lepljenja.

**Tabela 3.** Strižna trdnost spojev različnih lepilnih mešanic

Lepilna mešanica	Strižna trdnost (N/mm <sup>2</sup> )	
	Priprava 1	Priprava 2
UL0-MUF100-U20	14,3	9,6
UL25-MUF75-U15	15,6	9,3
UL50-MUF50-U10	13,8	1,0
UL0-MUF100-U0	2,8	0,0
UL25-MUF75-U0	5,6	0,0
UL50-MUF50-U0	2,7	0,0

Standard SIST EN 386 za lamelirane lepljence zahteva, da je trdnost lepilnega spoja vsaj 6 N/mm<sup>2</sup>, lom po lesu pa nad 80 %. Kriterije sta izpolnjevali obe uporabljeni lepilni mešanici (Tabela 4).

**Tabela 4.** Rezultati strižne trdnosti lepilnih spojev in delež loma po lesu

Lepilna mešanica	Strižna trdnost (N/mm <sup>2</sup> )		Lom po lesu (%)	
	Smreka	Modificirana smreka	Smreka	Modificirana smreka
UL0-MUF100-U20	7,9	6,3	80	86
UL25-MUF75-U15	7,8	6,2	81	85

Poleg kriterijev za strižno trdnost in lom po lesu pa morajo lepila, ki bi bila namenjena za konstrukcijsko uporabo, izkazovati tudi zadostno odpornost proti delaminaciji (Tabela 5). Glede na zahteve standarda SIST EN 386 je lahko skupna delaminacija največ 4 %, maksimalna delaminacija pa največ 40 %, če želimo lepljence uporabiti v konstrukcijske namene. Ugotovili smo, da je te zahteve izpolnjevala lepilna mešanica UL0-MUF100-U20, medtem ko lepilna mešanica UL25-MUF75-U15, ki ji je bil dodan utekočinjen les, ni bila primerna za konstrukcijsko uporabo. Vsekakor pa so z vidika strižne trdnosti novo razviti proizvodi primerni za manj zahtevno uporabo kot je na primer stavbno pohištvo (okenski podboji in okenska krila ter vhodna vrata).

**Tabela 5.** Skupna in maksimalna delaminacija lepilnih spojev

Lepilna mešanica	Skupna delaminacija (%)		Maksimalna delaminacija (%)	
	Smreka	Modificirana smreka	Smreka	Modificirana smreka
UL0-MUF100-U20	1,0	2,0	9,5	6,1
UL25-MUF75-U15	17,0	9,7	43,8	74,4

#### 4. Zaključki

Rezultati raziskave so pokazali, da je iz termično modificirane smrekovine in lepilne mešanice, ki ji je dodan utekočinjen les, možno izdelati leseni lamelirani lepljenec, ki je primeren za izdelavo stavbnega pohištva. Lepljenec je dimenzijsko stabilen in odporen proti biotskim in abiotskim dejavnikom brez kakršnekoli kemijske zaščite. Povečana trajnost in večja dimenzijska stabilnost sta

posledica termične modifikacije lesa. Kvalitetno lepljenje je bilo doseženo z lepilom, ki je bilo mešanica 25 % utekočinjenega lesa in 75 % klasičnega melamin-urea-formaldehidnega lepila. Z ekološkega vidika je to pozitivno, saj je bil del lepila izdelan iz obnovljivega naravnega materiala – lesa.

#### Zahvala

Avtor se zahvaljuje asistentu Mirku Karižu in dr. Francu Budiji za pomoč pri izvedbi raziskave.

#### Literatura

- Alma, H.M.; Bastürk, M.A. Liquefaction of grapewine cane (*Vitis vinisera* L.) waste and its application to phenol-formaldehyde type adhesive. *Industrial crops and products* 2006, 24, 171-176.
- Budija, F.; Tavzes, Č.; Zupančič-Kralj, L.; Petrič, M. Self-crosslinking and film formation ability of liquefied black poplar. *Bioresource Technology* 2009, 100, 3316-3323.
- Kobayashi, M.; Hatano, Y.; Tomita, B. Viscoelastic Properties of Liquefied Wood/Epoxy Resin and its Bond Strength. *Holzforschung* 2001, 55, 667-671.
- Kunaver, M.; Medved, S.; Čuk, N.; Jasiukaityte, E.; Poljanšek, I.; Strnad, T. Application of liquefied wood as a new particle board adhesive system. *Bioresource Technology*, 2010, 101, 1361-1368.
- SIST EN 386 Glued laminated timber - Performance requirements and minimum production requirements 2002.
- SIST EN 392 Glued laminated timber - Shear test of glue lines 1995.
- SIST EN 391 Glued laminated timber - Delamination test of glue lines 2001.
- SIST EN 12765 Classification of thermosetting wood adhesives for non-structural applications 2002.
- SIST EN 205 Adhesives - Wood adhesives for non-structural applications - Determination of tensile shear strength of lap joints 2003.
- Ugovšek, A.; Kariž, M.; Šernek, M. Bonding of beech wood with an adhesive mixture made of liquefied wood and phenolic resin. In: The 4<sup>th</sup> conference on hardwood research and utilisation in Europe; Németh, R.; Teischinger, A., Eds.; Sopron, May 17-18, 2010: pp. 64-68

