

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Janez ŠILC

**VPLIV SESTAVE LEPILNE MEŠANICE NA OSNOVI
UTEKOČINJENEGA LESA NA KAKOVOST LEPLJENJA TERMIČNO
MODIFICIRANEGA LESA**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**INFLUENCE OF COMPOSITION OF ADHESIVE MIXTURE BASED ON
LIQUEFIED WOOD ON THE BONDING PERFORMANCE OF HEAT-
TREATED WOOD**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2011

Diplomsko delo je zaključek visokošolskega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je odobril naslov diplomske naloge in je za mentorja imenoval izr. prof. dr. Milana Šerneka ter za recenzenta prof. dr. Marka Petriča.

Mentor: izr. prof. dr. Milan Šernek

Recenzent: prof. dr. Marko Petrič

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Janez ŠILC

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Vs
DK UDK 630*824.81
KG lepljenje/termična modifikacija lesa/utekočinjen les/mehanske lastnosti/MUF
leplilo/delaminacija/upogibna trdnost/modul elastičnosti/strižna trdnost/lepilni spoji
AV ŠILC, Janez
SA Šernek, Milan (mentor)/PETRIČ, Marko (recenzent)
KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA Univerza v ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI 2011
IN VPLIV SESTAVE LEPILNE MEŠANICE NA OSNOVI UTEKOČINJENEGA
LESA NA KAKOVOST LEPLJENJA TERMIČNO MODIFICIRANEGA LESA
TD Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP IX, 33 str., 9 pregl., 20 sl., 43 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Proučevali smo vpliv sestave lepilne mešanice na osnovi utekočinjenega lesa na
kakovost lepljenja termično modificiranega lesa. Ugotavljali smo tudi učinek
modifikacije na nekatere mehanske in fizikalne lastnosti. S standardnimi metodami
smo ugotovili strižno trdnost preizkušancev (SIST EN 392), modul elastičnosti,
upogibno trdnost (SIST EN 408) in delaminacijo lepilnih spojev (SIST EN 391).
Teste smo opravili s 3 slojnimi lepljenci iz nemodificirane in modificirane
smrekovine, ki smo jih zlepili s 6 lepilnimi mešanicami. Za lepljenje smo uporabili
melamin-urea-formaldehidno (MUF) leplilo in utekočinjen topolov les. Deleži
utekočinjenega lesa v lepilni mešanici so bili 0 %, 5 %, 15 %, 25 %, 35 % in 50 %.
Ugotovili smo, da je bila kakovost lepljenja modificiranega lesa odvisna od
uporabljenih lepilnih mešanic. Z višanjem deleža utekočinjenega lesa v lepilni
mešanici se je trdnost zmanjševala. Ugotovili smo tudi, da ima modificiran les
manjšo upogibno trdnost v primerjavi z nemodificiranim lesom. Ravnovesna
vlažnost modificiranega lesa v standardni klimi pa je bila v povprečju za 3,5 % nižja
od vlažnosti nemodificiranega lesa.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs
DC UDC 630*824.81
CX adhesive bonding/heat-treated wood/liquefied wood/mechanical properties /MUF
adhesive/delamination/modulus of rupture/modulus of elasticity/shear strength of
adhesive bond
AU ŠILC, Janez
AA Šernek, Milan (seprevisor)/PETRIČ, Marko (reviewer)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science
and Technology
PY 2011
TI INFLUENCE OF COMPOSITION OF ADHESIVE MIXTURE BASED ON
LIQUEFIED WOOD ON THE BONDING PERFORMANCE OF HEAT-
TREATED WOOD
DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO IX, 33 p., 9 tab., 20 fig., 43 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Thesis researches the influence of composition of adhesive mixture based on
liquefied wood on bonding quality of heat-treated wood. We observed the effect of
modification on mechanical and physical performance of wood. Using standard
methods we determined the shear strength of specimens (SIST EN 392), modulus of
elasticity, modulus of rupture (SIST EN 408) and delamination (SIST EN 391).
Tests were performed on heat-treated and non-treated 3-layer spruce laminations
glued with 6 adhesive mixtures. We used MUF adhesive and poplar liquefied wood.
6 different shares of poplar liquefied wood: 0 %, 5 %, 15 %, 25 %, 35 % and 50 %
in mixture were used. We found out that the quality of adhesive of heat-treated
wood depended on usage of adhesive mixture. Higher the share of liquefied wood in
adhesive mixture, lower the strength. We determined that heat-treated wood had
lower modulus of rupture comparing to non-modified wood. Equilibrium moisture
content of heat-treated wood in a standard climate was for 3.5 % lower from that of
non-modified wood.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key Words Documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic.....	VII
Kazalo slik.....	VIII
Kazalo prilog.....	IX
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2 DELOVNE HIPOTEZE	1
1.3 CILJI RAZISKAVE	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 UTEKOČINJEN LES	2
2.1.1 Mehanizem utekočinjanja	2
2.1.2 Pregled najpomembnejših postopkov utekočinjanja lesa	2
2.2 MODIFIKACIJA LESA	3
2.2.1 Pomen modificiranega lesa	3
2.2.2 Princip modifikacije lesa	4
2.2.3 Termična modifikacija lesa	4
2.2.3.1 Karakteristike termično obdelanega lesa	5
2.2.3.2 Okoljski vidik termične modifikacije lesa	5
2.2.4 Lepljenje termično modificiranega lesa	6
2.2.4.1 Lastnosti termično modificiranega lesa, ki vplivajo na kakovost lepljenja	6
3 MATERIAL IN METODE.....	9
3.1 IZDELAVA UTEKOČINJENEGA LESA	9
3.1.1 Pridobivanje utekočinjenega lesa	9
3.2 IZDELAVA LEPLJENCEV	10
3.2.1 Smreka	11
3.2.2 Termična modifikacija smrekovine	11
3.2.3 Lepljenje lamel	11
3.2.4 Izdelava lepilne mešanic iz utekočinjenega lesa in melamin-urea-formaldehidnega lepila	12
3.3 UGOTAVLJANJE STRIŽNE TRDNOSTI LEPILNIH SPOJEV	13
3.4 DELIMINACIJSKI PREIZKUS LEPILNIH SPOJEV	15
3.5 UGOTAVLJANJE NEKATERIH DRUGIH MEHANSKIH IN FIZIKALNIH LASNOSTI	17
3.5.1 Modul elastičnosti in upogibna trdnost lesa	17
3.5.2 Gostota lesa	19
3.5.3 Vlažnost lesa	19
4 REZULTATI	20
4.1 STRIŽNA TRDNOST LEPILNIH SPOJEV	20
4.2 DELAMINACIJA LEPILNIH SPOJEV	20

4.2.1	Preizkušnici, zlepljeni iz nemodificirane smrekovine	20
4.2.2	Preizkušnici, zlepljeni iz modificirane smrekovine	21
4.3	MODUL ELASTIČNOSTI IN UPOGIBNA TRDNOST	21
4.4	Gostota lesa	22
4.5	Vlažnost lesa	22
5 RAZPRAVA IN SKLEPI	23	
5.1	STRIŽNA TRDNOST LEPLJENCEV	23
5.2	DELAMINACIJA LEPILNIH SPOJEV	24
5.3	MODUL ELASTIČNOSTI IN UPOGIBNA TRDNOST	25
5.4	GOSTOTA LESA IN VLAŽNOST	26
5.5	SKLEPI	27
6 POVZETEK.....	29	
7 VIRI.....	30	
ZAHVALA		
PRILOGE		

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1 Razvrstitev drevesnih vrst po naravni odpornosti (SIST EN 350-2).	3
Preglednica 2: Ravnovesna lesna vlažnost klimatiziranih lamel pred lepljenjem	12
Preglednica 3: Uporabljene lepilne mešanice iz UL, MUF in U	12
Preglednica 4: Strižne trdnosti lepilnih spojev.....	20
Preglednica 5: Delaminacija preizkušancev iz nemodificirane smrekovine.....	20
Preglednica 6: Delaminacija preizkušancev iz modificirane smrekovine.....	21
Preglednica 7: Modul elastičnosti (E_m) in upogibna trdnost (f_m) lepljenih preizkušancev	21
Preglednica 8: Gostota lesa lepljenih preizkušancev	22
Preglednica 9: Vlažnost lesa lepljencev	22

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Reaktanti za pripravo utekočinjenega lesa: les, glicerol in žveplova(VI) kislina.....	9
Slika 2: Prikaz mešanja reakcijske zmesi.....	10
Slika 3: Utekočinen les (FOTO: Franc Budija)	10
Slika 4: Dimenziije izdelanega lepljenca	12
Slika 5: Prikaz razzagovanja lepljencev v preizkušance za strižno trdnost in deliminacijo	13
Slika 6: Preizkušanec za ugotavljanje strižne trdnosti lepilnih spojev	13
Slika 7: Prikaz strižne obremenitve preizkušanca (SIST EN 392, 1995)	14
Slika 8: Univerzalna naprava za mehansko testiranje ZWICK Z100	14
Slika 9: Preizkušanec za delaminacijski preizkus lepilnih spojev	15
Slika 10: Komora za vzpostavitev nadtlaka in podtlaka.	16
Slika 11: Štiri točkovni upogib po standardu SIST EN 408	17
Slika 12: Univerzalna naprava za mehansko testiranje ZWICK Z100 (preizkus po SIST EN 408)	18
Slika 13: Strižna trdnost lepilnih spojev preizkušancev, zlepljenih iz nemodificirane smrekovine	23
Slika 14: Strižna trdnost lepilnih spojev preizkušancev, zlepljenih iz termično modificirane smrekovine	24
Slika 15: Delaminacija lepilnih spojev, zlepljenih iz nemodificirane smreke	25
Slika 16: Delaminacija lepilnih spojev, zlepljenih iz modificirane smreke	25
Slika 17: Modul elastičnosti in upogibna trdnost lepljencev iz nemodificirane smrekovine ..	26
Slika 18: Modul elastičnosti in upogibna trdnost lepljencev iz termično modificirane smrekovine	26
Slika 19: Gostota lesa lepljencev	27
Slika 20: Vlažnost lesa lepljencev.....	27

KAZALO PRILOG

Priloga A: Strižna trdnost lepilnega spoja preizkušancev iz nemodificirane smrekovine
Priloga B: Strižna trdnost lepilnega spoja preizkušancev iz termično modificirane smrekovine
Priloga C: Upogibna trdnost preizkušancev iz nemodificirane smrekovine
Priloga D: Upogibna trdnost preizkušancev iz termično modificirane smrekovine
Priloga E: Gostota lesa nemodificirane smrekovine
Priloga F: Gostota lesa termično modificirane smrekovine
Priloga G: Vlažnost lesa nemodificirane smrekovine
Priloga H: Vlažnost lesa termično modificirane smrekovine
Priloga I: Deliminacija lepilnega spoja za preizkušance iz nemodificirane smrekovine
Priloga J: Deliminacija lepilnega spoja za preizkušance iz termično modificirane smrekovine .

1 UVOD

Ekološka usmerjenost k uporabi naravnih in obnovljivih virov je močno prisotna tudi pri razvoju novih lepil za les. Zanimanje zanje se je sicer začelo že v 40-ih letih prejšnjega stoletja, svoj prvi razcvet pa je doživel z naftno krizo v začetku 70-ih. Interes, ki je zaradi ponovnega znižanja cen nafte hitro zamrl, je bil takrat precej bolj finančno usmerjen. V začetku 21. stoletja pa je to zanimanje ponovno oživel. Silovit razmah varovanja okolja, človeška naravnost k uporabi naravnih surovin, visoke okoljevarstvene zahteve in seveda nesorazmerno naraščanje cene nafte so razlogi ponovnega interesa za razvoj sodobnih lepil iz naravnih surovin (Ugovšek in Šernek, 2009; Pizzi, 2006).

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Zaradi čedalje večje okoljske osveščenosti, vse strožjih okoljevarstvenih zahtev, uvedbe uredb glede hlapnih organskih substanc (HOS) in višanja cen naftnih derivatov, na trg prodira vse več novih izdelkov iz naravnih materialov. Izdelava lepil za les na osnovi naravnih in obnovljivih virov je perspektivna, vendar je najprej potrebno proučiti številne lastnosti lepilnega spoja in ugotoviti ustreznost lepila glede na standardne zahteve.

1.2 DELOVNE HIPOTEZE

Raziskava deleža utekočinjenega lesa v lepilni mešanici, ki se uporablja za lepljenje lesa, izhaja iz predpostavke, da bo atribut okoljske prijaznosti in vpliva na zdravje potrošnikov v naslednjih nekaj letih postal bistvena blagovna in zaščitna znamka evropske lesne industrije (kvalitativna ovira). Predvidevamo lahko, da bo verjetno uvedena tudi taksa za okoljsko obremenjevanje z nevarnimi substancami, kakor tudi prispevek za njihovo razgradnjo. Oboje (direktiva in dodatni stroški) bo vplivalo na cenovno konkurenčnost proizvajalcev, ki bodo uporabljali okolju nevarne substance.

1.3 CILJI RAZISKAVE

Glavni cilj raziskave je zagotoviti zadostno adhezijo pri lepljenju termično modificiranega lesa z lepilom na osnovi utekočinjenega lesa in doseči primerno trdnost. Raziskava je usmerjena v ugotovitev maksimalnega deleža utekočinjenega lesa v lepilni mešanici pri lepljenju termično modificiranega lesa.

2 PREGLED OBJAV

2.1 UTEKOČINJEN LES

Utekočinjanje lesa je eden od obetavnih pristopov za koristno uporabo lignoceluloznih materialov. Pod pojmom utekočinjenje si lahko predstavljamo trdne lesne ostanke in ostale lesne vire, ki so preoblikovani v tekoče agregatno stanje in se lahko uporabijo v končni fazi tudi kot material za lepila (Kobayashi in sod., 2000; Alma in Bastürk, 2001; Fu in sod., 2006), pene (Alma in Shiraishi, 1998) itd. Ugotovljeno je bilo, da imajo različne vrste lesa različen vpliv na utekočinjanje (Kurimoto in sod., 1999).

Trenutno je znanih pet različnih načinov utekočinjenja lesa (Budija in sod., 2009): (1) Uporaba fenola kot utekočinjevalnega agenta s primernim katalizatorjem (kislina ali baza) (Alma in Bastürk, 2001, 2006; Fu in sod., 2006). Celuloza in hemiceluloza sta izpostavljeni transglikolizaciji, pri kateri se tvori hidroksimetilfurfural. Ta kasneje kondenzira s fenolom in formaldehidom preko metilenskih mostičkov (Yamada in sod., 1996). (2) Uporaba cikličnih karbonatov (Mun in sod., 2001), (3) ionskih tekočin (Honglu in Tiejun, 2006), (4) uporaba okolju prijaznega reagenta – diestra (DBE) (Wei in sod., 2004) in (5) polihidričnih alkoholov (Kobayashi in sod., 2000; Budija in sod., 2009; Ugovšek in Šernek, 2009).

2.1.1 Mehanizem utekočinjanja

Mehanizem utekočinjenja lesa in sorodnih spojin še vedno ni popolnoma pojasnjen. Potek reakcije je zadovoljivo opisan za celulozo in polioze. Nasprotno pa reakcije lignina do danes niso povsem definirane.

2.1.2 Pregled najpomembnejših postopkov utekočinjanja lesa

1. Utekočinjenje polisaharidov, ki predstavlja glavnino lesne mase, poteka z alkoholi oziroma fenolom ob prisotnosti žveplove(VI) kisline z alkoholizo ali fenolizo glukozidne vezi. Hitrost utekočinjenja polisaharidov je odvisna od temperature in količine dodanega glikola ter kisline. Utekočinjenje amorfnega polisaharida, kot je škrob, je zelo hitro, med tem ko je utekočinjanje kristalinične celuloze veliko počasnejše (Tišler, 2002). Reakcija med polisaharidi ter fenoli je bolj zapletena kot reakcija med polisaharidi in alkoholi. Vzrok je v lastnostih fenola. Ob njegovi prisotnosti prihaja do nastanka snovi z višjo molsko maso (kondenzacija) (Alma in Bastürk, 2001, 2006; Fu in sod., 2006).

2. Mehanizem utekočinjanja lignina s fenolom so proučevali s kislinskimi katalizatorji kot tudi brez njih. Izbrali so modelno substanco in sicer gvajacil-glicerol-gvajcil eter (GG). Ugotovili so, da GG pri povišani temperaturi brez prisotnosti katalizatorja homolitsko razpade v različne radikale. Pri utekočinjanju z etilen glikolom se celuloza najprej razgradi v monomerne glukozide (\pm - in β -D-glukozide). S podaljševanjem časa utekočinjanja nad 60 min, se glukozidi razgradijo v levulinsko kislino. Končni produkt utekočinjenja je levulinska kislina, katere količina narašča s podaljševanjem časa utekočinjanja. Med postopkom utekočinjanja lesa iglavcev s fenolom so proučevali vpliv organske sulfonske

kisline, ki je bila v funkciji katalizatorja. Uporabili so pet organskih sulfonskih kislin: benzensulfonsko kislino (BSA), metansulfonsko kislino (MSA), 1,5-naftalendisulfonsko kislino (NDSA), 1-naftalensulfonsko (NSA) in p-toluensulfonsko kislino (PTSA). Za vseh pet sulfonskih kislin se je izkazalo, da so dobri katalizatorji za utekočinjanje s fenolom (Mun in sod., 2001).

3. Utekočinjanje lesa z uporabo poliolov. Kobayashi in sod. (2000) so izdelali sistem, ki je bil osnovan na reakciji utekočinjenega lesa z epoksidnimi skupinami, pri katerih je bil kot utrjevalec uporabljen trietilen tetramin (TETA). Do zamreženja je predvidoma prišlo s povezavami med epoksidnimi in aminskimi skupinami ter med epoksidnimi in hidroksilnimi skupinami utekočinjenega lesa. Visoka viskoznost omenjene smole otežuje penetracijo lepila v les pri čemer je bilo »sidranje« neuspešno. Pomanjkljivost je tudi visoka potrebna temperatura zamreženja v primerjavi s komercialnimi epoksidnimi lepili. Prednost tega sistema je v enostavni pripravi in uporabi visokega deleža lesa (Ugovšek in Šernek, 2009).

2.2 MODIFIKACIJA LESA

2.2.1 Pomen modificiranega lesa

Evropa uvaža velike količine lesa s celotnega sveta, vključno s številnimi tropskimi drevesnimi vrstami. Kot navaja Ridders (2007), je velik del uvoženega lesa posebej cenjen zaradi visoke naravne odpornosti. Evropa ima veliko domačih drevesnih vrst, ki imajo odlične lastnosti, vendar so žal preveč podvržene biološkim in fizikalnim dejavnikom razkroja lesa. Uvoz lesa visoke kvalitete ni ustrezna rešitev problema trajnosti lesa. Večanje števila prebivalstva povzroča obremenjenost gozdov s potrebami po visoko kvalitetnem lesu. To se odraža v nekontrolirani sečnji, kar ima negativne posledice za okolje. Najbolj so problematični večji goloseki, ki puščajo za sabo nepopravljive posledice na okolje. Rešitev tega problema je lahko v uporabi obstoječih domačih zalog manj naravno odpornih drevesnih vrst. Za to pa so potrebne tehnologije, ki povečajo odpornost lesa.

Trajnost lesa je določena z lastno naravno odpornostjo proti fizikalnim in biološkim dejavnikom razkroja lesa in mestom uporabe. V Evropi razdelimo drevesne vrste glede na odpornost v pet razredov. Naravna odpornost nekaj bolj znanih drevesnih vrst je podana v preglednici 1 (Zanjkovič, 2007).

Preglednica 1 Razvrstitev drevesnih vrst po naravni odpornosti (SIST EN 350-2).

Razred 1 ZELO ODPORNE	Razred 2 ODPORNE	Razred 3 ZMERNO ODPORNE	Razred 4 NEODPORNE	Razred 5 ZELO OBČUTLJIVE
Tropske drevesne vrste:	Brin (<i>Juniperus</i> ssp.)	Duglazija (<i>Pseudotsuga mensziesii</i>)	Macesen (<i>Larix decidua</i>)	Javor (<i>Acer pseudoplatanus</i>)
Tik	Hrast (<i>Quercus</i> ssp.)	Tuja (<i>Thuja</i> ssp.)	Smreka (<i>Picea</i> ssp.)	Jesen (<i>Fraxinus</i> ssp.)
Merbau			Bor (<i>Pinus</i> ssp.)	Bukov (<i>Fagus sylvatica</i>)
Greenheart			Rdeči hrast (<i>Quercus rubra</i>)	Topol (<i>Populus</i> ssp.)
Kapur				

Tradicionalne metode, ki povečujejo odpornost lesa, ne zagotavljajo trajne rešitve, predvsem zaradi negativnega vpliva na okolje. Zato se razvija in je že razvitih veliko novejših alternativnih tehnologij modifikacije lesa, ki zvišujejo odpornost predvsem neodpornim drevesnim vrstam z minimalnim vplivom na okolje.

2.2.2 Princip modifikacije lesa

Celična stena sestoji v glavnem iz polimerov (celuloze, lignina in hemiceluloze). Reaktivne hidroksilne skupine teh polimerov so v veliki meri odgovorne za mnoge fizikalne in kemične lastnosti lesa. Pri modifikaciji lesa se spremeni zgradba polimerov celične stene, kar se kaže v spremembah pomembnih lastnosti lesa, vključno z naravno odpornostjo, dimenzijsko stabilnostjo in trdnostjo. Modifikacijo lesa delimo na tri večje skupine:

- termična modifikacija,
- kemična modifikacija in
- modifikacija z encimi.

2.2.3 Termična modifikacija lesa

Prve raziskave o termični modifikaciji lesa so potekale že v sredini prejšnjega stoletja, vendar pa je bilo največ raziskav narejenih v zadnjih dveh desetletjih. Največ razvoja je bilo opravljenega v laboratorijih na Finskem, v Franciji, v Nemčiji, na Nizozemskem in v ZDA. Pri nekaterih tehnologijah se les segreva tudi preko 200 °C. Spremeni se celična struktura lesa, polimerne verige razpadajo, hidroksilne skupine medsebojno zamrežijo (zreagirajo), zato je termično modificiran les manj higroskopen. Termično modificiranega lesa bakterije in glice ne razkrajajo. Razlogi za to še niso v celoti razjasnjeni, najpogosteje pa zasledimo naslednje možnosti:

- glice modificiranega lesa ne prepoznajo, zato ga ne napadejo,
- s termično modifikacijo znižamo ravnovesno vlažnost lesa,
- med termično modifikacijo se najbolj razgradijo hemiceluloze, ki so najbolj dovetne na glivni razkroj,
- med termično modifikacijo nastanejo nove snovi, ki delujejo fungicidno...

Vsi procesi termične modifikacije potekajo v anoksi pogojih, ki jih zagotovimo z različnimi mediji:

- dušikom,
- vodno paro,
- vodo,
- oljem,
- intaktnim (začetnim) vakuumom...

Prisotnost kisika med termično modifikacijo je nezaželena zaradi oksidacije gradnikov lesa, predvsem celuloznih verig, kar se odraža v zmanjšani trdnosti lesa. Ohranitev mehanskih lastnosti lesa na čim višjem nivoju je eden glavnih izzikov termične modifikacije (Zanjkovič, 2007).

2.2.3.1 Karakteristike termično obdelanega lesa

Osnovna struktura in naravne karakteristike lesa se ohranijo, zato se lahko termično modificiran les obdeluje primerljivo kot nemodificiran les.

Odpornost

V splošnem lahko rečemo, da termični modifikacijski procesi občutno zvišujejo odpornost lesa, odvisno od drevesne vrste in pogojev procesa. Za neodporne drevesne vrste razreda odpornosti 4 ali 5 se poveča odpornost za dve do tri stopnje, v razred 2 do 3, v nekaterih primerih celo razred 1 (preglednica 1). Odpornost proti vsem vrstam gliv se znatno izboljša. Različne raziskave dokazujejo, da se posebej poveča odpornost proti rjavim trohnobi. Nekoliko manj se izboljša odpornost proti beli in mehki trohnobi (Raggers, 2007).

Trdnost

S termično modifikacijo lesa se močno spremenijo tudi mehanske lastnosti lesa. Čim višja je temperatura med procesom modifikacije, bolj se lesu zmanjšajo mehanske lastnosti. Raziskave kažejo, da se modificiranemu lesu trdnost zmanjša od 5 % do 50 %, kar je odvisno od uporabljenega procesa (Raggers, 2007).

Dimenzijska stabilnost

Krčenje in nabrekanje modificiranega lesa je zmanjšano, kar je posledica manjše higroskopnosti modificiranega lesa.

Barva

Zaradi visoke temperature med procesom modifikacije termično obdelani lesovi večinoma dobijo značilno rjavo barvo. Barva je povezana s temperaturo in trajanjem postopka. Čim višja je temperatura in čim daljši je proces tem temnejša je barva. Barva pa je odvisna tudi od lesne vrste (Raggers, 2007).

Vonj

Vonj termično modificiranega lesa se spremeni. Les dobi značilen karamelni vonj, ki je posledica depolimerizacije in sproščanja hlapnih spojin. Intenzivnost vonja se s časom zmanjšuje. Močan vonj v nekaterih primerih omejuje uporabo termično modificiranega lesa v zaprtih prostorih.

2.2.3.2 Okoljski vidik termične modifikacije lesa

Pomemben je tudi okoljski vidik termične modifikacije. Les postane odpornejši, kar je seveda z okoljskega vidika dobro, vendar pri procesu porabljamo energijo, nastajajo odpadne vode in plini. Okoljsko škodljive pline navadno enostavno skurijo v posebnih gorilnikih. Odpadne vode, ki nastanejo pri procesu so kisle ($\text{pH} = 3$) zaradi kislin, ki

nastanejo med procesom in se izločajo iz lesa. Poleg tega vsebujejo tudi smole in trdne snovi, ki so se med procesom izločile iz lesa. Trdni delci se izločajo v posebnih čistilnih bazenih, preostanek pa se čisti kot ostale komunalne odplake. Poraba energije je za 25 % večja kot je povprečna poraba energije pri klasičnem sušenju lesa.

2.2.4 Lepljenje termično modificiranega lesa

Najprej so termično modificiran les uporabljali le za oblage objektov, ograje, oblage mostov, notranje oblage savn in za enostavne elemente, spojene z vijačenjem in žebeljanjem. Z zahtevnejšo uporabo za okna, vrata, notranje in vrtno pohištvo pa se je pojavila potreba po lepljenju elementov. Lepljenje modificiranega lesa pa je lahko težavno zaradi povečanega deleža ekstraktivnih snovi in produktov modifikacije na površini lesa, delno spremenjene kemične sestave lesa, nižje ravovesne vlažnosti lesa, znižane vrednosti pH lesa ter manjšega števila reaktivnih skupin v lesu. Prve raziskave so pokazale, da se modificiran les kvalitetno lepi z večino industrijskih lepil kot so polivinil-acetatna (PVAc), poliuretanska (PUR), izocianatna (PMDI) in resorcinol-formaldehidna (RF) lepila, le da je treba pri nekaterih prilagoditi postopek lepljenja in/ali modificirati lepilo (Militz, 2002). V kasnejših raziskavah so ugotovili, da je mogoče termično modificiran les kvalitetno zlepiti tudi z urea-formaldehidnimi (UF) in melamin-urea-formaldehidnimi (MUF) lepili (Šernek in sod., 2007; Šernek in sod., 2008).

2.2.4.1 Lastnosti termično modificiranega lesa, ki vplivajo na kakovost lepljenja

Kristaliničnost

S stopnjo termične modifikacije stopnja kristaliničnosti celuloznih molekul raste, saj je na obdelavo pri višjih temperaturah bolj občutljiv amorfni del celuloznih molekul, zato najprej razpadajo amorfni deli in hemiceluloze (Hakkou in sod., 2005). Posledica cepitve dolgih molekul celuloze je tudi zmanjšanje elastičnosti in povečanje krhkosti lesa (Poncsák in sod., 2007).

Barva in morfologija površine

Zaradi postopka modifikacije se spremeni barva lesa, zaradi razpada določenih vezi in nastanka novih pa se spremeni tudi morfologija površine (Kariž in Šernek, 2008).

Ravovesna vlažnost

Termično modificiran les ima precej nižjo ravovesno vlažnost kot nemodificiran les. Nižja ravovesna vlažnost lesa vpliva na hitrost adsorpcije vode iz lepila in s tem na hitrost utrjevanja lepila. Posledica manjše higroskopnosti modificiranega lesa sta precej manjše krčenje in nabrekanje lesa ob spremicanju vlažnosti okolice, s tem pa tudi manjša obremenjenost lepilnih spojev z napetostmi, ki nastanejo zaradi delovanja lesa. Po drugi strani pa je lahko nizka ravovesna vlažnost modificiranega lesa problem pri utrjevanju lepila, saj je zaradi slabše adsorpcije vode v les utrjevanje počasnejše, spoji pa so slabši. Ena od možnih rešitev je uporaba lepil z manjšim deležem vode (Adhesive bonding of Plato wood, 2006). Lahko se pojavijo tudi problemi pri lepljenju z lepili, ki za reakcijo utrjevanja potrebujete vodo. Enokomponentna poliuretanska lepila pri nizkih vlažnostih lesa dajejo spoje z nižjo trdnostjo in manjšim deležem loma po lesu (Beaud in sod., 2006).

To lahko izboljšamo z navlaževanjem površine lepljencev pred stiskanjem (Kariž in Šernek, 2008).

Izguba mase

Les med postopkom modifikacije izgubi del mase, kar je predvsem značilno pri temperaturah nad 200 °C, ko se pojavi izrazito izparevanje ekstraktivov in razkroj nekaterih komponent lesa (Hakkou in sod., 2005). Izguba mase je odvisna od časa trajanja modifikacije, kisika in temperature. Zaradi izgube mase je gostota modificiranega lesa nižja od gostote nemodificiranega lesa in pada s povečevanjem temperature termične modifikacije (Kariž in Šernek, 2008).

Toplotna prevodnost

Termično modificiranem lesu se zmanjša toplotna prevodnost za okrog (20-25) % v primerjavi z netretiranim lesom (Mayes in Oksanen, 2003), zato je zaradi izboljšane izolativnosti bolj primeren za vrata, stenske obloge, okna in savne. Pri klasičnem vročem lepljenju pa moramo zaradi počasnejšega prehoda toplote skozi tak les podaljšati čas stiskanja lepljencev (Kariž in Šernek, 2008).

Migracija snovi

V procesu segrevanja pri termični modifikaciji prihaja do podobnih procesov kot pri sušenju lesa ali furnirja pri povišani temperaturi. Sušenje povzroči prehod ekstraktivov na površino in reorientacijo molekul na površini, kar zmanjša omocitev in število mest za kemično vezavo lepila ter zapre pore v celičnih stenah (Hse in Kuo, 1988; Christiansen 1989a; 1989b; Šernek in sod., 2004). Veliki depoziti na površini povečujejo možnost onesnaženja in zmanjšujejo kohezijo lepila (Hse in Kuo, 1988). Ekstraktivi lahko blokirajo reaktivna mesta na površini lesa in zmanjšujejo adhezijo med lepilom in lesom (Hse in Kuo, 1988; Stefke in Dunky, 2006), oksidacija ekstraktivov povečuje kislost lesa in pospešuje degradacijo (Stefke in Dunky, 2006). Pri segrevanju delno razpade tudi lignin, pri tem pa se sproščajo aldehydi in kisline, ki prav tako prehajajo na površino lesa (Podgorski in sod., 2000). Pri obdelavi lesa med 100 °C in 160 °C na površino migrirajo voski, maščobe, smolne kisline ter smola iz smolnih kanalov, vendar naj bi se pri višjih temperaturah razgradili in izpareli, zato jih s FTIR analizo ne zaznamo več (Nuopponen in sod., 2003). Nekateri raziskovalci menijo, da ekstraktivi nimajo velikega vpliva na lepljenje, oziroma, da je ta odvisen od vrste lepila (Stefke in Dunky, 2006).

Reaktivnost

Zaradi manj OH skupin v modificiranem lesu, delno spremenjene strukture lesa in drugačne kemične sestave površine prihaja do drugačnih vezi in števila le-teh med lesom in lepilom. Z zmanjšanjem deleža hemiceluloz se zmanjša tudi število prostih reaktivnih OH skupin (Mayes in Oksanen, 2003). Delež celuloze se pri modifikaciji lesa smreke skoraj ne spremeni, medtem ko delež hemiceluloz upade z 21 % na samo 2 % pri 10 h trajajoči termični obdelavi pri 200 °C (Yildiz in sod., 2006). Manj reaktivnih skupin predstavlja manj mest za nastanek kemijske vezi med lepilom in lesom (Kariž in Šernek, 2008).

Vrednost pH

Pri postopku termične modifikacije se zniža vrednost pH lesa. Spremenjen pH površine lesa zahteva uporabo prilagojenih lepil, vendar niso vsa lepila enako občutljiva na spremembo kislosti površine. Za urea-formaldehidna (UF) in melamin-formaldehidna (MF) lepila, ki se utrjujejo v kislem mediju (Pizzi, 1983), povečana kislost modificiranega lesa ne pomeni problema, medtem ko lahko kisla površina povsem zaustavi reakcijo utrjevanja fenol-formaldehidnega (FF) lepila vrste resol, ki se utrjuje v alkalnem mediju (Kariž in Šernek, 2008).

Omočitev površine

Termična obdelava lesa povzroči, da postane površina manj polarna in s tem bolj hidrofobna, zato odbija vodo bolj kot netretiran les (Gérardin in sod., 2007). Hidrofobnost narašča s stopnjo modifikacije. Taka površina je sicer zaželena pri zunanjji uporabi lesa, ker manj vpija vodo, vendar se težave pojavijo pri lepljenju. Hidrofobna površina povzroča slabšo omočitev in razlivanje lepila ter počasnejšo penetracijo, zato je treba prilagoditi proces lepljenja (Militz, 2002).

Mehanske lastnosti

Les s termično obdelavo pridobi odpornost proti glivam in insektom, vendar se mu hkrati poslabšajo določene mehanske lastnosti. Masiven les že po 30 minutah segrevanja pri 200 °C izgubi približno 10 % porušitvene trdnosti in približno 1 % mase. Proses je počasnejši pri zmanjšani vsebnosti kisika med modifikacijo in hitrejši pri povišani temperaturi, višji relativni zračni vlažnosti ter višji vlažnosti lesa (Christiansen, 1989b; Yildiz in sod., 2006). Termična obdelava rdečemu boru (*Pinus sylvestris* L.) zmanjša tlačno trdnost, upogibno trdnost, modul elastičnosti, trdoto, udarno žilavost in natezno trdnost pravokotno na vlakna. Trdnost lepilnih spojev termično modificiranega lesa je zato nižja tudi zaradi nižje trdnosti samega lesa, medtem ko se delež loma po lesu poveča (Christiansen 1989b; Militz, 2002). Termično modificiran les zaradi nižje trdnosti in večje krhkosti lepimo pri nižjih tlakih (Jämsä in Viitaniemi, 2001).

Razpoke

Iglavci z ozkimi branikami in/ali hitrim prehodom med ranim in kasnim lesom so nagnjeni k nastanku tangencialnih razpok v kasnem lesu. Radialne razpoke pa se pojavijo pri manj permeabilnih vrstah zaradi velikih napetosti med postopkom termične modifikacije. Te poškodbe vplivajo na trdnost lepilnih spojev. Manjše poškodbe se lahko pojavijo tudi v parenhimskih celicah v trakovih in epitelnih celicah okrog smolnih kanalov (Boonstra in sod., 2006).

3 MATERIAL IN METODE

3.1 IZDELAVA UTEKOČINJENEGA LESA

Utekočinjen les je produkt reakcije lesa (lesnih polimerov) s poliolom ob prisotnosti kisline. Pri tej reakciji porušimo in spremenimo gradnike lesa.

3.1.1 Pridobivanje utekočinjenega lesa

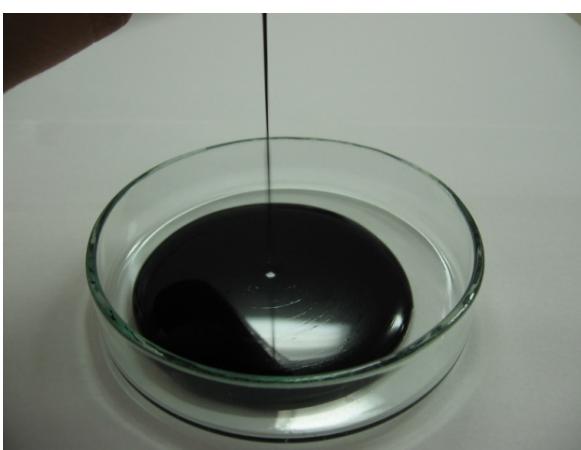
Za pripravo utekočinjenega lesa je bila uporabljena žagovina topola. Uporabili smo velikost frakcije, ki ostane po sejalni analizi z odprtino sita 0,237 mm. Žagovino smo posušili na absolutno suho stanje v sušilniku pri 103 °C. Reakcija utekočinjanja mešanice (slika 1) 150 g topolovine, 450 g glicerola in 13,5 g žveplove kisline je potekala v stekleni bučki, potopljena v oljno kopel (slika 2). Temperatura olja kopeli je bila 180 °C, čas kuhanja 120 min. Po zaključku reakcije (slika 3) smo utekočinjeno zmes ohladili. Utekočinjanje smo večkrat ponovili, da smo dobili zadostno količino utekočinjenega lesa (cca. 1kg), ki je bil potem uporabljen kot osnova za izdelavo novih lepil.



Slika 1: Reaktanti za pripravo utekočinjenega lesa: les, glicerol in žveplova(VI) kislina



Slika 2: Prikaz mešanja reakcijske zmesi



Slika 3: Utekočinjen les (FOTO: Franc Budija)

3.2 IZDELAVA LEPLJENCEV

Za proučitev vpliva sestave lepilne mešanice na lepljenje termično modificiranega lesa smo izdelali lepljence iz navadne smreke (*Picea abies* Karst) in termično modificirane smreke.

3.2.1 Smreka

Smreka je v slovenskem prostoru verjetno najpogosteji iglavec. Raste v mešanih gozdovih, lahko pa oblikuje tudi čiste sestoje (to so gozdovi, v katerih rastejo samo smreke). Tak sestoj so na primer gozdovi na Pokljuki. Raje kot nižine tej vrsti godijo višje lege in bolj namočena področja. Ravno tako kot na primer pšenica je tudi smreka za nas zelo pomembna rastlina, saj iz njenega lesa izdelujemo obilico predmetov, ki so v današnjem življenju nepogrešljivi. Smrekov les je rdečkasto bele barve. Beljava se po barvi ne loči od črnjave. Les lahko vsebuje smolne žepke (luknja diskaste oblike, napolnjena s smolo). Ti smolni žepi zelo motijo pri nadaljnji obdelavi lesa. Njena gostota je $r_0 = 430 \text{ kg/m}^3$. Na splošno je smrekovina mehka, srednje trdna in žilava. Sušenje ne dela večjih težav in po sušenju je les dimenzijsko stabilen. To pomeni, da se le malo krči in nabreka, ko je enkrat posušen. Les ni trajen in se težko zaščiti, za obdelavo pa je smrekovina enostavna. Uporaba smrekovega lesa je vsestranska: gradbeni les (tj. les, ki se ga uporablja na gradbiščih in za različne gradnje, kot so ostrešja in podobne konstrukcije), stavbno pohištvo (okna in vrata), opaži, pohištvo, stenske in stropne obloge, včasih pa tudi talne obloge, papir, pokrovi godal in klavirskih dnov. Primerna pa je tudi za proizvodnjo lesnih tvoriv; luščen furnir za vezane plošče, sredice mizarskih plošč, okvira vrat, iverne in vlaknene plošče, ter plošče iz lesne volne (Čufar, 2006).

3.2.2 Termična modifikacija smrekovine

Smrekov les, ki je bil razžagan in posušen na vlažnost 12 %, smo termično modificirali po postopku »Wood Treatment Technology« WTT, ki je obsegal naslednje korake:

- Segrevanje lesa: les smo hitro segreli s toploto in paro na 110 °C. Potem smo temperaturo počasi povisili na 130 °C, pri čemer se je les posušil na vlažnost okrog 0 %.
- Modificiranje lesa: temperaturo smo povisili na 150 °C za 3 ure in nato na 165 °C za 2 uri za doseg ustrezne stopnje termične modifikacije.
- Hlajenje in kondicioniranje lesa: les smo po modifikaciji ohladili in ga kondicionirali pri visoki relativni zračni vlažnosti (90 %), da je dosegel ravnoesno vlažnost okoli 8 %.

Termično modifikacijo lesa po postopku »Wood Treatment Technology« so izvedli v podjetju I-LES.

3.2.3 Lepljenje lamel

Pri pripravi lamel za lepljenje smo uporabili les modificirane smreke in za primerjavo tudi les nemodificirane navadne smreke. Les smo razžagali v lamele z dimenzijami (2050 mm x 110 mm x 28 mm) in ga klimatizirali v standardni klimi ($\varphi = 65 \%$, $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$). Pred lepljenjem smo z gravimetrično metodo določili ravnoesno vlažnost v lesu (preglednica 2). Površine lamel smo skobljali sproti oz. tik pred lepljenjem.

Preglednica 2: Ravnovesna lesna vlažnost klimatiziranih lamel pred lepljenjem

Oznaka	Drevesna vrsta	u (%)
NS	Navadna smreka (naravna, nemodificirana)	9,76 %
HTNS	Navadna smreka-hidrotermična modifikacija	5,72 %

3.2.4 Izdelava lepilne mešanic iz utekočinjenega lesa in melamin-urea-formaldehidnega lepila

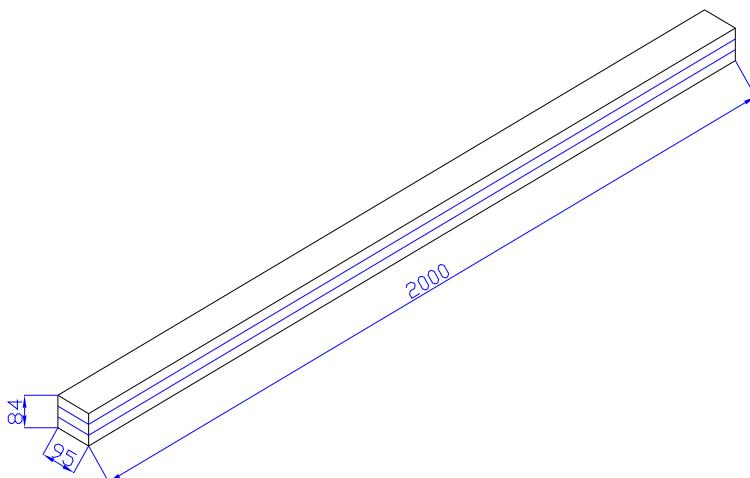
Pripravili smo tudi lepilne mešanice, pri katerih smo spremajali razmerje med utekočinjenim lesom (UL) in melamin-urea-formaldehidnim (MUF) lepilom. Naš cilj je bil razviti lepilno mešanico, ki bo zadostila kriterijem za hladno lepljenje, pri tem pa uporabiti čim večji delež UL in čim manjši delež MUF lepila. Hladno lepljenje poteka bistveno dlje kot vroče lepljenje, vendar je hladno lepljenje z ekološkega vidika prednostno, saj lepljencev ni potrebno dodatno segrevati in zato porabimo manj energije.

MUF lepilo za hladno lepljenje je bilo sestavljeni iz dveh komponent: MUF smole in utrjevalca (U). Pripravili smo naslednje lepilne mešanice (preglednica 3).

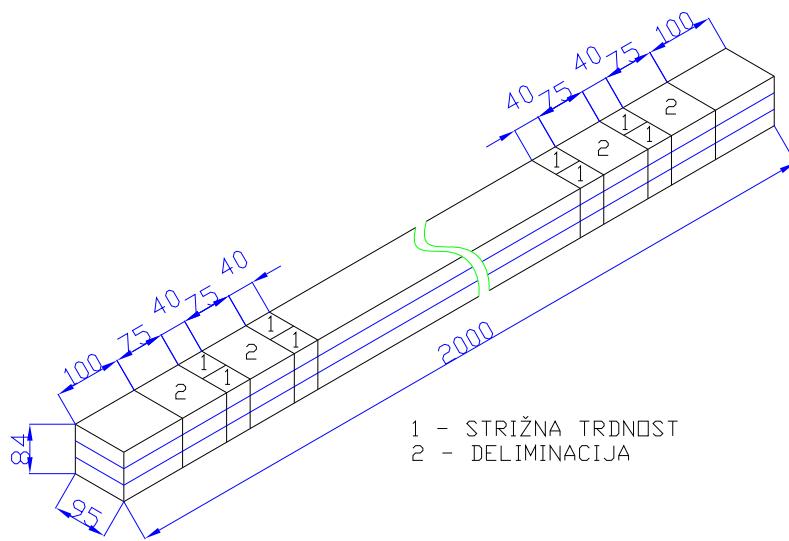
Preglednica 3: Uporabljene lepilne mešanice iz UL, MUF in U

Lepilna mešanica	UL (Utežni del)	MUF smola (Utežni del)	Utrjevalec (Utežni del)
UL0-MUF100-U20	0	100	20
UL5-MUF95-U19	5	95	19
UL15-MUF85-U17	15	85	17
UL25-MUF75-U15	25	75	15
UL35-MUF65-U13	35	65	13
UL50-MUF50-U10	50	50	10

Tri lamele smo zlepili skupaj v lepljenec (slika 4). Lepilo smo nanesli ročno, z valjčkom (nanos 250 g/m²). Stiskanje je trajalo 12 ur v ročni stiskalnici pri sobni temperaturi. Tako smo pripravili 24 lepljencev (6 različnih lepilnih mešanic, 2 vrsti lamel in 2 lepljenca za vsako kombinacijo).



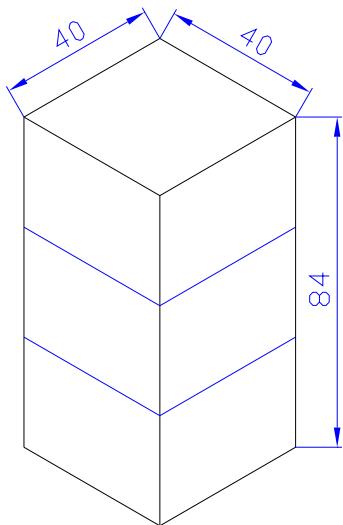
Slika 4: Dimenzijs izdelanega lepljenca



Slika 5: Prikaz razžagovanja lepljencev v preizkušance za strižno trdnost in deliminacijo

3.3 UGOTAVLJANJE STRIŽNE TRDNOSTI LEPILNIH SPOJEV

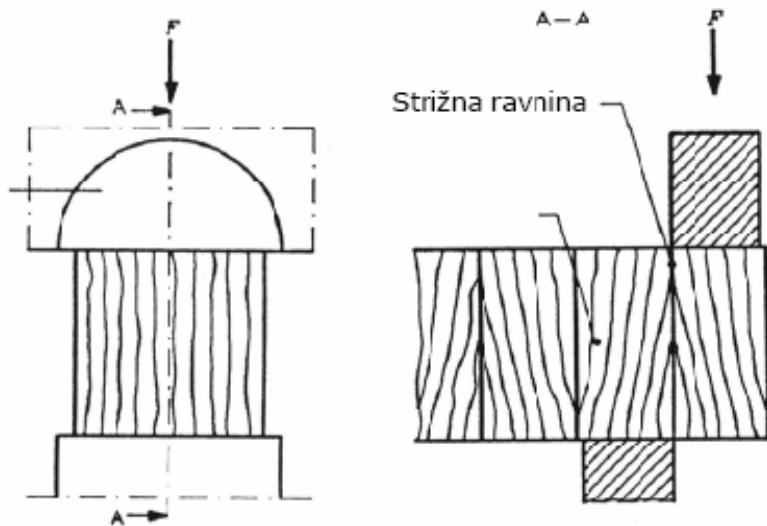
Iz vsakega lepljenca smo izžagali po osem preizkušancev (slika 5). Tako smo skupaj dobili 192 preizkušancev (slika 6). Pred ugotavljanjem strižne trdnosti smo preizkušance klimatizirali. Klimatiziranje je potekalo 7 dni v komori, kjer smo vzdrževali standardno klimo, s temperaturo zraka (20 ± 2) °C in relativno zračno vлагo (65 ± 5) %.



Slika 6: Preizkušanec za ugotavljanje strižne trdnosti lepilnih spojev

Strižno trdnost lepilnih spojev smo ugotavljali po standardu SIST EN 392. Po pripravi preizkušancev je sledilo merjenje dolžine in širine vsakega lepilnega spoja s kljunastim merilom na 0,01 milimetra natančno. Strižno trdnost lepilnega spoja smo določali na univerzalni napravi za preizkušanje mehanskih trdnosti ZWICK Z100 (slika 8). Naprava je povezana z računalnikom, kamor smo vnesli podatke o dolžini in širini lepilnega spoja, računalniški program pa nam je izračunal in zapisal strižno trdnost in maksimalno

porušitveno silo. Preizkušance smo strižno obremenili na lepilnem spoju (slika 7). Po porušitvi preizkušanca smo vizualno ocenili odstotek loma po lesu, kot zahteva standard.



Slika 7: Prikaz strižne obremenitve preizkušanca (SIST EN 392, 1995)



Slika 8: Univerzalna naprava za mehansko testiranje ZWICK Z100

Enačba za izračun strižne trdnosti f_v (SIST EN 392):

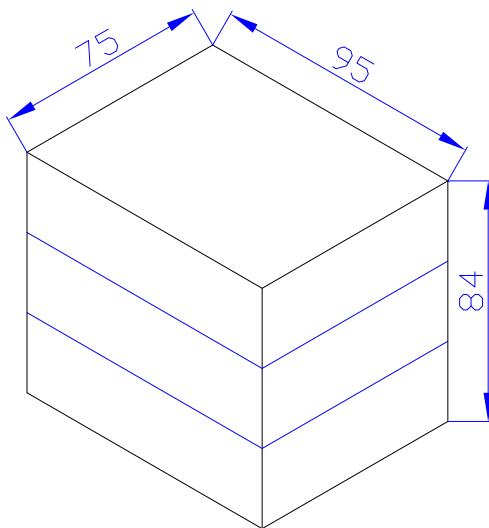
$$f_v = k \frac{F_u}{A} \quad \dots (1)$$

kjer je:

- F_u Maksimalna porušitvena sila [N],
- k Korekturni faktor: $k = 0,78 + 0,0044 t$,
- t Debelina posamezne lamele [mm] – $[t < 50]$,
- A Površina lepilnega spoja [mm^2].

3.4 DELIMINACIJSKI PREIZKUS LEPILNIH SPOJEV

Delaminacijski test lepljenih spojev smo izvajali po standardu SIST EN 391 (metoda B). Iz vsakega lepljenca smo izzagali po štiri preizkušance (slika 5). Pri tem smo pazili, da je bila žagana površina čim bolj gladka.



Slika 9: Preizkušanec za delaminacijski preizkus lepilnih spojev

Vsek preizkušanec (slika 9) smo stehtali z elektronsko tehtnico na 1 g natančno. Izmerili smo dolžino lepilnih spojev na obeh prečnih prerezih, za vsak preizkušanec na 0,5 mm natančno. Kot predvideva metoda B standarda SIST EN 391, smo preizkušance vstavili v posodo, jih ločili s plastičnimi vmesniki, ki so preprečevali, da se preizkušanci ne sprimejo med seboj in jih zalili z vodo s temperaturo 10 °C – 20 °C. Zgoraj smo postavili svinčena obtežila, ki so preprečevala dviganje preizkušancev zaradi sile vzgona. Posodo smo postavili v tlačno komoro. Najprej smo v komori (slika 10) vzpostavili in 30 minut vzdrževali podtlak $p = -0,907$ bar. Potem smo dvignili tlak za 7 bar in ga vzdrževali 2 uri. Po razbremenitvi smo preizkušance vzeli iz tlačne komore in jih postavili v sušilno komoro. Preizkušance smo zložili tako, da se prečne ploskve niso stikale in je zrak lahko krožil. Temperatura v sušilni komori je bila 70 °C, zračna vlaga 8 % do 10 % ter hitrosti

kroženja zraka 3 m/s. Preizkušance smo sušili 13 ur. Po končanemu sušenju smo jih stehiali. Podatki o masi so nam služili za kontrolo sušenja. Kot predvideva standard, lahko merimo in ocenjujemo delaminacijo, kadar je masa preizkušancev 100 % - 110 % prvotne mase. Potem smo natančno, v skladu z navodili standarda, z elektronskim kljunastim merilom izmerili dolžino razslojitve vsakega lepilnega spoja na prečni ploskvi. Za vsak preizkušanec smo izračunali skupno delaminacijo D_{total} po enačbi 2: (SIST EN 391)

$$D_{total} = 100 \frac{l_{tot,delam}}{l_{tot.lep.spoja}} [\%] \quad \dots (2)$$

kjer je:

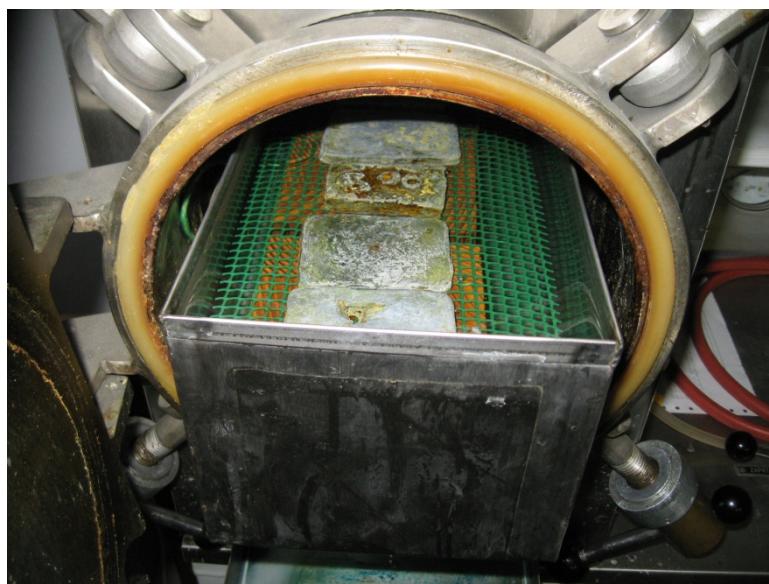
- $l_{tot,delam}$ Skupna dolžina vseh delaminacij za posamezen preizkušanec [mm],
- $l_{tot..lep.spoja}$ Skupna dolžina vseh lepilnih spojev [mm].

Maksimalno delaminacijo D_{maks} smo izračunali po enačbi (3) (SIST EN 391):

$$D_{maks} = 100 \frac{l_{maks,delam}}{2 \times l_{lep.spoj}} [\%] \quad \dots (3)$$

kjer je:

- $l_{maks,delam}$ Dolžina najdaljše delaminacije za posamezen preizkušanec [mm],
- $l_{lep.spoj}$ Dolžina lepilnega spoja [mm].

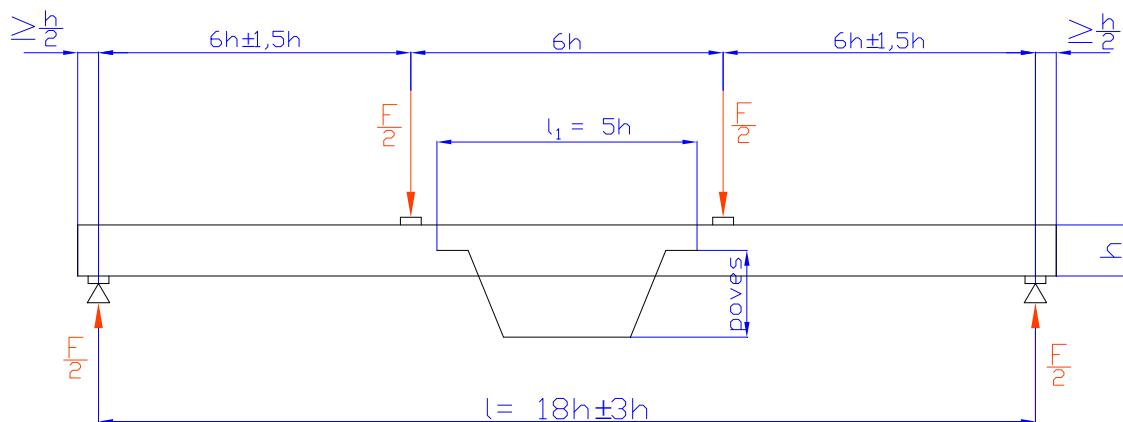


Slika 10: Komora za vzpostavitev nadtlaka in podtlaka.

3.5 UGOTAVLJANJE NEKATERIH DRUGIH MEHANSKIH IN FIZIKALNIH LASNOSTI

3.5.1 Modul elastičnosti in upogibna trdnost lesa

Modul elastičnosti in upogibno trdnost smo ugotavljali po standardu SIST EN 408. Modul elastičnosti se nanaša na togost materiala in predstavlja poves materiala pri določeni obremenitvi. Preizkušance smo pripravili, kot predpisuje standard. Po klimatizirjanju v standardni klimi smo pričeli z ugotavljanjem modula elastičnosti in upogibne trdnosti. Preizkus smo izvajali na univerzalni napravi za mehanska preizkušanja ZWICK Z100 (slika 12). Napravo smo nastavili v skladu s standardom. Pred vstavitvijo preizkušanca v napravo smo izmerili njegovo širino in debelino z elektronskim kljunastim merilom. Podatke smo vnesli v računalnik, ki je povezan z napravo, rezultate za modul elastičnosti (E_m) in upogibno trdnost (f_m) pa smo izračunali z računalniškim programom.



Slika 11: Štiri točkovni upogib po standardu SIST EN 408

Upogibno trdnost f_m smo izračunali po enačbi (4), modul elastičnosti $E_{m,l}$ pa po enačbi (5) (SIST EN 408):

$$f_m = \frac{3 * L_A}{(\check{s} * d^2) * F_{\max}} \quad \dots (4)$$

$$E_{m,l} = \frac{3 * L_A * L_B^2 * (F_2 - F_1)}{4 * (w_2 - w_1) * \check{s} * d^3} \quad \dots (5)$$

kjer je:

- F_{\max} maksimalna sila [N],
- f_m) upogibna trdnost [N/mm^2],
- (Σ) poves [mm],
- $E_{m,l}$ modul elastičnosti [N/mm^2],

- $F_2 - F_1$ sprememba sile na linearinem območju napetostno deformacijske krivulje [N],
- $w_2 - w_1$ sprememba deformacije na linearinem območju napetostno deformacijske krivulje [mm],
- d debelina vzorca [mm],
- š širina vzorca [mm],
- L_A dolžina vzorca med prvo spodnjo in drugo zgornjo točko pritisne sile [480 mm]
- L_B dolžina med zgornjima točkama pritiska [500 mm]
- L_V dolžina med spodnjima točkama pritiska [1460 mm]

Koeficient variance pa smo izračunali po enačbi (6) (SIST EN 408):

$$KV = \frac{Q}{x} \quad \dots (6)$$

kjer je:

- KV koeficient variance,
- Q povprečna srednja vrednost elastičnega raztezka [N/mm^2]
- x povprečje standardnega odklona [N/mm^2]



Slika 12: Univerzalna naprava za mehansko testiranje ZWICK Z100 (preizkus po SIST EN 408)

3.5.2 Gostota lesa

Gostota lesa je definirana kot masa na enoto volumna. Zaradi odvisnosti tako mase kot volumna od lesne vlažnosti ločimo več načinov izražanja gostote. Mi smo izračunali gostoto pri ravnovesni vlažnosti lesa, klimatiziranega v standardni klimi. Gostoto smo ugotavljali po standardu SIST EN 323. Ustrezno pripravljeni preizkušance smo klimatizirali v komori, kjer smo vzdrževali standardno klimo. Ko smo vzeli preizkušance iz komore, smo jih takoj stehtali in jim izmerili debelino, širino in dolžino.

Enačba za izračun gostote (7) (SIST EN 323):

$$\rho = \frac{m}{b_1 * b_2 * t} * 10^6 \quad \dots (7)$$

kjer je:

- ρ Gostota preizkušanca [kg/m^3],
- m Masa preizkušanca [g],
- b_1 Širina preizkušanca [mm],
- b_2 Dolžina preizkušanca [mm],
- t Debelina preizkušanca [mm].

3.5.3 Vlažnost lesa

Vlažnost lesa smo ugotovili po standardu SIST EN 322: Uporabili smo enake preizkušance kot pri določitvi gostote. Preizkušance, ki so bili klimatizirani v standardni klimi ($T = 20^\circ\text{C}$, $\varphi = 65\%$) in stehtani (m_H), smo osušili v sušilniku ($T = 103^\circ\text{C}$, 24 ur) do absolutno suhega stanja in jih ponovno stehtali (m_o).

Enačba za izračun vlažnosti (8) (SIST EN 322):

$$u = \frac{m_H - m_o}{m_o} \times 100 \quad \dots (8)$$

kjer je:

- u Ravnovesna vlažnost lesa [%],
- m_H Masa vlažnega preizkušanca [g],
- m_o Masa absolutno suhega preizkušanca [g].

4 REZULTATI

4.1 STRIŽNA TRDNOST LEPILNIH SPOJEV

Strižna trdnost spoja je bila odvisna od deleža utekočinjenega lesa v lepilu. Izbrani preizkušanci so nam omogočili primerjavo kvalitete lepljenja modificiranega smrekovega lesa s kvaliteto lepljenja nemodificirane navadne smrekovine. V splošnem smo ugotovili, da nemodificiran les navadne smreke ni kazal bistvenega odstopanja od povprečne strižne trdnosti spoja pri uporabi različnih mešanic lepila (Preglednica 4).

Preglednica 4: Strižne trdnosti lepilnih spojev

	Smreka – Nemodificirana smrekovina	Smreka – Modificirana smrekovina		
Vrsta preizkušanca	Trdnost spoja (N/mm ²)	Lom po lesu (%)	Trdnost spoja (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
UL0-MUF100-U20	6,58	98	6,40	78
UL5-MUF95-U19	6,25	100	6,30	96
UL15-MUF85-U17	6,17	86	5,64	90
UL25-MUF75-U15	6,29	100	5,82	79
UL35-MUF65-U13	5,55	91	5,78	87
UL50-MUF50-U10	5,95	89	5,73	87

4.2 DELAMINACIJA LEPILNIH SPOJEV

4.2.1 Preizkušanci, zlepljeni iz nemodificirane smrekovine

Povprečna delaminacija lepilnih spojev pri preizkušancih iz nemodificirane smrekovine je bila enaka 0 %, če je bilo v lepilni mešanici do največ 15 % utekočinjenega lesa, nato pa je delaminacija strmo naraščala s povečevanjem deleža utekočinjenega lesa v lepilni mešanici (Preglednica 5).

Preglednica 5: Delaminacija preizkušancev iz nemodificirane smrekovine

Vrsta preizkušanca	Skupna delam -D _{total} (%)	Maks delam – D _{maks} (%)
UL0-MUF100-U20	0,00	0,00
UL5-MUF95-U19	0,00	0,00
UL15-MUF85-U17	0,00	0,00
UL25-MUF75-U15	0,64	1,28
UL35-MUF65-U13	3,16	4,57
UL50-MUF50-U10	14,08	12,48

4.2.2 Preizkušanci, zlepljeni iz modificirane smrekovine

Povprečna delaminacija lepilnih spojev pri preizkušancih iz modificirane smrekovine je bila zanemarljiva, če je bilo v lepilni mešanici 15 % ali manj utekočinjenega lesa. Ko pa je delež utekočinjenega lesa v lepilni mešanici znašal 25 % ali več, se je delaminacija zelo povečala. Pri preizkušancih, ki so bili zlepljeni z lepilno mešanico, ki je vsebovala 50 % utekočinjenega lesa, je razslojitev lepljenca znašala več kot dve tretjini lepilnega spoja (preglednica 6).

Preglednica 6: Delaminacija preizkušancev iz modificirane smrekovine

Vrsta preizkušanca	Skupna delam -D _{total} (%)	Maks delam – D _{maks} (%)
UL0-MUF100-U20	0,00	0,00
UL5-MUF95-U19	0,54	1,08
UL15-MUF85-U17	0,00	0,00
UL25-MUF75-U15	23,83	19,02
UL35-MUF65-U13	18,74	18,05
UL50-MUF50-U10	66,01	46,33

4.3 MODUL ELASTIČNOSTI IN UPOGIBNA TRDNOST

Upogibna trdnost in modul elastičnosti preizkušancev sta bila odvisna od deleža utekočinjenega lesa v lepilni mešanici in termične modifikacije. Izbrani preizkušanci so nam omogočili primerjavo kakovosti lepila ali lepilne mešanice z navadnim in modificiranim smrekovim lesom. S pomočjo štiri točkovne obremenitve smo ugotovili upogibno trdnost in modul elastičnosti lepljenih preizkušancev (Preglednica 7). Ocenili smo tudi vizualne razlike, kakšen je bil odziv lesa in odziv lepilnega spoja na štiri točkovno obremenitev ter vpojnost lepilne mešanice v les.

Preglednica 7: Modul elastičnosti (E_m) in upogibna trdnost (f_m) lepljenih preizkušancev

Vrsta preizkušanca	Nemodificirana smrekovina		Modificirana smrekovina	
	E_m N/mm ²	f_m N/mm ²	E_m N/mm ²	f_m N/mm ²
UL0-MUF100-U20	10660,5	62,80	12691,5	54,30
UL5-MUF95-U19	13953,0	47,95	14605,5	53,05
UL15-MUF85-U17	15047,0	61,50	12552,0	35,75
UL25-MUF75-U15	11427,5	58,10	12513,0	46,85
UL35-MUF65-U13	13223,0	51,35	12035,0	42,50
UL50-MUF50-U10	14601,0	80,00	12786,0	61,40

Pri nemodificirani smrekovini opazimo, da sta modul elastičnosti in upogibna trdnost zelo visoka pri večini lepilnih mešanic, le pri 5 % deležu utekočinjenega lesa je bilo opaziti

nižjo vrednost, saj je upogibna trdnost znašala $47,95 \text{ N/mm}^2$ (Preglednica 7). Najvišjo upogibno trdnost smo dosegli pri 50 % deležu utekočinjenega lesa v lepilni mešanici. Zadnjo ugotovitev je bilo mogoče opaziti že po vizualni razliki, saj se preizkušanec ni zlomil po lepilnem spoju, ampak po lesu. Pri modificirani smrekovini smo opazili, da so rezultati modula elastičnosti in upogibne trdnosti nekoliko manjši kot pri nemodificirani smrekovini.

4.4 GOSTOTA LESA

Povprečna gostota modificiranih preizkušancev je znašala $420,68 \text{ kg/m}^3$. Pri primerjavi nemodificirane in modificirane navadne smrekovine pa je opaziti pri nemodificirani smrekovini nekoliko večjo gostoto (Preglednica 8).

Preglednica 8: Gostota lesa lepljenih preizkušancev

Nemodificirana smrekovina	Modificirana smrekovina	
Vrsta preizkušanca	Gostota lesa (kg/m^3)	Gostota lesa (kg/m^3)
UL0-MUF100-U20	418,47	428,24
UL5-MUF95-U19	430,76	431,85
UL15-MUF85-U17	440,82	443,04
UL25-MUF75-U15	424,20	413,59
UL35-MUF65-U13	430,06	405,65
UL50-MUF50-U10	458,14	401,70

4.5 VLAŽNOST LESA

Povprečna ravnovesna vlažnost preizkušancev iz modificiranega lesa je bila v intervalu od 5 % do 6 % (Preglednica 9). Nemodificiran les navadne smreke je imel približno za 3,5 % večjo povprečno ravnovesno vlažnost od modificiranega lesa.

Preglednica 9: Vlažnost lesa lepljencev

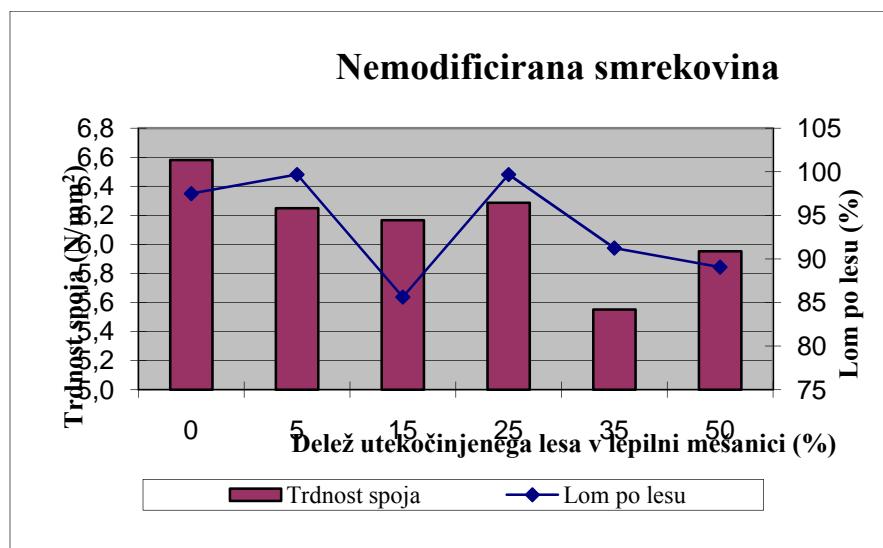
Nemodificirana smrekovina	Modificirana smrekovina	
Vrsta preizkušanca	Vlažnost lesa (%)	Vlažnost lesa (%)
UL0-MUF100-U20	9,36%	6,16%
UL5-MUF95-U19	10,55%	5,52%
UL15-MUF85-U17	9,74%	6,16%
UL25-MUF75-U15	9,47%	5,13%
UL35-MUF65-U13	9,57%	5,77%
UL50-MUF50-U10	9,89%	5,59%

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

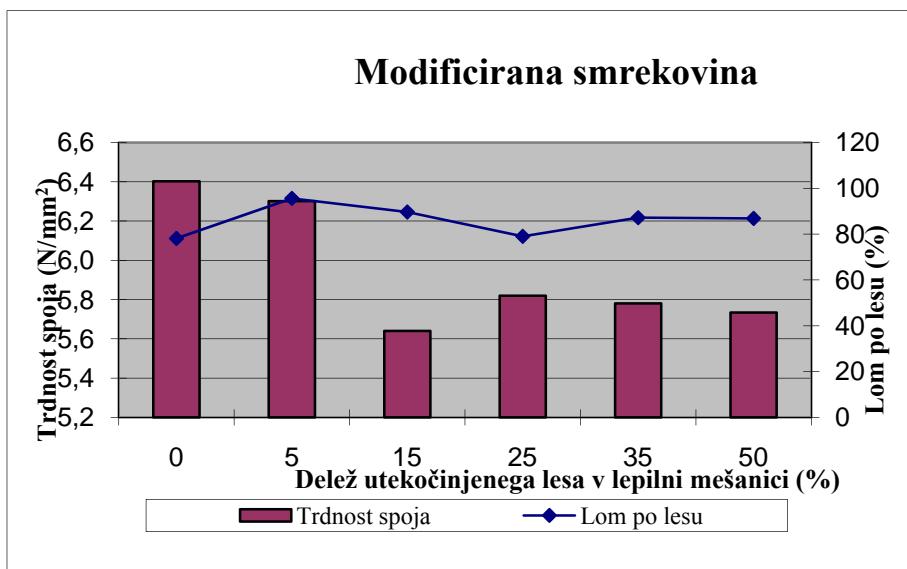
Na osnovi rezultatov opravljenih raziskav lepljenja nemodificiranega in termično modificiranega smrekovega lesa z MUF lepilnimi mešanicami, ki smo jim dodajali različne deleže utekočinjenega lesa lahko ugotovimo, da je možen dodatek utekočinjenega lesa pri lepljenju nemodificirane smrekovine vse do vrednosti 25 %, medtem ko pri lepljenju termično modificirane smrekovine lahko dodamo samo do 5 %. Možni vzroki za nekoliko slabšo kakovost lepilnih spojev pri preizkušancih iz termično modificiranega lesa so lahko različni. Problemi pri lepljenju modificiranega lesa se pojavijo zaradi slabe omočljivosti in manjše sposobnosti penetracije lepilne mešanice v površino lesa in lesno tkivo.

5.1 STRIŽNA TRDNOST LEPLJENCEV

Spolšna ugotovitev je bila, da je bila strižna trdnost lepilnega spoja ustrezna glede na zahteve standarda, če je MUF lepilna mešanica vsebovala do 25 % utekočinjenega lesa (Slika 13). Pri višjih vrednostih dodanega utekočinjenega lesa pa je bila strižna trdnost spoja prenizka, saj zaradi prevelikega deleža utekočinjenega lesa lepilna mešanica ni mogla zadostno utrditi. Pri preizkušancih iz termično modificirane smrekovine pa se je trdnost spojev že pri 15 % dodatku utekočinjenega lesa drastično zmanjšala (S UL50-MUF50-U10, slika 14). Razloga za zmanjšanje sta najverjetneje v slabši omočljivosti površine, zaradi katere se lepilo ne vpije dovolj globoko v les ter zaradi tangencialnih razpok v kasnem lesu, ki so posledica termične modifikacije.



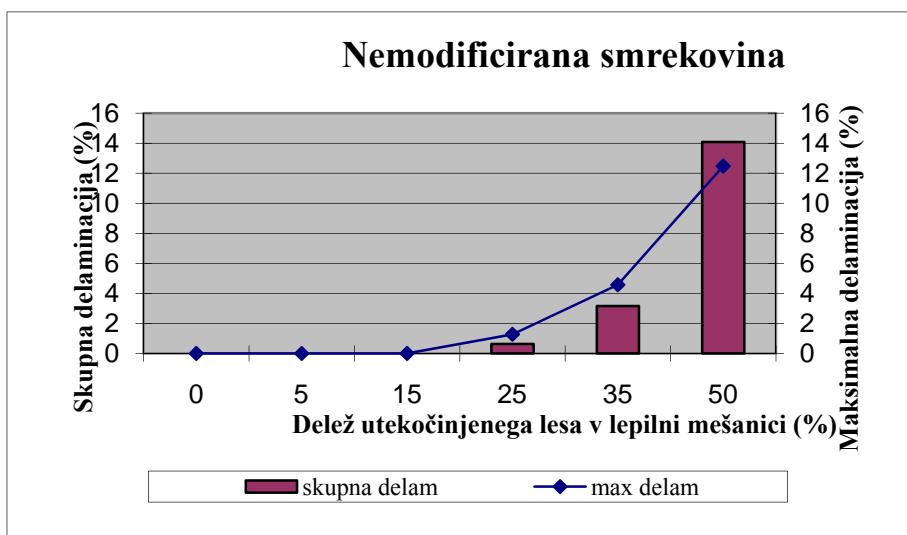
Slika 13: Strižna trdnost lepilnih spojev preizkušancev, zlepljenih iz nemodificirane smrekovine



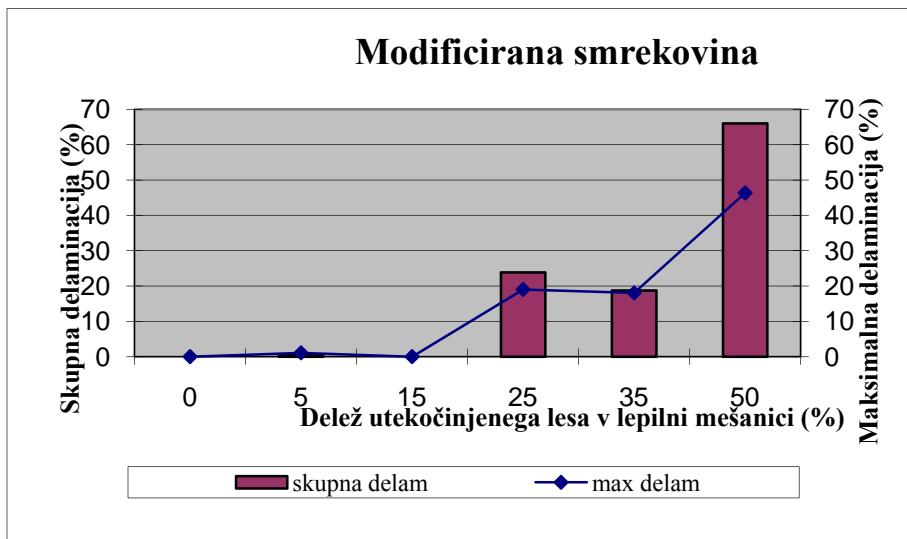
Slika 14: Strižna trdnost lepilnih spojev preizkušancev, zlepljenih iz termično modificirane smrekovine

5.2 DELAMINACIJA LEPILNIH SPOJEV

Z delaminacijskim preizkusom smo ugotovljali odprtost lepilnih spojev. Na osnovi rezultatov smo ugotovili, da se z večanjem deleža utekočinjenega lesa v MUF lepilni mešanici povečuje odprtost lepilnih spojev. Pri preizkušancih iz nemodificirane smrekovine je bila razslojitev med 0 % in 12,48 % (Slika 15). Preizkušanci iz termično modificirane smrekovine pa so imeli razslojitev spojev med 0 % in 46,33 % (Slika 16). Standard SIST EN 391 dovoljuje maksimalno delaminacijo za konstrukcijska lepila do 10 %, kar pomeni, da je pri lepljenju nemodificiranega lesa še primerna lepilna mešanica s 35 % deležem utekočinjenega lesa v lepilni mešanici. Pri lepljenju termično modificiranega lesa pa je še primerna lepilna mešanica s 15 % deležem utekočinjenega lesa v lepilni mešanici. Na delaminacijo je imela močan vpliv tudi kvaliteta lesa, saj pride zaradi nepravilnosti v zgradbi lesa do različnega krčenja in nabrekanja dveh sosednjih lamel ter s tem do delaminacije lepilnega spoja.



Slika 15: Delaminacija lepilnih spojev, zlepljenih iz nemodificirane smreke

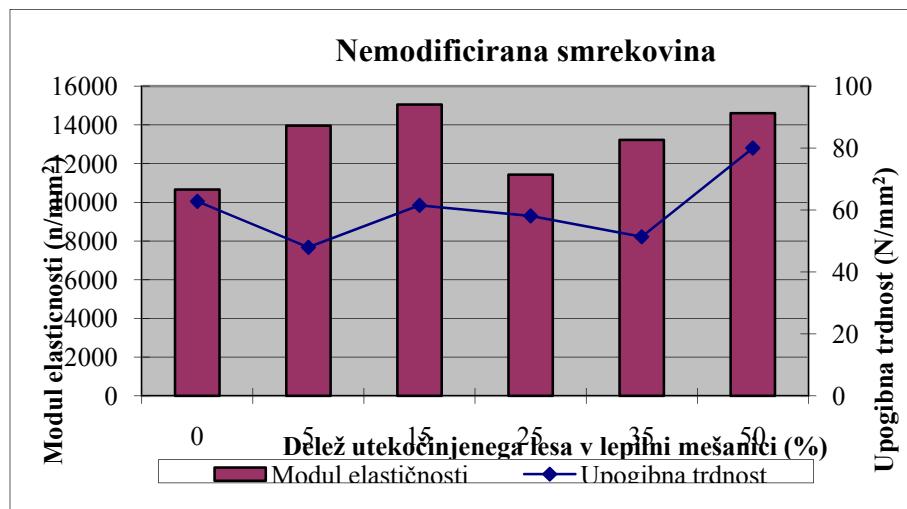


Slika 16: Delaminacija lepilnih spojev, zlepljenih iz modificirane smreke

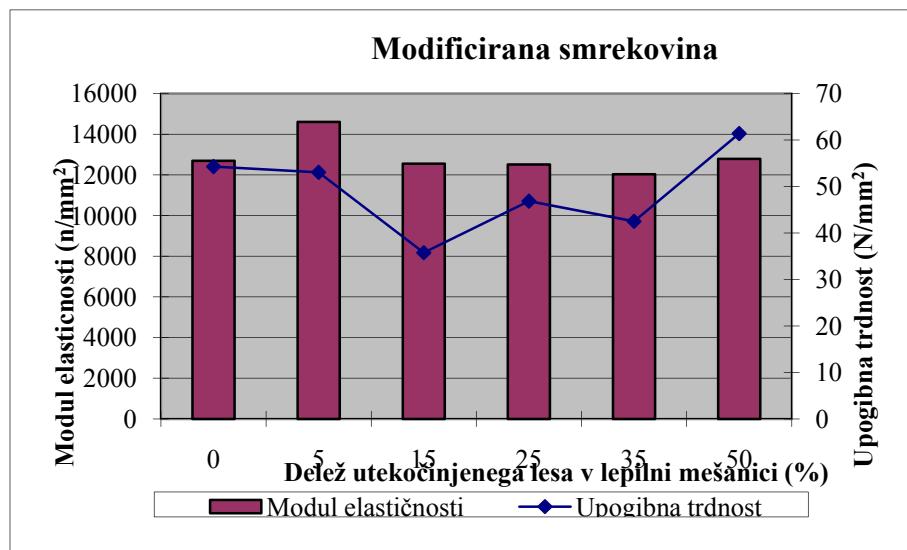
5.3 MODUL ELASTIČNOSTI IN UPOGIBNA TRDNOST

Povprečen modul elastičnosti, ki je merilo togosti materiala, je bil malenkostno manjši pri preizkušancih iz termično modificiranega lesa v primerjavi s preizkušanci iz nemodificiranega smrekovega lesa. Pri posameznih preizkušancih pa so bili primeri, ko je bil modul elastičnosti termično modificiranega lesa celo višji od nemodificiranega lesa. Upogibna trdnost preizkušancev iz termično modificirane smrekovine je bila manjša kot upogibna trdnost preizkušancev iz nemodificirane navadne smrekovine. Ugotovili smo, da so bile vrednosti pri upogibni trdnosti preizkušancev iz nemodificirane in modificirane smrekovine še v meji standarda, če je bilo MUF lepilu dodanega do 25 % utekočinjenega lesa (Sliki 17 in 18). Razlog za takšen rezultat je bil v kvalitetni sestavi preizkušancev, ki

se je kazala v odsotnosti grč, majhnem letnem prirastu ter majhni razlike med ranim in kasnim lesom.



Slika 17: Modul elastičnosti in upogibna trdnost lepljencev iz nemodificirane smrekovine

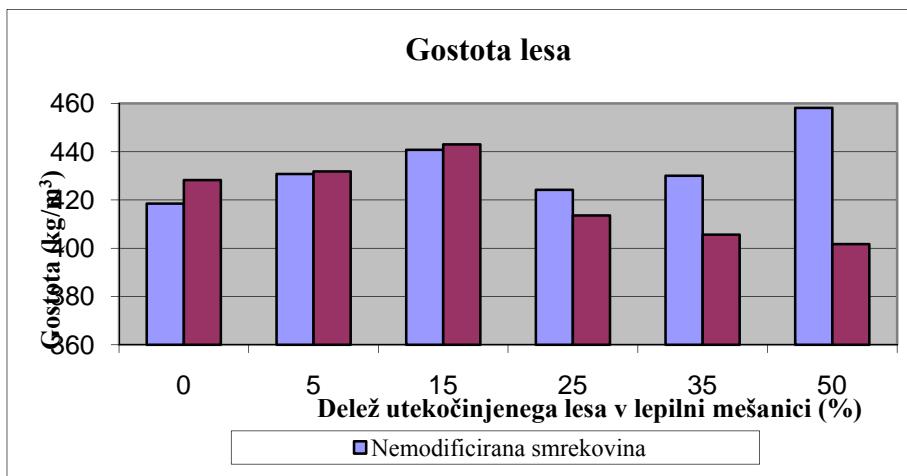


Slika 18: Modul elastičnosti in upogibna trdnost lepljencev iz termično modificirane smrekovine

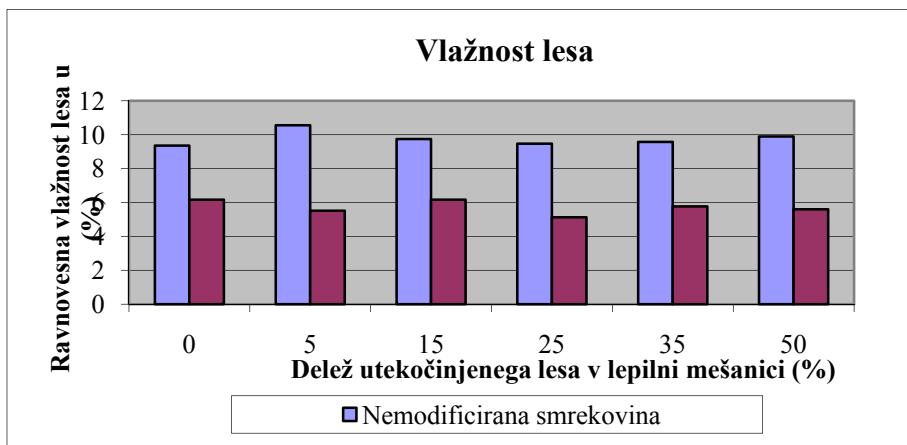
5.4 GOSTOTA LESA IN VLAŽNOST

Gostota termično modificirane navadne smrekovine je bila nekoliko višja od gostote nemodificirane smrekovine (Slika 19), vendar moramo upoštevati dejstvo, da smo določili gostoto pri ravnovesni vlažnosti, ki ustreza standardni klimi (relativna zračna vlažnost 65 %, temperatura 20°C). Pri teh pogojih je ravnovesna vlažnost termično modificiranega lesa približno polovico nižja od nemodificiranega lesa (Slika 20). Ker je gostota lesa odvisna od vlažnosti, ne moremo direktno primerjati izmerjene gostote termično modificirane smrekovine z nemodificirano smrekovino. Gostoto lesa smo tako določili pri ravnovesnih

vlažnostih, ki so se gibale med 6 % in 10 %. Ugotovili smo, da je gostota preizkušancev pri teh pogojih znašala od 401,7 kg/m³ do 458,1 kg/m³, kar je pričakovano za smrekovino.



Slika 19: Gostota lesa lepljencev



Slika 20: Vlažnost lesa lepljencev

5.5 SKLEPI

V raziskavi smo izdelali trislojne lepljence iz nemodificirane in termično modificirane smrekovine, ki smo jih zlepili z MUF lepilnimi mešanicami, ki smo jim dodajali različne deleže utekočinjenega lesa: 0 %, 5 %, 15 %, 25 %, 35 % in 50 %. Nato smo proučevali strižno trdnost lepilnih spojev, delaminacijo lepilnih spojev ter modul elastičnosti in upogibno trdnost. Ugotovili smo, da:

- se je v splošnem strižna trdnost lepilnega spoja zmanjševala z naraščajočim deležem utekočinjenega lesa v MUF lepilni mešanici;
- je bila strižna trdnost lepilnega spoja pri preizkušancih iz nemodificirane smrekovine ustrezna, če je MUF lepilna mešanica vsebovala do 25 % utekočinjenega lesa;
- je bila strižna trdnost lepilnega spoja pri preizkušancih iz termično modificirane smrekovine ustrezna, če je MUF lepilna mešanica vsebovala do 5 % utekočinjenega lesa;

- je delaminacija lepilnega spoja naraščala z naraščajočim deležem utekočinjenega lesa v MUF lepilni mešanici;
- je bila delaminacija v splošnem nižja pri lepljencih iz nemodificirane smrekovine;
- je glede na delaminacijo za lepljenje nemodificirane smrekovine še primerna lepilna mešanica s 35 % deležem utekočinjenega lesa v MUF lepilni mešanici, medtem ko je pri lepljenju termično modificirane smrekovine še primerna lepilna mešanica s 15 % deležem utekočinjenega lesa v MUF lepilni mešanici;
- je bil modul elastičnosti preskušancev iz termično modificirane smrekovine v povprečju podoben modulu elastičnosti preskušancev iz nemodificirane smrekovine;
- je termična modifikacija smrekovine vplivala na zmanjšanje povprečne upogibne trdnosti preskušancev.

6 POVZETEK

V diplomski nalogi smo proučevali vpliv deleža utekočinjenega topolovega lesa v lepilni mešanici na lepljenje nemodificiranega in termično modificiranega smrekovega lesa. Pripravili smo trislojne lepljence, ki smo jih zlepili z MUF lepilnimi mešanicami, ki smo jim dodajali različne deleže utekočinjenega lesa: 0 %, 5 %, 15 %, 25 %, 35 % in 50 %. Za ocenitev kakovosti lepljenja lesa smo opravili test strižne trdnosti lepilnih spojev (SIST EN 392) in delaminacijski preizkus lepljenih stikov (SIST EN 391).

Rezultati so pokazali, da je od proučevanih lepilnih mešanic najbolj primerna za lepljenje termično modificiranega lesa lepilna mešanica s 25 % deležem utekočinjenega lesa.

Sledil je delaminacijski preizkus lepilnih stikov SIST EN 391 (metoda B). Pri preizkusu delaminacije smo zabeležili rezultate in ugotovili, da se z večanjem deleža utekočinjenega lesa v lepilni mešanici povečuje odprtost lepilnih spojev. Pri preizkušancih iz nemodificirane smrekovine je bila največja delaminacija pri 50 % deležu utekočinjenega lesa in je znašala 14,08 %. Lepilni spoji pri preizkušancih iz modificirane smrekovine pa so se odprli do 66,01 % lastne dolžine, kar se je zgodilo pri 50 % deležu utekočinjenega lesa v lepilni mešanici.

Strižno trdnost smo določili po standardu SIST EN 392. V splošnem smo ugotovili, da preizkušanci iz nemodificiranega lesa navadne smreke niso kazali bistvenega odstopanja v strižni trdnosti pri uporabi mešanic lepila, ki so vsebovale do 25 % utekočinjenega lesa, medtem ko je bila strižna trdnost lepilnega spoja pri preizkušancih iz termično modificirane smrekovine ustrezna, če je MUF lepilna mešanica vsebovala do 5 % utekočinjenega lesa.

Modul elastičnosti in upogibno trdnost smo določili po standardu SIST EN 408. Izbrani preizkušanci so nam omogočili primerjavo kakovosti lepila ali lepilne mešanice z navadnim in modificiranim smrekovim lesom. S pomočjo štiri točkovne obremenitve smo ugotovili, kakšna je upogibna trdnost in modul elastičnosti lepljenih preizkušancev. Ugotovili smo, da je bil modul elastičnosti preskušancev iz termično modificirane smrekovine v povprečju podoben modulu elastičnosti preskušancev iz nemodificirane smrekovine. Termična modifikacija smrekovine pa je bistveno vplivala na zmanjšanje povprečne upogibne trdnosti preskušancev.

Vlažnost lesa smo določali po standardu SIST EN 322. Ravnovesne lesne vlažnosti v standardni klimi so bile za modificirano smreko na ozkem intervalu od 5 % do 6 %. Nemodificiran les navadne smreke je imel približno za 3,5 % večjo ravnovesno lesno vlažnost od modificiranega lesa smreke.

Gostoto smo določali po standardu SIST EN 323. Izmerjena gostota modificirane navadne smrekovine je bila nekoliko višja od gostote nemodificirane smrekovine. Vendar pa je taka primerjava zgolj informativnega značaja, saj smo gostoto določali pri ravnovesni lesni vlažnosti, ki je bila dosežena v standardni klimi. Pri teh pogojih je bila ravnovesna vlažnost nemodificiranega lesa približno za 3,5% višja od termično modificiranega lesa.

7 VIRI

- Alma M. H., Bastürk M. A. 2001. Cocondensation of NaOH-catalyzed liquefied wood wastes, phenol, and formaldehyde for the production of resol-type adhesives. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 40: 5036-5039
- Alma H. M., Bastürk M. A. 2006. Liquefaction of grapevine cane (*Vitis vinifera L.*) waste and its application to phenol-formaldehyde type adhesive. *Industrial crops and products*, 24: 171-176
- Alma M. H., Shiraishi N. 1998. Preparation of polyurethane-like foams from NaOH-catalyzed liquefied wood. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 56: 245-246
- Beaud F., Niemz P., Pizzi A. 2006. Structure–property relationships in one-component polyurethane adhesives for wood: sensitivity to low moisture content. *Journal of Applied Polymer Science*, 101: 4181–4192
- Boerkamp B. 2006. Adhesive bonding of Plato Wood.
<http://www.platowood.nl/ENG07/Adhesivebondingmay06.pdf>
- Boonstra M.J., Rijsdijk J.F., Sander C., Kegel E., Tjeerdsma B., Militz H., Van Acker J., Stevens M. 2006. Microstructural and physical aspects of heat treated. *Ciencia y tecnología. Maderas*, 8, 3: 193-208
- Budija F. in sod. 2009. Utekočinen les; priprava in karakterizacija dvokomponentneg poliuretanskega površinskega sistema na vodni osnovi iz lesa-tega, ter predlogi / ideje za nadaljne raziskave.
<http://www.ditles.si/Files/Raziskovalna%20skupina/budija%20Utekocinen%20les.pdf>
- Christiansen A. W. 1989b. How overdrying wood reduces its bonding to phenol-formaldehyde adhesives. Part 1. USDA Forest Service Forest Products Laboratory.
<http://www.fpl.fs.fed.us/documents/pdf1989/chris89a.pdf>
- Čufar K. 2006. Anatomija lesa: univerzitetni učbenik. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo: 185 str.
- Fu S., Ma L., Li W., Cheng S. 2006. Liquefaction of bamboo, preparation of liquefied bamboo adhesives and properties of the adhesives. *Front. For. China*, 2: 219-224
- Gérardin P., Petrič. M., Petrissans. M. 2007. Evolution of wood surface free energy after heat treatment. *Polymer Degradation and Stability*, 92, 4: 653-657
- Honglu X., Tiejun S. 2006. Wood liquefaction by ionic liquids. *Holzforschung*, 60: 509-512

- Hakkou M., Petrisans M., Zoulalian A. 2005. Investigation of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis. *Polymer Degradation and Stability*, 89: 1-5
- Hse C.Y., Kuo M. 1988. Influence of extractives on wood gluing and finishing-a review. *Forest Products Journal*, 38, 1: 52-56
- Jämsä S., Viitaniemi P. 2001. Heat treatmet of wood-better durability without chemicals.V: Proceedings of Special Seminar held in Antibes, France, 9 Februar 2001, Review on heat treatments of wood. Rapp A.O., 21-27
- Kariž M., Šernek M. 2008. Lepljenje termično modificiranega lesa=Adhesive bonding of heat-treated wood. *Les*, Ljubljana, 60, 7/8: 275-282
- Kurimoto Y., Doi S., Tamura Y. 1999. Species effects on wood-liquefaction in polyhidric alcohols. *Holzforschung*, 53: 617-622
- Kobayashi M., Tukamoto K., Tomita B. 2000. Application of Liquefied Wood to a New Resin System-Synthesis and Properties of Liquefied Wood/Epoxy Resins. *Holzforschung*, 54: 93-97
- Militz H. 2002. Thermal treatment of wood: European processes and their background. IRG/WP 02-40241. 33rd Annual Meeting.12–17 May 2002
- Mun S. P., Hassan E. M., Yoon T. H. 2001. Evaluation of organic sulfonic acids as catalyst during cellulose liquefaction using ethylene carbonate. *J. Ind. Eng. Chem.*, 7: 430-434
- Mayes. D., Oksanen. O. 2003. ThermoWood handbook. Helsinki. Finnish Thermowood Association, 66
- Nuopponen M., Vuorinen T., Jamsa S. 2003. The effects of a heat treatment on the behaviour of extractives in softwood studied by FTIR spectroscopic methods. *Wood Sci Technol*, 37: 109-115
- Pizzi A. 1983. Wood adhesives: chemistry and technology. New York, M. Dekker: 364 str.
- Pizzi A. 2006. Recent developments in eco-efficient bio-based adhesives for wood bonding: opportunities and issues. *J. Adhesion Sci. Technol.*, 20: 829-846
- Podgorski L., Chevet B., Onic L. 2000. Modification of wood wettability by plasma and corona treatments. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 20: 103-111
- Poncsák S., Shi. S. Q. Kocaefe. D. 2007. Effect of thermal treatment of wood lumbers on their adhesive bond strength and durability. *Journal of Adhesion Science & Technology*, 21, 8: 745-754

Raggers J. 2007. Proces /Durability, Larenstein, Velp, Nederland.
<http://www.ivalsa.cnr.it/euris/english/4/4.pdf>

SIST EN 323. Lesne plošce - Določanje gostote. Wood-based panels - Determination od density. 1996

SIST EN 322. Lesne plošče - Določanje vlažnosti. Wood based panels - Determination of moisture conten. 1996

SIST EN 392. Lepljeni lamelirani les - Strižni test lepljenih spojev. Glued laminated timber – Shear test of glue lines. 1995

SIST EN 350-2, Trajnost lesa in lesnih izdelkov - Naravna trajnost masivnega lesa - 2. del: Naravna trajnost in možnost impregnacije izbranih, v Evropi pomembnih vrst lesa. 1995

SIST EN 391. Lepljeni lamelirani les – Delaminacijski preskus lepljenih stikov. Glued laminated timber – Delamination test of glue lines. 2002

SIST EN 408 Konstrukcijski les – Štiri točkovni upogib. Timber structures – Structural timber and glued laminated timber – Determination of some physical and mechanical properties. 2003.

Stefke B., Dunky M. 2006. Catalytic influence of wood on the hardening behavior of formaldehyde-based resin adhesives used for wood-based panels. Journal of Adhesion Science and Technology, 20, 8: 761-785

Šernek M., Humar M., Kumer M., Pohleven F. 2007. Bonding of thermally modified spruce with PF and UF adhesives. V: Proceedings of the 5th COST E34 International Workshop. Bled. Slovenia. September 6th. 2007: 31-37

Šernek M., Boonstra M., Pizzi A., Despres A., Gérardin P.2008.
Bonding performance of heat treated wood with structural adhesives; Holz Roh Werkst., 66: 173–180

Šernek M., Kamke F.A., Glasser W.G. 2004. Comparative analysis of inactivated wood surface. Holzforschung, 58: 22-31

Tišler V. 2002. Utekočinjen les in njegova uporaba. Les, 54, 9: 281-284

Ugovšek A., Šernek M. 2009. Naravni materiali za izdelavo sodobnih lepil za les:
Tanin, lignin in utekočinjen les. Les, 61, 11/12: 451-458

Wei Y., Cheng F., Li H., Yu J. (2004) Synthesis and properties of polyurethane resins based on liquefied wood. Journal of applied polymer science, 92: 351-356

- Yamada T., Ono H., Ohara S., Yamaguchi A. 1996. Characterization of the products resulting from direct liquefaction of cellulose. *Mokuzai Gakkaishi*, 42: 1098-1104
- Yildiz S., Gezerb D.E., Yildiza U.C. 2006. Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat. *Building and Environment*, 41: 1762-1766
- Zanjkovic B. 2007. Vpliv modifikacije lesa s tehnologijo Plato na kvaliteto lepljenja.
Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 32 str.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Milanu Šernekemu, za zanimivo temo, za vso strokovno pomoč in usmerjanje pri izvajanju eksperimentov ter pisanku diplomske naloge.

Hvala tudi recenzentu prof. dr. Marku Petriču za opravljeno strokovno recenzijo in asistentu Mirku Karižu za strokovno pomoč pri praktičnem delu.

Posebna zahvala gre moji družini in dekletu, ki so me tekom študija vzpodbjali.

PRILOGE:

Priloga A: Strižna trdnost lepilnega spoja preizkušancev iz nemodificirane smrekovine

Zap.			t	b	F_{loma}	f_m	Lom po lesu (%)	
št.	Vzorec	Spoj	mm	mm	N	N/mm ²		
1	A ₁ -1	1	40,45	40,09	13071	8,09	100	
2		2	40,33	40,13	8760	5,41	100	
3	A ₁ -2	1	40,43	40,33	9183	5,63	100	
4		2	40,37	40,27	9305	5,72	100	
5	A ₁ -3	1	40,37	40,27	12902	7,94	100	
6		2	40,46	40,2	11598	7,13	100	
7	A ₁ -4	1	40,42	40,33	11400	6,99	100	
8		2	40,40	40,38	11580	7,10	100	
9	A ₂ -1	1	40,45	40,94	11389	6,88	100	
10		2	40,34	40,01	7754	4,88	100	
11	A ₂ -2	1	40,32	40,28	9271	5,71	60	
12		2	40,39	40,27	9094	5,59	100	
13	A ₂ -3	1	40,41	40,41	11205	6,86	100	
14		2	40,13	40,03	14413	8,97	100	
15	A ₂ -4	1	40,28	40,42	9683	5,95	100	
16		2	40,33	40,39	10490	6,44	100	
A-0%, B-5%, C-15%, D-25%, E- 35%, F-50%				Min	4,88			
				Maks	8,97			
				Povprečje	6,58	97,50		
				Standardni odklon	1,12			
				Koeficient variacije	17%			
17	B ₁ -1	1	40,31	40,48	10279	6,30	100	
18		2	40,42	40,44	8789	5,38	95	
19	B ₁ -2	1	40,27	40,49	11815	7,25	100	
20		2	40,28	40,51	11360	6,96	100	
21	B ₁ -3	1	40,32	40,3	12019	7,40	100	
22		2	40,29	40,39	7095	4,36	100	
23	B ₁ -4	1	40,32	40,53	9279	5,68	100	
24		2	40,42	40,58	11151	6,80	100	
25	B ₂ -1	1	40,47	39,86	11090	6,87	100	
26		2	40,41	40,12	9950	6,14	100	
27	B ₂ -2	1	40,37	40,55	10834	6,62	100	
28		2	40,36	40,39	11121	6,82	100	
29	B ₂ -3	1	40,41	40,44	8597	5,26	100	
30		2	40,34	40,6	9183	5,61	100	
31	B ₂ -4	1	40,32	40,48	9829	6,02	100	
32		2	40,33	40,58	10675	6,52	100	
				Min	4,36			
				Maks	7,40			
				Povprečje	6,25	99,69		
				Standardni odklon	0,82			
				Koeficient variacije	13%			

33	C ₁ -1	1	40,30	40,35	7495	4,61	100	
34		2	40,41	40,48	7583	4,64	20	
35	C ₁ -2	1	40,33	40,58	11561	7,06	100	
36		2	40,36	40,62	10685	6,52	75	
37	C ₁ -3	1	40,23	40,46	11695	7,19	100	
38		2	40,30	40,51	11335	6,94	80	
39	C ₁ -4	1	40,30	40,53	11741	7,19	100	
40		2	40,30	40,65	12137	7,41	100	
41	C ₂ -1	1	40,38	40,40	10872	6,66	50	
42		2	40,40	40,39	10752	6,59	100	
43	C ₂ -2	1	40,37	40,55	10341	6,32	85	
44		2	40,39	40,52	6849	4,18	60	
45	C ₂ -3	1	40,39	40,38	11702	7,18	100	
46		2	40,39	40,41	10394	6,37	100	
47	C ₂ -4	1	40,38	40,48	9374	5,73	100	
48		2	40,37	40,39	6653	4,08	100	
			Min	4,08				
			Maks	7,41				
			Povprečje	6,17	85,63			
			Standardni odklon	1,15				
			Koeficient variacije	19%				
49	D ₁ -1	1	40,50	40,37	13172	8,06	100	
50		2	40,12	40,15	12495	7,76	100	
51	D ₁ -2	1	40,41	40,50	12640	7,72	100	
52		2	40,38	40,57	8189	5,00	95	
53	D ₁ -3	1	40,26	40,43	12359	7,59	100	
54		2	40,29	40,40	9736	5,98	100	
55	D ₁ -4	1	40,25	40,54	10372	6,36	100	
56		2	40,37	40,53	9139	5,59	100	
57	D ₂ -1	1	40,83	40,48	9918	6,00	100	
58		2	40,60	40,45	10265	6,25	100	
59	D ₂ -2	1	40,54	40,02	11743	7,24	100	
60		2	40,45	40,30	9106	5,59	100	
61	D ₂ -3	1	40,33	40,43	8404	5,15	100	
62		2	40,33	40,46	9284	5,69	100	
63	D ₂ -4	1	40,37	40,53	9124	5,58	100	
64		2	40,32	40,58	8223	5,03	100	
			Min	5,00				
			Maks	8,06				
			Povprečje	6,29	99,69			
			Standardni odklon	1,05				
			Koeficient variacije	17%				

65	E ₁ -1	1	40,79	40,74	10464	6,30	100	
66		2	40,64	40,63	11701	7,09	20	
67	E ₁ -2	1	40,82	40,33	12067	7,33	80	
68		2	40,73	40,47	8994	5,46	100	
69	E ₁ -3	1	40,53	40,42	8250	5,04	90	
70		2	40,39	40,48	8538	5,22	95	
71	E ₁ -4	1	40,40	40,53	11309	6,91	100	
72		2	40,35	40,57	6725	4,11	100	
73	E ₂ -1	1	40,48	40,60	10696	6,51	100	
74		2	40,59	40,61	9852	5,98	100	
75	E ₂ -2	1	40,19	40,13	10624	6,59	75	
76		2	40,43	40,61	8482	5,17	100	
77	E ₂ -3	1	40,26	40,20	7938	4,90	100	
78		2	40,15	40,37	7217	4,45	100	
79	E ₂ -4	1	40,22	40,65	6988	4,27	100	
80		2	40,16	40,52	5681	3,49	100	
Min				3,49				
Maks				7,33				
Povprečje				5,55	91,25			
Standardni odklon				1,16				
Koeficient variacije				21%				
81	F ₁ -1	1	40,33	41,18	10438	6,28	60	
82		2	40,33	40,97	9762	5,91	50	
83	F ₁ -2	1	40,28	40,79	10032	6,11	100	
84		2	40,33	40,69	12033	7,33	100	
85	F ₁ -3	1	40,31	40,82	12259	7,45	100	
86		2	40,28	40,46	10082	6,19	100	
87	F ₁ -4	1	40,31	40,71	10842	6,61	100	
88		2	40,35	40,65	8527	5,20	55	
89	F ₂ -1	1	40,25	40,13	9768	6,05	100	
90		2	40,25	39,85	10044	6,26	100	
91	F ₂ -2	1	40,61	40,47	9451	5,75	75	
92		2	40,32	40,46	8067	4,94	90	
93	F ₂ -3	1	40,42	40,46	10269	6,28	100	
94		2	40,37	40,39	6359	3,90	100	
95	F ₂ -4	1	40,28	40,83	11249	6,84	100	
96		2	40,26	40,84	6817	4,15	95	
Min				3,90				
Maks				7,45				
Povprečje				5,95	89,06			
Standardni odklon				1,00				
Koeficient variacije				17%				

Priloga B: Stržna trdnost lepilnega spoja preizkušancev iz termično modificirane smrekovine

Zap.	Vzorec	Spoj	t mm	b mm	F_{loma} N	f_m N/mm ²	Lom po lesu (%)	
1	A ₁ -1	1	39,53	40,38	6534	4,09	50	
2		2	40,06	40,21	7937	4,93	80	
3	A ₁ -2	1	40,06	40,08	7408	4,61	70	
4		2	40,05	40,09	11038	6,87	60	
5	A ₁ -3	1	40,97	40,30	7889	4,78	75	
6		2	40,97	40,46	9422	5,68	100	
7	A ₁ -4	1	40,81	40,36	11063	6,72	80	
8		2	40,80	40,60	9687	5,85	75	
9	A ₂ -1	1	40,78	40,37	11143	6,77	100	
10		2	40,90	40,53	14100	8,51	100	
11	A ₂ -2	1	40,94	40,49	13090	7,90	100	
12		2	40,86	40,36	11868	7,20	80	
13	A ₂ -3	1	40,76	40,45	12902	7,83	100	
14		2	40,87	40,23	9100	5,53	100	
15	A ₂ -4	1	40,86	40,35	13718	8,32	30	
16		2	40,82	40,52	11331	6,85	50	
				Min	4,09			
				Maks	8,51			
				Povprečje	6,40	78,13		
A-0%, B-5%, C-15%, D-25%, E- 35%, F-50%				Standardni odklon	1,38			
				Koeficient variacije	22%			
17	B ₁ -1	1	39,63	40,54	9618	5,99	95	
18		2	39,45	40,50	7545	4,72	100	
19	B ₁ -2	1	39,47	40,57	11270	7,04	100	
20		2	39,49	40,45	7591	4,75	100	
21	B ₁ -3	1	39,49	40,45	10944	6,85	100	
22		2	40,93	40,33	12411	7,52	100	
23	B ₁ -4	1	40,88	40,36	14320	8,68	100	
24		2	40,85	40,37	12422	7,53	95	
25	B ₂ -1	1	40,12	40,50	12377	7,62	95	
26		2	39,46	40,66	6778	4,22	100	
27	B ₂ -2	1	40,19	40,17	9955	6,17	100	
28		2	39,54	40,34	9315	5,84	100	
29	B ₂ -3	1	40,54	39,98	10120	6,24	70	
30		2	40,54	39,72	8634	5,36	100	
31	B ₂ -4	1	40,52	40,45	11254	6,87	75	
32		2	40,60	40,42	8903	5,43	100	
				Min	4,22			
				Maks	8,68			
				Povprečje	6,30	95,63		
				Standardni odklon	1,23			
				Koeficient variacije	20%			

33	C ₁₋₁	1	39,44	40,64	8584	5,36	100	
34		2	39,39	40,53	9393	5,88	100	
35	C ₁₋₂	1	39,40	40,40	6556	4,12	80	
36		2	39,45	40,47	10398	6,51	100	
37	C ₁₋₃	1	40,92	40,11	9508	5,79	100	
38		2	41,01	40,77	11240	6,72	100	
39	C ₁₋₄	1	40,79	40,60	11472	6,93	40	
40		2	40,89	40,62	12950	7,80	100	
41	C ₂₋₁	1	39,48	40,54	10255	6,41	100	
42		2	39,45	40,54	8561	5,35	90	
43	C ₂₋₂	1	39,51	40,38	6109	3,83	80	
44		2	39,53	40,33	6723	4,22	100	
45	C ₂₋₃	1	41,12	40,49	8249	4,95	95	
46		2	41,02	40,56	9226	5,55	80	
47	C ₂₋₄	1	40,90	40,71	8218	4,94	75	
48		2	40,87	40,76	9794	5,88	95	
			Min		3,83	89,69		
			Maks		7,80			
			Povprečje		5,64			
			Standardni odklon		1,09			
			Koeficient variacije		19%			
49	D ₁₋₁	1	39,44	40,54	10845	6,78	95	
50		2	40,13	40,26	12087	7,48	100	
51	D ₁₋₂	1	39,37	40,57	8855	5,54	70	
52		2	39,65	40,56	7104	4,42	100	
53	D ₁₋₃	1	40,94	40,55	14177	8,54	65	
54		2	40,90	40,57	12149	7,32	50	
55	D ₁₋₄	1	40,85	40,60	10737	6,47	95	
56		2	40,85	40,33	10498	6,37	100	
57	D ₂₋₁	1	39,54	40,51	6731	4,20	95	
58		2	39,52	40,51	8681	5,42	90	
59	D ₂₋₂	1	39,56	40,38	7654	4,79	60	
60		2	40,14	40,24	7800	4,83	95	
61	D ₂₋₃	1	40,79	40,3	8024	4,88	25	
62		2	40,77	40,26	10099	6,15	65	
63	D ₂₋₄	1	40,97	40,59	6922	4,16	65	
64		2	40,80	40,56	9552	5,77	95	
			Min		4,16	79,06		
			Maks		8,54			
			Povprečje		5,82			
			Standardni odklon		1,28			
			Koeficient variacije		22%			

Priloga C: Upogibna trdnost preizkušancev iz nemodificirane smrekovine

Zap. tes.	Vzorec	Začetna stopnja N	Končna stopnja N	E _m N/mm ²	F _{loma} (maks) N	f _m N/mm ²	l mm	h mm	b mm
1	A ₁	3490	14000	9907	34900	73,7	1460	84,43	95,71
2	A ₂	2420	9670	11414	24200	51,9	1460	84,00	95,00
			Povprečje	10661	29550	62,8			
			Standardni odklon	1066,0	7566,0	15,4			
3	B ₁	1850	7380	13757	18500	40,0	1460	83,80	94,72
4	B ₂	2590	10400	14149	25900	55,9	1460	83,84	94,82
			Povprečje	13953	22200	48,0			
			Standardni odklon	277,2	5232,6	11,2			
5	C ₁	3370	13500	16651	33700	73,2	1460	83,69	94,76
6	C ₂	2320	9290	13443	23200	49,8	1460	84,10	94,94
			Povprečje	15047	28450	61,5			
			Standardni odklon	2268,0	7424,6	16,5			
7	D ₁	2210	8850	10694	22100	47,7	1460	84,01	94,74
8	D ₂	3170	12700	12161	31700	68,5	1460	83,87	94,74
			Povprečje	11428	26900	58,1			
			Standardni odklon	1037,0	6788,2	14,7			
9	E ₁	3080	12300	13168	30800	66,2	1460	84,11	94,77
10	E ₂	1690	6760	13278	16900	36,5	1460	83,87	94,87
			Povprečje	13223	23850	51,4			
			Standardni odklon	77,8	9828,8	21,0			
11	F ₁	4380	17500	15781	43800	93,9	1460	84,22	94,75
12	F ₂	3090	12400	13421	30900	66,1	1460	84,30	94,84
			Povprečje	14601	37350	80,0			
			Standardni odklon	1668,8	9121,7	19,7			

Priloga D: Upogibna trdnost preizkušancev iz termično modificirane smrekovine

Zap. tes.	Vzorec	Začetna stopnja N	Končna stopnja N	E_m N/mm ²	$F_{loma(maks)}$ N	f_m N/mm ²	l mm	h mm	b mm
1	A ₁	2220	8880	12324	22200	48,3	1460	83,57	94,74
2	A ₂	2770	11100	13059	27700	60,3	1460	83,61	94,71
			Povprečje	12691	24950	54,3			
			Standardni odklon	519,7	3889,0	8,5			
3	B ₁	2540	10200	14292	25400	55,3	1460	83,63	94,73
4	B ₂	2330	9330	14919	23300	50,8	1460	83,59	94,69
			Povprečje	14605	24350	53,1			
			Standardni odklon	443,4	1485,0	3,2			
5	C ₁	1050	4200	12751	10500	22,9	1460	83,57	94,75
6	C ₂	2230	8910	12353	22300	48,6	1460	83,53	94,69
			Povprečje	12552	16400	35,8			
			Standardni odklon	281,4	8343,9	18,2			
7	D ₁	2380	9530	12116	23800	51,8	1460	83,66	94,69
8	D ₂	1930	7710	12910	19300	41,9	1460	83,68	94,70
			Povprečje	12513	21550	46,9			
			Standardni odklon	561,4	3182,0	7,0			
9	E ₁	2440	9780	11770	24400	53,2	1460	83,61	94,72
10	E ₂	1460	5860	12300	14600	31,8	1460	83,74	94,68
			Povprečje	12035	19500	42,5			
			Standardni odklon	374,8	6930,0	15,1			
11	F ₁	2860	11400	13680	28600	62,7	1460	83,70	93,73
12	F ₂	2740	11000	11892	27400	60,1	1460	84,16	94,79
			Povprečje	12786	28000	61,4			
			Standardni odklon	1264,3	849,0	1,8			

Priloga E: Gostota lesa nemodificirane smrekovine

Zap. teh						1	2
Datum						7.12.2009	15.12.2009
Ura						9:00	10:20:00; 18:10
Vzorec	Dol.(mm)	Šir.(mm)	Deb.(mm)	Volumen (m ³)	Gostota(kg/m ³)	Masa(g)	Masa(g)
A ₁ -1	75,66	94,69	84,11	0,000603	422,61	254,66	238,74
A ₁ -2	75,34	94,76	84,04	0,000600	419,76	251,85	235,60
A ₂ -1	76,12	94,72	84,11	0,000606	420,17	254,81	239,00
A ₂ -2	75,53	94,68	84,20	0,000602	411,34	247,68	230,39
B ₁ -1	75,61	94,65	83,67	0,000599	430,39	257,71	244,73
B ₁ -2	75,39	94,72	83,72	0,000598	430,87	257,59	240,94
B ₂ -1	75,71	94,63	83,56	0,000599	432,18	258,73	241,98
B ₂ -2	75,22	94,66	83,59	0,000595	429,60	255,69	237,07
C ₁ -1	75,43	94,64	83,70	0,000598	443,81	265,18	247,93
C ₁ -2	75,37	94,57	83,64	0,000596	444,36	264,91	247,95
C ₂ -1	75,76	94,64	83,63	0,000600	434,49	260,53	246,63
C ₂ -2	75,42	94,66	83,66	0,000597	440,60	263,16	248,05
D ₁ -1	75,62	94,61	83,83	0,000600	428,29	256,87	241,76
D ₁ -2	75,19	94,78	83,73	0,000597	443,76	264,79	256,76
D ₂ -1	75,61	94,73	83,89	0,000601	416,45	250,23	235,86
D ₂ -2	75,34	94,54	83,75	0,000597	408,30	243,56	233,27
E ₁ -1	75,84	94,63	83,69	0,000601	427,59	256,82	240,30
E ₁ -2	75,41	94,73	83,64	0,000597	465,23	277,97	261,59
E ₂ -1	75,79	94,67	83,65	0,000600	419,13	251,56	238,77
E ₂ -2	75,53	94,68	83,67	0,000598	408,28	244,29	242,52
F ₁ -1	75,65	94,73	84,27	0,000604	486,12	293,57	281,25
F ₁ -2	75,35	94,75	84,26	0,000602	506,24	304,54	296,06
F ₂ -1	75,64	94,69	84,22	0,000603	416,07	250,98	251,16
F ₂ -2	75,30	94,67	84,20	0,000600	424,12	254,57	245,12

Priloga F: Gostota lesa termično modificirane smrekovine

Zap. teh						1	2
Datum						7.12.2009	17.12.2009
Ura						9:00	13:50
Vzorec	Dol.(mm)	Šir.(mm)	Deb.(mm)	Volumen (m ³)	Gostota(kg/m ³)	Masa(g)	Masa(g)
A ₁ -1	75,13	94,62	83,50	0,000594	406,83	241,49	232,74
A ₁ -2	75,59	94,63	83,54	0,000598	419,58	250,73	244,94
A ₂ -1	75,14	94,67	83,63	0,000595	442,17	263,05	257,97
A ₂ -2	75,41	94,49	83,54	0,000595	444,36	264,51	257,36
B ₁ -1	75,19	94,77	83,56	0,000595	467,09	278,12	273,02
B ₁ -2	75,84	94,69	83,55	0,000600	442,94	265,76	256,73
B ₂ -1	75,22	94,73	83,62	0,000596	402,44	239,79	236,93
B ₂ -2	75,68	94,76	83,74	0,000601	414,93	249,18	248,88
C ₁ -1	75,16	94,56	83,49	0,000593	461,50	273,84	266,87
C ₁ -2	75,67	94,48	83,41	0,000596	453,11	270,20	266,76
C ₂ -1	75,11	94,46	83,51	0,000592	428,76	254,04	241,65
C ₂ -2	75,63	94,57	83,33	0,000596	428,79	255,56	245,81
D ₁ -1	75,71	94,55	83,59	0,000598	422,60	252,87	249,54
D ₁ -2	75,15	94,60	83,56	0,000594	422,63	251,06	245,57
D ₂ -1	75,11	94,65	83,68	0,000595	410,06	243,94	246,16
D ₂ -2	75,63	94,52	83,50	0,000597	399,09	238,22	239,87
E ₁ -1	75,16	94,50	83,43	0,000593	399,29	236,61	235,97
E ₁ -2	75,66	94,51	83,54	0,000597	395,49	236,25	236,86
E ₂ -1	75,13	94,65	83,58	0,000594	416,60	247,60	251,47
E ₂ -2	75,57	94,50	83,57	0,000597	411,22	245,42	249,87
F ₁ -1	75,15	94,65	83,62	0,000595	394,38	234,57	239,56
F ₁ -2	75,77	94,7	83,73	0,000601	398,95	239,69	240,73
F ₂ -1	75,04	94,73	83,84	0,000596	406,07	242,01	240,06
F ₂ -2	75,56	94,57	83,72	0,000598	407,38	243,71	242,25

Priloga G: Vlažnost lesa nemodificirane smrekovine

Zap. teh.		1	2	
Datum		7.12.2009	8.12.2009	
Ura		11:50	12:00	
Št.	Vzorec	Masa (g)	Masa (g)	Vlažnost (%)
1	A ₁ -1	58,24	53,17	9,54%
2	A ₂ -1	55,86	51,16	9,19%
3	B ₁ -1	57,54	52,47	9,66%
4	B ₂ -1	60,19	54,01	11,44%
5	C ₁ -1	59,53	54,24	9,75%
6	C ₂ -1	59,33	54,07	9,73%
7	D ₁ -1	58,52	53,40	9,59%
8	D ₂ -1	59,08	54,03	9,35%
9	E ₁ -1	60,64	55,4	9,46%
10	E ₂ -1	55,81	50,88	9,69%
11	F ₁ -1	66,71	60,65	9,99%
12	F ₂ -1	57,17	52,07	9,79%

Priloga H: Vlažnost lesa termično modificirane smrekovine

Zap. teh.		1	2	
Datum		7.12.2009	8.12.2009	
Ura		11:50	12:00	
Št.	Vzorec	Masa (g)	Masa (g)	Vlažnost (%)
1	A ₁ -1	53,85	50,74	6,13%
2	A ₂ -1	56,04	52,77	6,20%
3	B ₁ -1	57,99	54,67	6,07%
4	B ₂ -1	53,35	50,83	4,96%
5	C ₁ -1	62,73	59,44	5,53%
6	C ₂ -1	57,37	53,72	6,79%
7	D ₁ -1	55,90	52,82	5,83%
8	D ₂ -1	54,25	51,95	4,43%
9	E ₁ -1	53,28	50,29	5,95%
10	E ₂ -1	55,11	52,19	5,59%
11	F ₁ -1	54,00	51,05	5,78%
12	F ₂ -1	54,36	51,57	5,41%

Priloga I: Deliminacija lepilnega spoja za preizkušance iz nemodificirane smrekovine

	DELAMINACIJE												Skupna delaminacija (mm)	Maks delaminacija (mm)	Skupna delam (%)	Maks delam (%)				
	DOLŽINA SPOJEV				Skupna dolžina	1		2		3		4								
	1	2	3	4		Zunanja	Notranja	Zunanja	Notranja	Zunanja	Notranja	Zunanja	Notranja							
A ₁ -1	92,9	93,25	93,38	93,54	373,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
A ₁ -2	93,23	93,48	93,26	93,25	373,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
A ₂ -1	92,16	92,67	92,97	92,68	370,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
A ₂ -2	92,69	92,24	92,72	92,65	370,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
														Povprečje	0,00	0,00				
B ₁ -1	92,57	91,79	91,77	91,38	367,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
B ₁ -2	92,19	91,40	91,45	91,30	366,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
B ₂ -1	92,03	91,35	92,16	92,18	367,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
B ₂ -2	92,11	91,26	92,01	91,39	366,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
														Povprečje	0,00	0,00				
C ₁ -1	91,83	90,36	91,62	90,6	364,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
C ₁ -2	91,47	90,53	91,98	90,79	364,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
C ₂ -1	93,15	93,17	92,91	93,19	372,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
C ₂ -2	93,13	93,23	92,85	92,40	371,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
														Povprečje	0,00	0,00				
D ₁ -1	91,44	91,59	91,32	91,42	365,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
D ₁ -2	92,90	92,60	93,04	92,86	371,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,50	6,50	6,50	1,70	3,50		
D ₂ -1	92,70	92,20	92,15	91,52	368,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
D ₂ -2	92,25	92,42	92,95	92,99	370,61	2,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	3,00	0,80	1,60		
														Povprečje	0,60	1,30				
E ₁ -1	90,90	91,17	91,73	91,97	365,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,85	0,00	2,90	2,90	0,80	1,60			
E ₁ -2	91,69	92,06	92,45	92,70	368,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,00	1,79	31,00	43,70	30,80	11,80	16,70			
E ₂ -1	92,53	92,56	91,46	92,21	368,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
E ₂ -2	93,49	93,35	93,03	92,86	372,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
														Povprečje	3,20	4,60				
F ₁ -1	91,45	92,02	91,23	91,68	366,38	0,00	8,75	0,00	14,10	0,00	0,00	4,44	49,00	76,10	48,80	20,80	26,50			
F ₁ -2	92,44	92,53	92,43	92,33	369,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,93	0,00	1,90	1,90	0,50	1,00				
F ₂ -1	93,14	93,73	92,88	93,51	373,26	0,00	22,60	1,98	26,00	3,24	15,00	2,07	31,00	102,10	31,50	27,40	16,80			
F ₂ -2	92,54	92,88	92,54	92,73	370,69	0,00	8,35	0,00	0,00	0,00	9,70	0,00	10,00	28,40	10,40	7,70	5,60			
														Povprečje	14,10	12,50				

Priloga J: Deliminacija lepilnega spoja za preizkušance iz termično modificirane smrekovine

DOLŽINA SPOJEV

DELAMINACIJE

	1	2	3	4	Skupna dolžina	1		2		3		4		Skupna delaminacija (mm)	Maks delaminacija (mm)	Skupna delam (%)	Maks delam (%)	
						Zunanja	Notranja	Zunanja	Notranja	Zunanja	Notranja	Zunanja	Notranja					
A ₁ -1	94,09	94,04	93,99	93,94	376,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A ₁ -2	94,20	94,12	94,06	94,22	376,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A ₂ -1	94,17	94,42	94,06	93,93	376,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A ₂ -2	94,09	94,06	93,96	93,98	376,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
															Povprečje	0,00	0,00	
B ₁ -1	94,14	94,31	93,82	94,02	376,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
B ₁ -2	94,10	94,14	94,02	94,20	376,46	0,00	8,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,16	8,16	2,20	4,30
B ₂ -1	93,96	94,21	93,97	94,19	376,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
B ₂ -2	94,23	94,36	94,39	94,23	377,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
															Povprečje	0,50	1,10	
C ₁ -1	94,02	93,70	94,07	93,70	375,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C ₁ -2	93,87	93,69	93,89	93,68	375,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C ₂ -1	93,65	93,56	93,67	93,69	374,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C ₂ -2	94,13	93,76	94,07	93,73	375,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
															Povprečje	0,00	0,00	
D ₁ -1	94,46	94,14	94,35	94,20	377,15	0,00	0,00	0,00	52,00	0,00	0,00	0,00	52,00	104,40	52,40	27,70	27,80	
D ₁ -2	94,17	94,17	94,06	94,20	376,60	0,00	0,00	0,00	18,40	0,00	0,00	0,00	0,00	18,40	18,40	4,90	9,80	
D ₂ -1	94,83	94,67	94,71	94,93	379,14	0,00	24,60	43,90	0,00	6,06	24,00	37,90	0,00	136,70	43,90	36,00	23,20	
D ₂ -2	94,69	94,34	94,67	94,88	378,58	28,90	7,66	0,00	24,50	22,00	4,20	0,00	14,00	101,10	28,90	26,70	15,30	
															Povprečje	23,80	19,00	
E ₁ -1	94,06	93,74	94,25	93,92	375,97	0,00	0,00	1,79	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	4,70	3,00	1,30	1,60	
E ₁ -2	94,13	93,77	94,23	93,86	375,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	
E ₂ -1	94,52	94,62	94,99	94,89	379,02	13,2	76,5	0,00	24,1	0,00	0,00	0,00	13,00	127,2	76,50	33,60	40,40	
E ₂ -2	94,67	94,84	94,59	94,66	378,76	5,78	21,6	0,00	0,00	57,3	11,00	4,82	52,00	152,0	57,30	40,10	30,20	
															Povprečje	18,70	18,10	
F ₁ -1	94,76	94,6	95,07	94,84	379,27	33,70	0,00	46,5	20,40	94,40	0,00	88,20	0,00	283,20	94,40	74,70	49,90	
F ₁ -2	94,33	94,40	94,72	94,45	377,90	36,80	3,78	0,00	24,80	85,80	0,00	12,80	33,00	196,60	85,80	52,00	45,40	
F ₂ -1	94,52	94,76	94,49	94,61	378,38	94,20	0,00	31,4	31,40	94,30	0,00	0,00	58,00	309,40	94,30	81,80	49,70	
F ₂ -2	94,27	94,39	94,26	94,38	377,30	76,10	5,64	0,00	45,10	69,80	0,00	0,00	13,00	209,80	76,10	55,60	40,30	
															Povprečje	66,00	46,30	

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Janez ŠILC

**VPLIV SESTAVE LEPILNE MEŠANICE NA OSNOVI
UTEKOČINJENEGA LESA NA KAKOVOST
LEPLJENJA TERMIČNO MODIFICIRANEGA LESA**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2011