

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Boštjan JEŽ

**IZDELAVA OPAŽNE PLOŠČE Z LEPILOM NA OSNOVI
UTEKOČINJENEGA LESA**

DIPLOMSKI PROJEKT
Univerzitetni študij - 1. stopnja

**MANUFACTURING OF SHUTTERING PANELS WITH ADHESIVE
BASED ON LIQUEFIED WOOD**

B. SC. THESIS
Academic Study Programmes

Ljubljana, 2011

Diplomski projekt je zaključek univerzitetnega študija lesarstva prve stopnje. Meritve in testiranja so bila opravljena na Univerzi v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, v laboratorijih Katedre za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega projekta imenoval izr. prof. dr. Milana Šerneka, za somentorja doc. dr. Matjaža Kunaverja in za recenzenta doc. dr. Sergeja Medveda.

Mentor: izr. prof. dr. Milan Šernek

Somentor: doc. dr. Matjaž Kunaver

Recenzent: doc. dr. Sergej Medved

Komisija za oceno in predstavitev:

Predsednik: Ime in priimek.....
Inštitucija.....

Član: Ime in priimek.....
Inštitucija

Član: Ime in priimek.....
Inštitucija.....

Član: Ime in priimek.....
Inštitucija

Datum zagovora:

Projekt je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Boštjan Jež

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du1
DK	UDK 630*824.86
KG	melamin-urea-formaldehidno lepilo/opažna plošča/strižna trdnost/utekočinjen les
AV	JEŽ, Boštjan
SA	ŠERNEK, Milan (mentor)/KUNAVER, Matjaž (somentor)/MEDVED, Sergej (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2011
IN	IZDELAVA OPAŽNE PLOŠČE Z LEPILOM NA OSNOVI UTEKOČINJENEGA LESA
TD	Diplomski projekt (Univerzitetni študij - 1. stopnja)
OP	XI, 30 str., 6 pregl., 12 sl., 3 pril., 30 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Raziskovali smo možnost izdelave opažne plošče z lepilom na osnovi utekočinjenega lesa (UL) in melamin-urea-formaldehidnega (MUF) lepila. Ugotavljali smo sestavo lepilne mešanice, ki zadosti različnim pogojem uporabe opažnih plošč: suhi pogoji, vlažni pogoji in zunanji pogoji. Pripravili smo 5 lepilnih mešanic, kjer smo spreminjali delež MUF lepila in utekočinjenega lesa (MUF/UL): 100/0, 90/10, 80/20, 70/30 in 60/40. S temi lepilnimi mešanicami smo zlepili laboratorijske opažne plošče (500 mm × 500 mm × 27 mm) in iz njih izžagali strižne preizkušance, ki smo jih pred testiranjem pripravili glede na predvidene pogoje uporabe. Nato smo ugotavljali vpliv deleža utekočinjenega lesa v lepilni mešanici na strižno trdnost lepilnega spoja po standardu SIST-TS CEN/TS 13354:2004. Ugotovili smo, da so vse proučevane lepilne mešanice ustrezale zahtevam standarda za uporabo opažnih plošč v suhih pogojih, medtem ko so pogojem uporabe opažnih plošč v vlažnih in zunanjih pogojih ustrezale lepilne mešanice MUF100/UL0, MUF90/UL10 in MUF80/UL20. Rezultati so pokazali, da za izdelavo opažnih plošč lahko del MUF lepila nadomestimo z utekočinjenim lesom. Delež dodanega utekočinjenega lesa moramo prilagoditi glede na pogoje uporabe opažne plošče.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Du1

DC UDC 630*824.86

CX melamine-urea-formaldehyde/shuttering panel/shear strength/liquefied wood

AU JEŽ, Boštjan

AA ŠERNEK, Milan (supervisor)/KUNAVER, Matjaž (co-supervisor)/MEDVED, Sergej (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 MANUFACTURING OF SHUTTERING PANELS WITH ADHESIVE BASED ON LIQUEFIED WOOD

DT B. Sc. Thesis (Academic Study Programmes)

NO XI, 30 p., 6 tab., 12 fig., 3 amm., 30 ref.

LA sl

Al sl/en

AB Manufacturing of shuttering panels with adhesive, based on liquefied wood and melamine-urea-formaldehyde (MUF), was examined. We identified the structure of adhesive mixture satisfying the different usage conditions of shuttering panels: dry conditions, humid conditions and exterior conditions. We prepared 5 adhesive mixtures, with varying proportions of MUF adhesive and liquefied wood (MUF/LW): 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40. We manufactured shuttering panels (500 mm × 500 mm × 27 mm) with these adhesive mixtures. The shear test pieces were cut and prepared according to the conditions of use. Then we tested the effect of the share of liquefied wood in adhesive mixture on the shear strength of adhesive bond according to SIST-TS-CEN/TS 13354:2004 standard. All of the examined adhesive mixtures for usage in dry conditions correspond to the standard. MUF100/LW0, MUF90/LW10 and MUF80/LW20 adhesive mixtures can just be used for humid and exterior conditions corresponding to the standard for usage of shuttering panels. The results show that we can replace a certain proportion of MUF adhesive with liquefied wood for manufacturing of shuttering panels, but we must adapt them according to the conditions of use.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PRILOG	IX
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	X
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2 CILJ	1
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 LES IN ZGRADBA LESA	2
2.1.1 Celuloza	2
2.1.2 Polioze (hemiceluloze)	2
2.1.3 Lignin.....	3
2.1.4 Ekstraktivi.....	3
2.2 UTEKOČINJEN LES.....	3
2.2.1 Utekočinjenje s fenoli	4
2.2.2 Utekočinjenje s polihidričnimi alkoholi.....	6
2.2.3 Mehanizmi utekočinjenja	6
2.2.4 Uporaba utekočinjenega lesa	7
2.2.4.1 Lepila	7
2.2.4.2 Epoksi smole	8
2.2.4.3 Fenol-formaldehidne smole	8
2.2.4.4 Poliestri	8
2.3 MELAMIN-UREA FORMALDEHIDNA (MUF) LEPILA.....	9
2.3.1 Kemizem melamin-urea formaldehidnega (MUF) lepila.....	9
2.3.2 Lastnosti MUF lepila	9
2.4 OPAŽNE PLOŠČE	9
2.4.1 Lastnosti opažnih plošč	10
3 MATERIALI IN METODE	11

3.1 MATERIALI	11
3.1.1 Les smreke	11
3.1.2 Les jelke	11
3.1.3 Lepilna mešanica	12
3.1.3.1 Melamin-urea-formaldehidno lepilo.....	12
3.1.3.2 Utekočinjen les	12
3.2 METODE	13
3.2.1 Sestava lepilne mešanice	13
3.2.2 Sestava opažnih plošč	13
3.2.3 Nanos lepila in lepljenje opažnih plošč v klasični vroči stiskalnici	14
3.2.4 Izdelava preizkušancev za testiranje lepilnih spojev	14
3.2.4.1 Standardna metoda za ugotavljanje kakovosti zlepljenosti masivne lesne plošče	14
3.2.4.2 Izdelava preizkušancev	16
3.2.5 Testni vzorci v izpostavitvenih režimih	17
3.2.5.1 Režim za uporabo opažnih plošč v suhih pogojih	17
3.2.5.2 Režim za uporabo opažnih plošč v vlažnih pogojih	18
3.2.5.3 Režim za uporabo opažnih plošč v zunanjih pogojih	19
3.2.6 Testiranje strižne trdnosti lepilnih spojev	19
4 REZULTATI Z RAZPRAVO	21
4.1 STRIŽNA TRDNOST LEPILNEGA SPOJA OPAŽNIH PLOŠČ NAMENJENIH ZA UPORABO V SUHIH POGOJIH	22
4.2 STRIŽNA TRDNOST LEPILNEGA SPOJA OPAŽNIH PLOŠČ NAMENJENIH ZA UPORABO V VLAŽNIH POGOJIH	23
4.3 STRIŽNA TRDNOST LEPILNEGA SPOJA OPAŽNIH PLOŠČ NAMENJENIH ZA UPORABO V ZUNANJIH POGOJIH	25
4.4 PRIMERJAVA STRIŽNE TRDNOSTI LEPILNEGA SPOJA PRI VSEH IZPOSTAVITVENIH REŽIMIH	26
5 SKLEPI	29
6 VIRI	30

ZAHVALA

PRILOGE

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Specifikacije lepila Meldur H97	12
Preglednica 2: Izdelane lepilne mešanice za lepljenje opažnih plošč	13
Preglednica 3: Izpostavitveni režimi za masivne lesne plošče namenjene za rabo v suhih, vlažnih in zunanjih pogojih	16
Preglednica 4: Povprečne strižne trdnosti lepilnih spojev, standardni odklon strižne trdnosti, povprečna ocena loma po lesu [%] in 5 percentil vsakega povprečja za opažne plošče namenjene uporabi v suhih pogojih.....	22
Preglednica 5: Povprečne strižne trdnosti lepilnih spojev, standardni odklon strižne trdnosti, povprečna ocena loma po lesu [%] in 5 percentil vsakega povprečja za opažne plošče namenjene uporabi v vlažnih pogojih	24
Preglednica 6: Povprečne strižne trdnosti lepilnih spojev, standardni odklon strižne trdnosti, povprečna ocena loma po lesu [%] in 5 percentil vsakega povprečja za opažne plošče namenjene uporabi v zunanjih pogojih	25

KAZALO SLIK

Slika 1: Plan razžagovanja za preizkušance iz večslojne masivne lesne plošče (SIST-TS CEN/TS 13354, 2004)	15
Slika 2: Preizkušanci za ugotavljanje kakovosti zlepljenosti za trislojne lesne plošče (SIST-TS CEN/TS 13354, 2004)	15
Slika 3: Zažagovanje utorov do lepilnega spoja.....	17
Slika 4: Vpetje preizkušanca v pomožno orodje trgalnega stroja Zwick Z100.....	18
Slika 5: Potopljeni preizkušanci (levo) in laboratorijski kuhalnik »Kambič« (desno).....	18
Slika 6: Laboratorijski sušilnik za les.....	19
Slika 7: Testirni stroj Zwick Roell Z100 (levo) in računalniški program testXpert II (desno)	20
Slika 8: Strižna trdnost lepilnega spoja glede na lepilno mešanico pri opažnih ploščah namenjenih za uporabo v suhih pogojih	23
Slika 9: Strižna trdnost lepilnega spoja glede na lepilno mešanico pri opažnih ploščah namenjenih za uporabo v vlažnih pogojih	24
Slika 10: Strižna trdnost lepilnega spoja glede na lepilno mešanico pri opažnih ploščah namenjenih za uporabo v zunanjih pogojih	26
Slika 11: Primerjava strižne trdnosti lepilnih spojev opažnih plošč za vse pogoje uporabe glede na lepilno mešanico.....	27
Slika 12: Primerjava strižne trdnosti lepilnih spojev opažne plošče iz GGP in laboratorijsko izdelane opažne plošče glede na namen uporabe.	27

KAZALO PRILOG

Priloga A: Strižna trdnost lepilnega spoja preizkušancev za uporabo v suhih pogojih

Priloga B: Strižna trdnost lepilnega spoja preizkušancev za uporabo v vlažnih pogojih

Priloga C: Strižna trdnost lepilnega spoja preizkušancev za uporabo v zunanjih pogojih

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

OKRAJŠAVE

- melamin-urea-formaldehid – MUF
- utekočinjen les - UL
- natrijev hidroksid – NaOH

SIMBOLI (enote)

- temperatura – T (°C)
- čas – t (s)
- strižna sila – F (N)
- ploščina – A (m²)
- delež (%)

1 UVOD

Pri proizvodnji masivnih lesnih plošč ter drugih lesnih kompozitov se po svetu uporabi velike količine sintetičnih lepil različne sestave. Najpogosteje so to polimeri uree, melamina, rezorcinola, fenola ter formaldehida. Prisotne so tudi razne toksične komponente ter hlapne organske spojine. Zato se v zadnjih letih razvija in uvaja manj škodljiva lepila iz obnovljivih virov. Zaradi visokih cen surovin in stroškov proizvodnje, pa večina novosti zatone. Prav tako pa je pri slednjih zelo težko doseči zadostno trdnost in trajnost lepilnih spojev. Ena izmed potencialnih surovin za izdelavo okolju prijaznih lepil je tudi utekočinjen les. Njegovo obnašanje pri lepljenju opažnih plošč smo proučevali v naši raziskavi.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Utekočinjen les bi bil lahko uporaben kot lepilo za lepljenje masivnega lesa in opažnih plošč, vendar je potrebno za kakovosten lepilni spoj prilagoditi parametre lepljenja ter dodati določeno količino običajnega lepila, če želimo doseči določeno stopnjo vodoodpornosti oziroma trajnosti lepilnega spoja.

1.2 CILJ

Cilj diplomskega projekta je ugotoviti sestavo lepilne mešanice na osnovi utekočinjenega lesa in melamin-urea-formaldehidnega (MUF) lepila, ki zadosti pogojem za lepljenje opažnih plošč za različne tipe uporabe (suhi, vlažni in zunanji pogoji).

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Predvidevamo, da bo dodatek utekočinjenega lesa v MUF lepilo vplival na trdnost lepilnega spoja, vendar pričakujemo, da bodo nekatere lepilne mešanice z nižjim deležem utekočinjenega lesa zadostile standardnim zahtevam glede trdnosti lepilnega spoja. Predvidevamo, da obstajata optimalna temperatura in čas stiskanja, ki zagotovita zadostno trdnost lepilnega spoja

2 PREGLED OBJAV

2.1 LES IN ZGRADBA LESA

Botanično je les sekundarni ksilem, ki ga kambij v procesu sekundarne (debelitvene) rasti proizvaja navznoter, t.j. v smeri stržena. Bistvene prednosti lesa kot materiala so njegova biološki razgradljivost, obnovljivost, vsestranska uporabnost, visoka trdnost glede na gostoto, čistost pridobivanja, predelave in obdelave.

Les je sestavljen iz približno 50 % ogljika, 44 % kisika, 6 % vodika, 0,1 do 0,2 % dušika in 0,2 do 0,6 % drugih anorganskih sestavin (Fengel in Wegener, 1984). Les vsebuje naravne polimerne materiale kot so celuloza, hemiceluloza, lignin in druge komponente, te pa vsebujejo pomembne OH skupine, ki se nahajajo v teh sestavinah in so potrebne za tvorbo esterske vezi (Kurimoto in sod., 1999).

2.1.1 Celuloza

Celuloza je najbolj razširjen naravni polimer na svetu. Kemično je glukoza linearni polimer, v katerem so D-glukopiranozne enote povezane z β -(1-4)-glikozidnimi vezmi. V osnovi je celuloza sestavljena iz ponavljajočih se enot celobioze dolžine 1,03nm. Iglavci vsebujejo 42 do 49 %, listavci pa 42 do 51 % celuloze.

Celuloza je v lesu visoko kristalinična, s 65 % območij, ki imajo kristalinično obliko, ostala področja so amorfná, z nižjo gostoto. Ima obliko vlaken in je netopna v večini topil. Raztaplja se v močnih kislinah kot so 72 % žveplove(VI) kislina, 41 % klorovodikova kislina in 85 % fosforjeva(V) kislina (Fengel in Wegener, 1984; Tišler, 2004).

2.1.2 Polioze (hemiceluloze)

Polioze so sestavljene iz različnih sladkornih enot, molekulske verige pa so v primerjavi z celulozo veliko krajše in razvejane. Tako kot celuloza tudi polioze predstavljajo oporni material v celični steni lesa. Za razliko od celuloze pa jih sestavljajo različne sladkorne enote. Molekularne enote so bolj razvejane in precej krajše od celuloze. Polioze relativno hitro hidrolizirajo v svoje monomerne komponente: D-glukozo, D-manozo, D-ksilozo, D-arabinozo, L-ramnozo, D-glukuronsko kislino, 4-O-metil-D-glukuronsko kislino in D-galakturonsko kislino. Polimerizacijska stopnja polioz je le okrog 200. Les iglavcev in listavcev se med seboj razlikujeta tako v količini kot tudi v sestavi polioz. Količina polioz znaša glede na suho snov lesa med 20 in 30 % (Tišler, 1986).

2.1.3 Lignin

Lignin je takoj za celulozo drugi najbolj razširjen in pomemben naravni polimer v rastlinskem svetu. Je komponenta tkiva višjih rastlin, ki je specializirana za transport tekočin in mehansko oporo. Gre za amorfen in v glavnem aromatski polimer sestavljen iz fenilpropanskih enot, ki se med seboj povezujejo na različne načine. Glavne gradbene enote lignina so p-kumaril alkohol, koniferil alkohol in sinapil alkohol.

Koncentracija lignina v lesu listavcev znaša 18-25 %, v lesu iglavcev pa 25-35 %. Lignini niso kemične spojine v klasičnem smislu, ker nimajo enotne strukture niti določljive relativne molekularne mase. Potem, ko se odložita celuloza in hemiceluloze, lignini prepojujejo medcelične prostore in prostore v celični steni. Ko se lignifikacija (olesnitev) konča, pa kot tridimenzionalne tvorbe zapolnjujejo prostore med fibrilami celične stene (Fengel in Wegener, 1989).

2.1.4 Ekstraktivi

Ekstraktivne snovi so skupina velikega števila različnih snovi, ki jih iz lesa pridobimo z uporabo različnih topil. Iglavci naj bi imeli višjo vsebnost ekstraktivov kot listavci. Koncentracija ekstraktivov je največja v jedrovini, pa tudi v vejah in koreninah. Večje količine ekstraktivnih snovi so značilne za tropske lesove. Sestava ekstraktivov je različna med posameznimi drevesnimi vrstami. Delimo jih v dve skupini: prva zajema lignane, terpene, stilbene in druge aromatske spojine, v drugo skupino pa spadajo voski, maščobe, maščobne kisline, alkoholi in višji ogljikovodiki.

Ekstraktivi vsebujejo tudi anorganske snovi. Njihova vsebnost je zelo nizka, vendar so mnoge zelo pomembne za rast drevesa. V pepelu lesa najdemo predvsem kalcij, kalij in magnezij (Rowell, 2005; Fengel in Wegener, 1989).

2.2 UTEKOČINJEN LES

Zamisel o utekočinjenem lesu se je rodila okoli leta 1980. S tem procesom so začeli Japonci, sledili pa so jim bolj ali manj po vsem svetu. V Sloveniji so s prvimi raziskavami začeli na Biotehniški fakulteti v Ljubljani, na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete in na Kemijskem inštitutu, v Laboratoriju za polimerno kemijo in tehnologijo.

Če si predstavljamo, da je les po strukturi kompleksen trden material, sestavljen v glavnem iz polimernih molekul celuloze, hemiceluloz in lignina, potem z utekočinjanjem to razgradimo na enostavne, manjše gradnike, ki so seveda tekoči. Produkt reakcije je gosta temnorjava tekočina, ki ji pravimo utekočinjen les. Ta surovina je izjemno uporabna na različnih področjih.

Utekočinjanje lesa je postopek, pri katerem zaradi reakcij z določenimi kemijskimi spojinami pride do razgradnje lesnih komponent. Utekočinjenje lahko dosežemo pod vplivom visoke temperature in visokega tlaka. Produkti so poleg plinov tudi težka olja, velik delež ogljikovodikov in fenolov. Ugotovili so, da se les lahko utekočini ob prisotnosti različnih organskih topil, na primer pri temperaturi okoli 240 °C so se v 15 do 180 minutah lesni sekanci in lesna moka utekočinili z uporabo fenolov, bisfenolov, alkoholov, polihidričnih alkoholov in hidroksi etrov. Utekočinjenje lesa lahko dosežemo tudi pri nižji temperaturi okoli 150 °C in normalnem tlaku ob prisotnosti organskih topil in kislinskih katalizatorjev (Kržan in sod., 2005).

Hitrost utekočinjenja polisaharidov je odvisna od temperature in dodanega glikola ter kisline. Utekočinjenje amorfnega polisaharida, kot je škrob, je zelo hitro, med tem ko je utekočinjenje kristalinične celuloze veliko počasnejše (Tišler, 2002).

Ena izmed možnosti pri utekočinjenju lesa je tudi segrevanje z uporabo mikrovalov. Na takšen način lahko pri uporabi enostavnih glikolov (propilen glikol, etilen glikol, dietilen glikol) in organskih kislinskih anhidridov (andihrid maleinske kisline, anhidrid ftalne kisline) z dodatkom fosforjeve(V) kisline kot katalizatorja, že v času 20 minut dosežemo popolno utekočinjenje lesa (Kržan in Kunaver, 2005).

Negativen pojav utekočinjenja lesa je ponovna kondenzacija že razgrajenih komponent lesa, ki poteka predvsem ob uporabi kislinskih katalizatorjev. Izkazalo se je, da je reakcija rekondenzacije značilna za utekočinjenje mešanice celuloze in lignina, ki hkrati predstavljata glavni komponenti lesa, medtem ko pri utekočinjenju same celuloze ali lignina do rekondenzacije ne pride. Domnevno do rekondenzacije pride zaradi medsebojne reakcije med depolimerizirano celulozo in aromatskimi derivati lignina (Kobayashi in sod., 2004).

Rekondenzacija se odraža v večanju deleža ostanka lesa, na podlagi katerega določamo učinkovitost utekočinjenja. Ne glede na to, kakšna je nadaljnja uporaba utekočinjenega lesa želimo doseči čim večji izkoristek utekočinjenja in s tem čim manjši ostanek. Le-ta je predvsem pomemben, kadar želimo utekočinjen les uporabiti za proizvodnjo poliuretanskih pen, saj je pri tem potrebno morebitni ostanek odstraniti, kar pa vpliva na visoke dodatne stroške. Pri uporabi utekočinjenega lesa za proizvodnjo lepil so manjše količine ostanka lesa dovoljene (Tohmura in sod., 2005).

Prevladujoča načina utekočinjenja lesa sta utekočinjenje s fenoli in utekočinjenje s poliolii.

2.2.1 Utekočinjenje s fenoli

Utekočinjanje lesa s fenoli poteka v alkalnem ali kislem mediju. NaOH, je v primerjavi z drugimi kemikalijami na osnovi anorganskih soli, ki so jih tudi preizkusili, najboljši katalizator. Nekateri avtorji trdijo, da je ta način utekočinjenja ugodnejši, ker ne povzročajo korozije na kovinskih delih naprav. Poleg tega je s fenoli mogoče utekočiniti tudi celulozo, bombaž in juto. Ugotovili so, da je za uspešno utekočinjenje potrebno ugotoviti pravilna razmerja med količinami lesne moke, fenola in NaOH. Najboljše

lastnosti so dosegli z razmerjem med količino lesa in količino fenola 3 : 7 pri 5 % deležu NaOH. Obstaja še metoda utekočinjenja lesa s fenolom in sicer z uporabo kislinskih katalizatorjev kot sta H_3PO_4 in H_2SO_4 (Maldas in Shiraishi, 1996).

2.2.2 Utekočinjenje s polihidričnimi alkoholi

Najpogosteje opisana metoda utekočinjanja lesa s polihidričnimi alkoholi je ta, da lesne sekance ali lesno moko utekočinimo pri 150 °C. Kot reagent za utekočinjanje uporabimo polietilen glikol in glicerol. Kot katalizator služi žveplova(VI)kisline (Kurimoto in sod., 1999).

Pogoje utekočinjenja so različni raziskovalci spreminjali tako, da je mogoče utekočinjanje lesa tudi pri 150 °C in v časovnem intervalu od 15 do 180 minut z uporabo polihidričnih alkoholov, kot sta 1,6-heksandiol in 1,4-butandiol ter glicerol, kot tudi z hidroksi etri, kot so npr. dieten glikol, trieten glikol in polietilen glikol (Kržan in sod., 2005).

Na splošno so postopki utekočinjenja lesa s poliolami enostavni. Njihova izvedba ni zahtevna, saj ne potrebujemo visokih tlakov niti zelo visokih temperatur, kar delo bistveno olajša (Čuk in Kunaver 2009).

2.2.3 Mehanizmi utekočinjenja

Mehanizem utekočinjenja lesa in sorodnih spojin še vedno ni popolnoma pojasnjen, čeprav so dokazane nekatere hipoteze:

- Utekočinjenje polisaharidov, ki predstavljajo glavnino lesne mase, poteka z alkoholi oziroma s fenolom ob uporabi H_2SO_4 z alkoholizo oziroma fenolizo glukozidne vezi.
- Hitrost utekočinjenja polisaharidov je odvisna od lastnosti topila. Utekočinjenje amorfne polisaharida, kot je škrob, je zelo hitro, medtem ko je utekočinjenje kristalinične celuloze dosti počasnejše.
- Pri utekočinjenju polisaharidov z alkoholi ali fenoli najprej nastanejo ustrezni glukozidi. Yamada in Ono (2001) sta preučevala potek mehanizma utekočinjenja celuloze z etilenglikolom in ugotovila, da celuloza med utekočinjenjem najprej razpade na monomerne glukozide, ki s časom reakcije še naprej razpadejo na 2-hidroksietil levulinat. Hidroliza 2-hidroksietil levulinata pripelje do nastanka levulinske kisline. V začetku utekočinjenja tako nastane veliko glukozidov, katerih delež se s časom reakcije zmanjšuje, medtem ko se količina levulinske kisline veča.
- Izkazalo se je, da začetna razgradnja lignina ob uporabi etilenglikola in *p*-toluensulfonske kisline (PTSA) vodi do cepitve fenilkumaranskih (β -5) in resinolnih (β - β) enot. Temu je sledila reakcija kondenzacije razgrajenega lignina in etilenglikola do netopnega polimera (Jasiukaityte in sod., 2010).

2.2.4 Uporaba utekočinjenega lesa

2.2.4.1 Lepila

Kunaver in sodelavci (2010) so proučevali možnost uporabe utekočinjenega lesa kot novega lepila za iverne plošče. Primerjali so plošče brez in tiste z 50 % vsebnostjo utekočinjenega lesa v lepilni mešanici. Pri 50 % vsebnosti utekočinjenega lesa ni bilo nobenih vplivov na mehanske lastnosti ivernih plošč. Prišlo pa je do znatnega znižanja izpusta formaldehida iz plošče. To naj bi se zgodilo ker depolimerizacijski produkti lignina ohranijo aromatične lastnosti in ostanejo visoko reaktivni. Obnašajo se kot čistilci radikalov in lahko zato reagirajo z prostim formaldehidom v mešanici, med procesom zamreženja.

Izdelana so bila izocianatna lepila na osnovi utekočinjenega lesa, ki zagotavljajo varno uporabo, trajnost ter reciklažo in tako lahko nadomestijo lepila na osnovi formaldehida. Les so utekočinili z mešanico polietilen glikola in glicerola ob dodatku katalizatorja (H_2SO_4) in dodali diizocianat (pMDI). Pridobljeno lepilo so uporabili za izdelavo vezane plošče. Testi suhih vzorcev so pokazali dobro strižno trdnost ter majhne emisije formadehida in acetaldehida (Tohmura in sod., 2005).

Proučevali so lastnosti lepilnih spojev bukovih preizkušancev zlepljenih z lepilno mešanico utekočinjenega lesa in fenolne smole. Strižna trdnost lepilnih spojev pri suhih preizkušancih je narasla, ko so največ 25 % fenol-formaldehidnega lepila zamenjali z utekočinjenim lesom. Strižna trdnost je pri višjih vsebnostih utekočinjenega lesa začela upadati. Pri potopitvi ali kuhanju v vodi, je strižna trdnost lepilnih spojev drastično upadla pri vseh preizkušancih, ki so vsebovali več kot 25 % utekočinjenega lesa. Daljši časi stiskanja so pripomogli k višji strižni trdnosti pri večjih vsebnostih utekočinjenega lesa (Ugovšek in sod., 2010).

Raziskovali so vpliv časa in temperature stiskanja na strižno trdnost lepilnih spojev iz utekočinjenega lesa. Z lepljenjem pri 200 °C in 220 °C so bile strižne trdnosti podobne (6,58 in 6,64 N/mm²), medtem ko je bila trdnost z lepljenjem pri 180 °C nekoliko nižja (5,96 N/mm²). Na drugi strani je daljši čas stiskanja pripomogel k višji strižni trdnosti spojev. Pri 12, 15 in 18 minutnem stiskanju (6,54 , 6,12 in 6,34 N/mm²) so bile znatno višje strižne trdnosti kot pri 6 in 9 minutnem stiskanju (1,53 N/mm² in 4,37 N/mm²) (Ugovšek in Šernek, 2010).

Kranjec (2010) je ugotovil, da je strižna trdnost lepilnih spojev izdelanih z lepilom iz utekočinjenega lesa v odvisnosti od časa zelo hitro padala. Utekočinjen les je z dodatkom melamin-urea-formaldehidnega lepila močno pridobil tako na strižni trdnosti, kot tudi na trajnosti lepilnega spoja.

Izdelana so bila nova lepila na osnovi utekočinjenega lesa v kombinaciji z melaminskimi smolami. Lepilo so pripravili iz utekočinjenega lesa – poliestra in melaminske smole v

razmerju 1: 1. Zlepljenim preizkušancem so nato določili natezno strižno trdnost lepilnih spojev. Po standardu o razvrstitvi duromernih lepil za les za nekonstrukcijsko uporabo za razred C1 sta lepilni mešanici iz melaminske smole ter utekočinjenega lesa zadovoljili zahteve standarda, medtem ko zahtev razreda C2 ni dosegla nobena smola (Cesar, 2007).

2.2.4.2 Epoksi smole

Kadar utekočinjen les reagira z epoksi spojinami, dobimo nove vrste smol. Kobayashi in sod., (2000) so proučili pogoje utrjevanja in lastnosti dobljenih produktov. Les so utekočinjali z mešanico polietilen glikola in glicerola ter dodatkom katalizatorja H_2SO_4 . Epoksi komponente, ki so jih izbrali, so bile tetraeten glikol diglicidil eter (TEGDGE), dieten glikol diglicidil eter (DEGE), eten glikol diglicidil eter (EGDGE) in diglicidil eter bisfenola A (DGEBA). Utrjevalec je bil trieten tetramin (TETA). Pod pogoji, ki so jih spreminjali, so dobili smole, za katere so ugotovili, da so se njihove lastnosti izboljšajo s povišanjem deleža utekočinjenega lesa.

Za izdelavo epoksi smol so les utekočinjali tudi z rezorcinolom in sicer s katalizatorjem (H_2SO_4) in brez njega. Utekočinjenemu lesu so dodali epiklorohidrin in smolo sintetizirali po že znanem postopku izdelave epoksi smol. Tako izdelane smole so izkazale dobre mehanske in adhezivne lastnosti (Kishi in sod., 2006).

2.2.4.3 Fenol-formaldehidne smole

Če les utekočinimo s fenolom v kislem mediju in mu dodamo formaldehid, dobimo odlično novolak smolo. Prednost te sinteze je, da formaldehid deluje tako, da v smoli nimamo nezreagiranega fenola. Obnašanje teh smol je v tekočem stanju podobno obnašanju komercialne novolak smole. Mehanske lastnosti utrjenih produktov iz utekočinjenega lesa fenol-formaldehidnih smol celo prekašajo komercialne fenolne smole (Tišler, 2002).

Če les utekočinimo s fenolom v alkalnem mediju in mu dodamo formaldehid, dobimo rezol smole, ki so dokaj viskozne. Pene, ki so jih izdelali iz takšne smole, so imele večjo gostoto v primerjavi s penami, izdelanimi iz komercialnih rezol smol. Prav tako so imele tudi boljše mehanske lastnosti. Da bi zmanjšali gostoto pene, so smolo iz utekočinjenega lesa mešali s komercialno rezol smolo, vendar so se ob tem poslabšale mehanske lastnosti (Lee in sod., 2002).

2.2.4.4 Poliestri

Utekočinjen les je bil uporabljen kot komponenta v sintezi poliestrov zaradi velikega števila hidroksilnih skupin, ki so na voljo v utekočinjenem lesu. Uporabljen je bil kot nadomestni del za polihidroksi alkohole, ki so običajno surovina za formulacijo poliestrov. Poliestri so bili pripravljeni pod standardno visoko temperaturno polikondenzacijskimi pogoji z uporabo utekočinjenega lesa kot surovine. Dvig povprečne molske mase je bil dosežen z zmanjšanjem vsebnosti hidroksilnih skupin. Taka modifikacija reaktivnosti poliestrov in njihova zapletenost sta ugodni za nadaljnjo uporabo v sintezi poliuretanov.

Končna OH vrednost poliestrov je bila v dosegu nasičenosti poliestrov, ki se uporabljajo za izdelavo poliuretana. Uporaba utekočinjenega lesa v tem eksperimentu je nadomestila do 23 % polihidroksi alkoholov za formulacijo poliestrov. Omenjena vrednost se lahko razlikuje glede na zahteve in bi lahko bila dodatno izboljšana (Kunaver in sod., 2009).

2.3 MELAMIN-UREA FORMALDEHIDNA (MUF) LEPILA

Osnovni sestavini MUF lepila so melamin, urea ali sečnina in formaldehid. Kemijska reakcija je kondenzacija pri kateri poteka spajanje molekul sestavin z istočasnim odcepom enostavnih snovi (vode).

2.3.1 Kemizem melamin-urea formaldehidnega (MUF) lepila

Utrjevanje MUF lepila je sestavljeno iz kemijskega in fizikalnega procesa. Kemijski proces je nadaljevanje v izdelavi lepila zaustavljene reakcije, to je reakcija kondenzacije. Fizikalni pa odparevanje hlapnih komponent, predvsem vode. Pri pripravi in lepljenju z melamin-urea-formaldehidnimi lepili se sprošča formaldehid.

MUF lepila utrjujejo po principu polikondenzacije in jih uvrščamo v skupino aminoplastov, ki so polimerni produkti reakcije aldehydov s snovmi, ki vsebujejo NH_2 in NH skupine. Pri aminoplastih so pomembne predvsem amidne skupine pri urei in melaminu. Uporabljeni aldehyd pri teh lepilih je navadno formaldehid (Resnik, 1989).

2.3.2 Lastnosti MUF lepila

Pri pripravi in lepljenju z melamin-urea-formaldehidnimi lepili se sprošča formaldehid. Zaradi visoke cene melamina je glavno vodilo pri sintezi MUF lepil v industriji, da vedno uporabijo samo toliko melamina kot je potrebno, vendar najmanj kolikor je možno. Odstotek melamina v MUF lepilih navadno variira med nekaj odstotki in 25 %. Že majhni deleži melamina z UF lepilom izjemno izboljšajo strižno trdnost lepilnega spoja in njegovo odpornost proti vodi (Šernek in Kutnar, 2009).

2.4 OPAŽNE PLOŠČE

Za izdelavo opažnih plošč se uporablja žagan les in kratice smreke in jelke ter suhe letve. Žagan les se naletviči, ter naravno in umetno suši na 8 – 12 % vlažnosti. Letve se zlepi s polivinilacetatnim lepilom v enojne širinsko spojene plošče. Po širinskem lepljenju se enoslojne plošče skoblja, krpa, kita in površinsko obdelava z melamin-urea-formaldehidnim premazom (mešanica lepilne smole, trdilca, vode, pigmenta in olja) s postopkom valjčnega nanašanja. Sledi sušenje premaza v sušilniku, nato pa se tako pripravljeno ploščo s tračno žago razpolovi po debelini. Na s premazom neobdelano površino plošče se nanese melamin-urea-formaldehidno (MUF) lepilo (brez olja in pigmentov), nato se sestavi srednji sloj in okvirne letve ter doda drugo polovico oplate. Sledi lepljenje plošče po debelini v

več etažni stiskalnici z avtomatskim polnjenjem in praznjenjem. Plošče se nato obžaga in stranske površine (robove) zaščiti s fasadno barvo. Po vsem tem se plošče še razvrsti po kvaliteti in zloga v zložaje.

2.4.1 Lastnosti opažnih plošč

Z leti razvoja gradbenih tehnik so pričeli iskati nove izdelke za zamenjavo žaganega lesa pri betonskem opažanju. Kot zelo primeren se je pokazal vezan les. Prve furnirne plošče za opažanje so leta 1940 proizvedli na Finskem. Površina teh plošč je bila impregnirana z oljem, robovi pa zaščiteni s premazi, ki so preprečevali vdor vlage med furnirne liste.

Danes se proizvajajo opažne plošče za potrebe gradbeništva v dveh izvedbah. Začetno izvedbo predstavljajo troslojne plošče. Le-te so sestavljene iz navzkrižno zlepljenih elementov smrekovega ali jelovega lesa, enakomerne in goste strukture. Zunanja sloja sta izdelana iz širinsko zlepljenih lamel, ki potekajo v vzdolžni smeri. Srednji sloj je iz prečno položenih letvic, ob straneh pa ga zapirajo čelne in vzdolžne robne letve. Kot opažne plošče pa se uporabljajo tudi večslojne vezane plošče. Površina je premazana s specialnim opažnim oljem ali impregnirana s fenolnimi smolami. Plošče lepimo z lepili, odpornimi proti vodi, robove pa zposebno zaščitimo s kovinskimi T-profilami ali premazi, odpornimi proti vodi. Dimenzije plošč so prilagojene potrebam v gradbeništvu, površinska gostota pa znaša 10 do 12 kg/m². Opažne plošče vzdržijo velike obremenitve, odporne so proti betonskim alkalijam, površinska obdelava omogoča izvedbo ravnih betonskih površin, opažanje pa je hitro in enostavno ter zato tudi cenejše. Uporabljamo jih lahko tudi večkrat (ob pravilnem vzdrževanju in obnavljanju premaza 30 do 90 krat), posebno pri stropnem in stenskem opaževanju na malih in velikih površinah, pri opaževanju betonskih stebrov, podpornikov, mostov, galerij, silosov in drugih konstrukcij (Čermak, 1996).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

Pri raziskavi smo uporabili več opažnih plošč iz smrekovega in jelovega lesa, ki so bile zlepljene z različnimi lepilnimi mešanici. Za pripravo lepilne mešanice smo uporabili melamin-urea-formaldehidno (MUF) lepilo, utekočinjen les izdelan v podjetju Gozdno Gospodarstvo Postojna, utrjevalec in moko.

3.1.1 Les smreke

Smreka (*Picea Abies* Karst) je avtohtona drevesna vrsta v severni Evropi in v gorovjih srednje Evrope, vendar se je zaradi gospodarjenja z gozdovi razširila po vsem kontinentu. Beljava in jedrovina se barvno ne ločita. Les je večinoma rumenkastobel, v starosti tudi rumenkastorjav. Les je mehek in srednje gost (gostota ρ_0 300...430...640 kg/m³). Smrekovina je elastična in trdna, suši se brez težav, lahko se cepi in lepo se lušči. Les je le malo nagnjen k zvijanju in pokanju in se z lahkoto obdeluje z ročnimi orodji ali strojno. Smrekovina je zelo podobna jelovini. Glavni znak za ločevanje obeh vrst so smolni kanali, ki jih ima samo smrekovina (na zglateni prečni površini se aksialni smolni kanali z lupo lepo vidijo kot svetle pike) (Čufar, 2006).

Smrekovina je naprodaj kot hlodovina, žagan les in furnir. Njena uporaba je zelo raznovrstna in množična. Poseben pomen ima kot gradben in konstrukcijski les za visoke in nizke gradnje, ter za notranjo opremo. Uporablja se za ostrešja in konstrukcije stavb, za mostovne, za rudniške in ogrodne konstrukcije, stene, strope, stopnice, okna, fasade, vrata, tla, balkone, betonske opaže itd. Primerna je tudi za proizvodnjo lesnih tvoriv, kot tudi za proizvodnjo celuloze in papirja. Pogosto se uporablja za pohištvo (Čufar, 2006).

3.1.2 Les jelke

Jelka (*Abies alba* Mill.) je drevo gorskega mešanega gozda srednje in južne Evrope. V primerjavi s smreko je manj razširjena. Za rast potrebuje relativno veliko vlage in toplote ter je občutljiva na nizke zimske temperature in pozne pozebe. Beljava in jedrovina se barvno ne ločita. Les je rumeno bel do skoraj bel, pogosto s sivkastim ali modrikastim tonom. Zaradi pogoste prisotnosti mokrega srca lahko pride do rahlega obarvanja. Les jelke je brez normalnih smolnih kanalov. Les je mehek in srednje gost (gostota ρ_0 320...410...710 kg/m³). Trdnost jelovine se ne razlikuje bistveno od trdnosti smrekovine, tako da sta enakovredni pri uporabi za nosilne elemente. Jelovina se zmerno krči. Poleg tega je jelovina elastična in upogljiva. Je neoporna proti škodljivcem, zato nezaščiten ni primerna za uporabo na prostem (Čufar, 2006).

Na trgu ponujajo jelovino kot hlodovino, žagan les in luščen furnir. Uporabljamo jo za enake namene kot smrekovino, primernejša od smrekovine pa je za: lesene kontejnerje

(embalažo), za kemijsko industrijo zaradi odsotnosti smole in večje odpornosti proti kislinam in bazam. Enako kot smrekovina se veliko uporablja za gradbeni les in konstrukcije. Površinsko obdelana jelovina je primerna za okna, vrata in stenske opaže. Pomembna je za proizvodnjo lesnih tvoriv (Čufar, 2006).

3.1.3 Lepilna mešanica

Za izdelavo lepilne mešanice smo uporabili: melamin-urea-formaldehidno (MUF) lepilo (Meldur H97), utrjevalec (AF 3,3), utekočinjen les (proizveden v podjetju Gozdno Gospodarstvo Postojna) in moko. Za vsako kombinacijo lepila smo izdelali po dve opažni plošči.

3.1.3.1 Melamin-urea-formaldehidno lepilo

Uporabili smo MUF lepilo, tip Meldur H97 iz Melamin-a Kočevje. V preglednici 1 so prikazane specifikacije lepila.

Preglednica 1: Specifikacije lepila Meldur H97

Lastnost	Vrednost
Suha snov:	$(63 \pm 2) \%$
Viskoznost oz. iztočni čas:	80 s – 200 s
Prosti HCHO:	Maks. 0,5 %
Vrednost pH:	9,2 – 9,5
Stabilnost pri 20 °C:	2 meseca
Pogoji za utrjevanje lepila:	
Temperatura stiskanja:	125 °C – 135 °C
Tlak stiskanja:	1,8 N/mm ² – 2,5 N/mm ²
Odprti čas (pri 25 °C):	15 min – 30 min

3.1.3.2 Utekočinjen les

Za pripravo utekočinjenega lesa so v podjetju Gozdno Gospodarstvo Postojna, d.o.o. uporabili les smreke (*Picea Abies* Karst) in les jelke (*Abies alba* Mill.). Kot reagent za utekočinjenje sta bila uporabljena in dietilenglikol (HOCH₂CH₂)₂O in glicerol. Kot katalizator je bila uporabljena p-toluensulfonska kislina (pTSA).

Razmerje med lesom in reagenti je bilo 1 : 2. Razmerje med glicerolom in dietilenglikolom pa 7 : 3. Katalizatorja p-toluensulfonske kisline (pTSA) pa je bilo 3 % glede na maso glikolov. Pri temperaturi 150 °C sta bila v reaktor dodana glikola in katalizator, pri temperaturi 180 °C pa še les. Reakcija je potekala 90 min pri temperaturi 180 °C. Filtriranje ni bilo uporabljeno po zaključku reakcije.

3.2 METODE

3.2.1 Sestava lepilne mešanice

Za lepljenje smo uporabili različne mešanice, ki so imele različno razmerje med utekočinjenim lesom in MUF lepilom (Preglednica 2). Izdelali smo 5 lepilnih mešanic z namenom ugotavljanja učinkovitosti različnih kombinacij:

- X delov MUF lepila H97 + Y delov utekočinjenega lesa ($X + Y = 100$);
- Temu smo dodali 1,5 dela utrjevalca (AF 3,3) in 6 delov moke.

Preglednica 2: Izdelane lepilne mešanice za lepljenje opažnih plošč

Lepilna mešanica	Melamin-urea-formaldehidno lepilo	Utekočinjen les
MUF100/UL 0	100 delov	0 delov
MUF 90/UL 10	90 delov	10 delov
MUF 80/UL 20	80 delov	20 delov
MUF 70/UL 30	70 delov	30 delov
MUF 60/UL 40	60 delov	40 delov

3.2.2 Sestava opažnih plošč

Izdelali smo opažne plošče iz smrekovih oziroma jelovih lamel. Sestava je bila enaka kot pri klasičnih opažnih ploščah (dva zunanja sloja iz širinsko lepljenih lamel in srednji iz letvic, ki so uokvirjene). Za vsako kombinacijo lepila smo izdelali po dve opažni plošči. Skupaj smo izdelali deset plošč. Plošče so bile dimenzij 500 mm × 500 mm × 27 mm.

Ker smo v sklopu raziskave imeli za primerjavo tudi referenčni opažni plošči iz podjetja Gozdno Gospodarstvo Postojna, d.o.o., smo parametre lepljenja uskladili s tistimi, ki jih uporabljajo v omenjenem podjetju. Parametri lepljenja so bili naslednji:

- Nanos lepilne mešanice: 230 g/m²
- Specifični tlak stiskanja: 10 bar
- Temperatura stiskanja: 135 °C
- Čas stiskanja: 7 min

3.2.3 Nanos lepila in lepljenje opažnih plošč v klasični vroči stiskalnici

Nanos lepila je bil 230 g/m^2 , nanos za posamezen lepilni spoj pa smo preračunali s formulo za nanos lepila (1). Samo lepilno mešanico smo nanašali z nanašalnim valjem, nanos pa preverjali z elektronsko tehtnico za pripravo želene lepilne mešanice.

$$d = \frac{m}{S} \rightarrow m = d \times S$$

$$(1) \quad m = 230 \text{ g/m}^2 \times \left(\frac{500 \times 500}{10^6} \right) \text{ m}^2 \quad \dots$$

$$m = 57,5 \text{ g}$$

d ... količina nanosa lepila [g/m^2]

m ... masa lepila [g]

S ... lepilna površina [m^2]

Sledila je priprava in nanos lepila na širinsko zlepljenje lamele. Po sestavi opažne plošče, smo slednjo takoj vstavili v klasično vročo stiskalnico, ter jo zaprli s specifičnim tlakom 10 barov. Da smo dosegli takšen tlak stiskanjem, smo morali predhodno nastaviti tlak olja, kar smo izračunali s formulo (2). Temperaturo stiskanja smo nastavili na $135 \text{ }^\circ\text{C}$. Poleg tega, smo merili zraven še temperaturo lepilnega spoja v opažni plošči in temperaturo plošče stiskalnice.

$$S_{\text{lepljenja}} \times p_{\text{lepljenja}} = S_{\text{bata}} \times p_{\text{olja}}$$

$$\dots (2) \quad (0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}) \times 10 \text{ bar} = p_{\text{olja}} \times \frac{\pi \times 0,159 \text{ m}^2}{4}$$

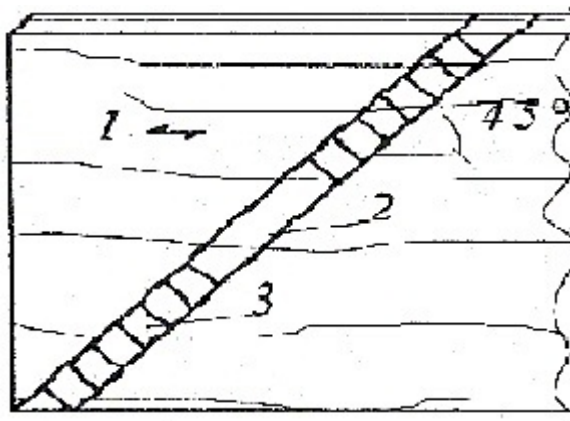
$$p_{\text{olja}} = 124 \text{ bar}$$

3.2.4 Izdelava preizkušancev za testiranje lepilnih spojev

3.2.4.1 Standardna metoda za ugotavljanje kakovosti zlepljenosti masivne lesne plošče

Za preizkušanje kakovosti zlepljenosti opažnih plošč bi načeloma potrebovali po standardu SIST-TS CEN/TS 13354:2004 vsaj 10 plošč za vsako kombinacijo lepilne mešanice. Na voljo smo imeli manj plošč, zato smo se odločili, da za posamezno lepilno mešanico uporabimo 2 plošči, kar nam je omogočalo manjšo testno skupino in posledično statistično manj zanesljive rezultate.

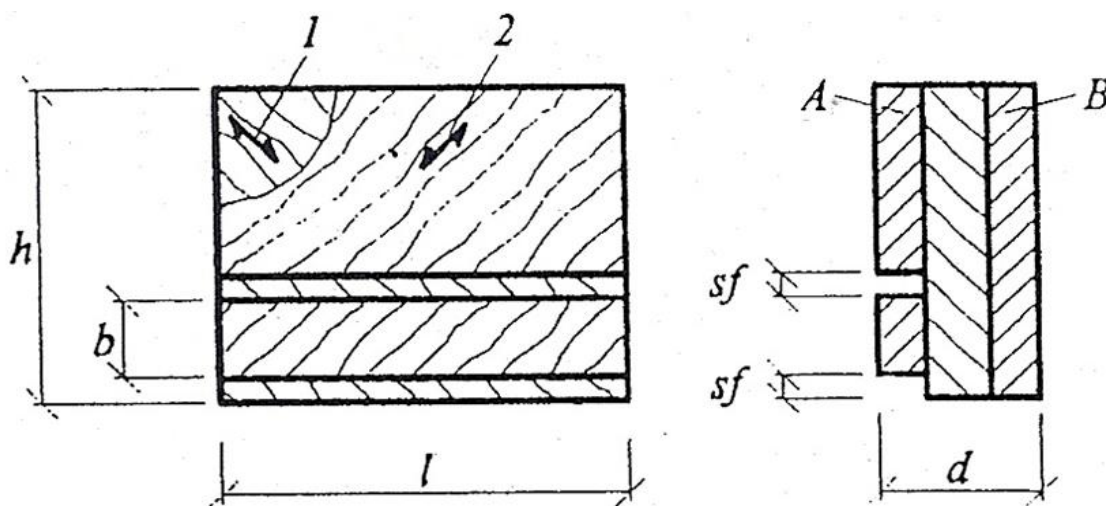
Plan razžagovanja je bil narejen tako, da so bili preizkušanci odvzeti tako iz obeh bližin kotov opažne plošče, kot tudi iz njenega središča (slika 1).



Slika 1: Plan razžagovanja za preizkušance iz večslojne masivne lesne plošče (SIST-TS CEN/TS 13354, 2004)

- 1...smer poteka lesnih vlaken
- 2...vzorec traku
- 3...testni vzorec

Oblika in dimenzije preizkušancev so bi bile, kot je prikazano na naslednji skici (slika 2). Za masivne lesne plošče s tremi sloji naj bi bila na posameznem vzorcu izžagana dva vzporedna utora natanko do lepilnega spoja.



Slika 2: Preizkušanci za ugotavljanje kakovosti zlepljenosti za trislojne lesne plošče (SIST-TS CEN/TS 13354, 2004)

- l...strižna dolžina testnega vzorca: 50 mm
- h...višina testnega vzorca: 40 mm

- b...strižna širina: 10 mm
- sf...širina žaganih utorov
- d...debelina testnega vzorca
- 1...usmeritev vlaken na dnu utora
- 2...usmeritev vlaken na površini vzorca

Po standardu SIST-TS CEN/TS 13354:2004 smo imeli tri izpostavitvene režime za preizkušance, kot je prikazano v preglednici 3.

Preglednica 3: Izpostavitveni režimi za masivne lesne plošče namenjene za rabo v suhih, vlažnih in zunanjih pogojih

Izpostavitveni režimi	Pogoji		
Za uporabo v suhih pogojih	24 ur hladna voda (20 °C)		
Za uporabo v vlažnih pogojih		6 ur kuhanja, min. 1h hlajenja v vodi (20 °C)	
Za uporabo v zunanjih pogojih			4 ure kuhanje – 16 do 20 ur sušenja pri 60 °C – 4 ure kuhanja – 1 uro hlajenja v vodi pri 20 °C

Sledilo je testiranje preizkušancev na trgalnem stroju, pri čemer morajo biti po standardu doseženi nekateri pogoji:

- Imeti moramo testirni stroj z orodjem za vpetje strižne površine.
- Stroj mora biti sposoben vzdrževanja enake hitrosti pri samem preizkusu.
- Natančnost merjenja zadnje obremenitve mora biti boljša od $\pm 2 \%$.

3.2.4.2 Izdelava preizkušancev

Sledila je izdelava preizkušancev. Odločili smo se, da iz vsake plošče izdelamo 36 preizkušancev, pri čemer smo za spodnji in zgornji lepilni sloj plošče izdelali 18 preizkušancev. Ker smo testne vzorce uporabili pri treh izpostavitvenih režimih, smo se odločili, da izberemo za vsak režim po 6 preizkušancev iz vsakega lepilnega spoja, skupaj 12 preizkušancev iz iste plošče. Skupaj smo izdelali 360 preizkušancev. Za primerjavo pa smo imeli poleg laboratorijsko izdelanih opažnih plošč tudi dve referenčni opažni plošči izdelani v podjetju Gozdno Gospodarstvo Postojna, d.o.o. Na isti način smo iz njih naredili še 72 preizkušancev.

Preizkušanci za ugotavljanje strižne trdnosti lepilnega spoja so bili izdelani po standardu SIST-TS CEN/TS 13354:2004. Preizkušanci so bili dolgi 50 mm, visoki 40 mm, ter debeline 27 mm. Najprej smo izdelali trak iz opažne plošče, ki je potekal po diagonali od enega do drugega roba opažne plošče. Trak smo na formatnem krožnem žagalnem stroju razžagali na testne vzorce podanih dimenzij. Strižna površina je bila dolga 50 mm in široka 10 mm. Strižna površina je bila izdelana tako, da smo v predpisanih razdaljah zažagali dva vzporedna utora, ki sta bila široka 3 mm in globoka do lepilnega spoja (slika 3).



Slika 3: Zažagovanje utorov do lepilnega spoja

3.2.5 Testni vzorci v izpostavitvenih režimih

3.2.5.1 Režim za uporabo opažnih plošč v suhih pogojih

Sledila je izpostavitvev preizkušancev standardnim pogojem. Začeli smo s prvimi pogoji, ki so vključevali 24 urno namakanje v hladni vodi (20 °C). Kopel smo pripravili v plitvi posodi, ter vanjo potopili preizkušance. Tako za potopitev pri tem režimu, kot tudi za druge izpostavitvene režime, smo posamezno uporabili 144 preizkušancev. Zatem je sledilo takojšnje vpetje preizkušanca v orodje trgalnega stroja (slika 4), ter testiranje na trgalnem stroju Zwick Z100 po standardu SIST-TS CEN/TS 13354:2004.



Slika 4: Vpetje preizkušanca v pomožno orodje trgalnega stroja Zwick Z100

3.2.5.2 Režim za uporabo opažnih plošč v vlažnih pogojih

Za uporabo opažnih plošč v vlažnih pogojih je potrebno preizkušance pred testiranjem 6 ur kuhati pri 100 °C. Preizkušance smo postavili v kuhalno kletko, jo zaprli, potopili v vrelo vodo laboratorijskega kuhalnika »Kambič«, ter obtežili s kovinskimi utežmi (slika 5).



Slika 5: Potopljene preizkušanci (levo) in laboratorijski kuhalnik »Kambič« (desno)

Po opravljenem kuhanju preizkušancev je sledilo še 1 urno hlajenje v vodni kopeli, pri temperaturi vode 20 °C. Takoj po zaključeni pripravi preizkušancev smo pričeli s testiranjem na trgalnem stroju Zwick Z100, po podanih pogojih iz standarda.

3.2.5.3 Režim za uporabo opažnih plošč v zunanjih pogojih

Sledila je še izpostavitven preizkušancev najostrejšemu režimu, ki je predviden za uporabo opažnih plošč v zunanjih pogojih. Tudi v tem primeru smo imeli 144 preizkušancev izdelanih iz opažnih plošč. Preizkus se je začel z 4 urnim kuhanjem preizkušancev pri temperaturi vode 100 °C. Za kuhanje smo prav tako kot pri prejšnjem izpostavitvenemu režimu uporabili laboratorijski kuhalnik »Kambič«, ter kletko v katero smo položili testne vzorce. Po končanemu kuhanju je sledilo sušenje preizkušancev v sušilniku pri 60 °C (slika 6) in je trajalo 20 ur. Testne vzorce smo po končanemu sušenju potopili v vodno kopel pri temperaturi 20 °C. Hlajenje preizkušancev v vodni kopeli je trajalo 1 uro. Takoj zatem smo pričeli z testiranjem preizkušancev na trgalnem stroju Zwick Roell Z100.



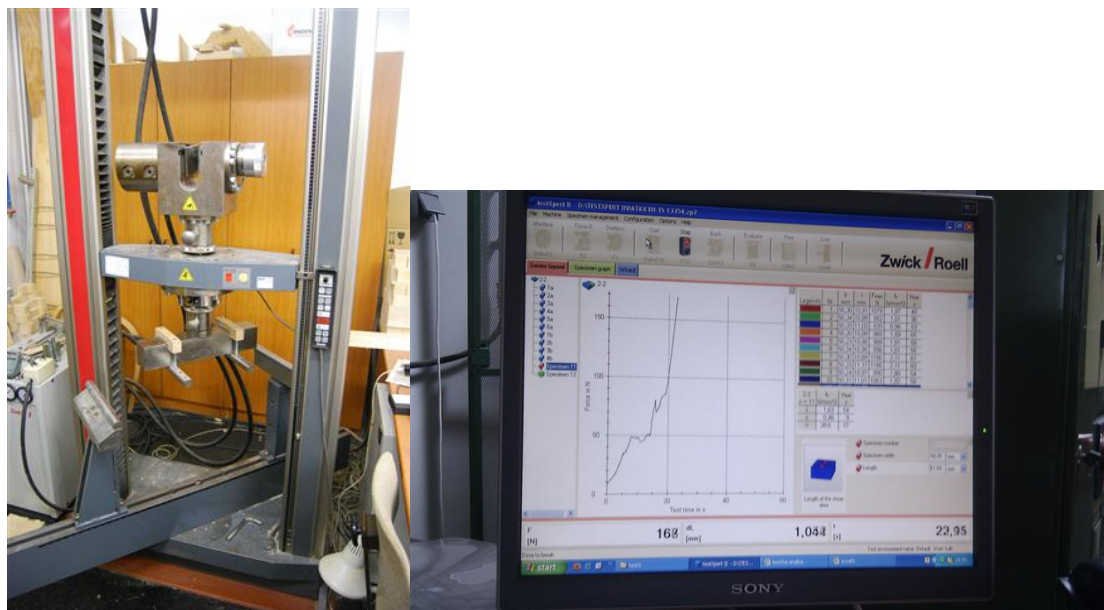
Slika 6: Laboratorijski sušilnik za les

3.2.6 Testiranje strižne trdnosti lepilnih spojev

Testiranje strižne trdnosti je potekalo na testirnem stroju Zwick Roell Z100 (slika 7), opremljenim z orodjem za vpenjanje preizkušancev. Delovanje stroja je podprto z računalniško programsko opremo.

Za vsak izpostavitveni režim smo testirali 144 preizkušancev, skupno 432. Testiranje smo izvedli preko programske opreme »testXpert II« (slika 7), ki podpira testirni stroj. Vsakemu preizkušancu smo pred testiranjem z digitalnim kljunastim merilom izmerili dolžino in širino strižne ploskve, ter podatke vnesli v računalniški program. Sledilo je vpetje preizkušanca v orodje testirnega stroja, ter pozicioniranje orodja na sredino pritiskne ploskve stroja. S programsko opremo smo sprožili delovanje testirnega stroja, ki je tlačno obremenil vpet vzorec in strižno obremenil lepilni spoj do porušitve. Čas v katerem mora

priiti do porušitve znaša (60 ± 30) s od začetka obremenitve. Strižno trdnost je računalniški program izračunal s pomočjo formule (3).



Slika 7: Testirni stroj Zwick Roell Z100 (levo) in računalniški program testXpert II (desno)

$$f_v = F / (l \times b) \quad \dots (3)$$

F ... največja obremenitev (N)
l ... dolžina strižne ploskve (mm)
b ... širina strižne ploskve (mm)
 f_v ... strižna trdnost (N/mm^2)

Po končanem preizkusu smo zbrali rezultate, jih statistično uredili in izločili osamelce, katerih vrednosti kasneje nismo več uporabili. Za končni rezultat vsake kombinacije MUF lepila in utekočinjenega lesa smo podali 5 percentil povprečne strižne trdnosti f_v , $0,05$ izračunan po standardu EN 326-1. Poleg rezultata smo podali tudi povprečen delež loma po lesu.

4 REZULTATI Z RAZPRAVO

V raziskavi smo proučevali vpliv sestave lepilne mešanice iz MUF lepila in utekočinjenega lesa na kakovost zlepljenosti opažnih plošč. Proučevali smo tudi vpliv izpostavitvenih režimov na spremembo strižne trdnosti lepilnega spoja. Ker so bile sestave lepilnih mešanic v kombinaciji med MUF lepilom in utekočinjenim lesom različne, smo pričakovali, da bodo vplivale tudi na trdnost lepilnega spoja.

Raziskavo smo začeli z izdelavo opažnih plošč, ki so bile lepljene s petimi različnimi lepilnimi mešanicami. Slednje so bile sestavljene iz različnega razmerja med MUF lepilom in utekočinjenim lesom (100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40). Opažne plošče smo zaradi želje po boljši primerjavi z razpoložljivimi podatki zlepili v vroči stiskalnici pri istih parametrih kot jih uporabljajo za izdelavo opažnih plošč v podjetju Gozdno Gospodarstvo Postojna:

- Nanos lepilne mešanice: 230 g/m^3
- Specifični tlak stiskanja: 10 bar
- Temperatura stiskanja: $135 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Čas stiskanja: 7 min

Opažne plošče smo razžagali in izdelali preizkušance po standardu SIST-TS CEN/TS 13354:2004. Po omenjenem standardu so preizkušance izpostavili trem izpostavitvenim režimom:

1. režim za uporabo opažnih plošč v suhih pogojih,
2. režim za uporabo opažnih plošč v vlažnih pogojih,
3. režim za uporabo opažnih plošč v zunanjih pogojih.

Sledilo je ugotavljanje strižne trdnosti lepilnih spojev na testirnem stroju Zwick Roell Z100. Podatke smo statistično obdelali s pomočjo programske opreme, izločili osamelce in podali rezultate v obliki grafov in preglednic.

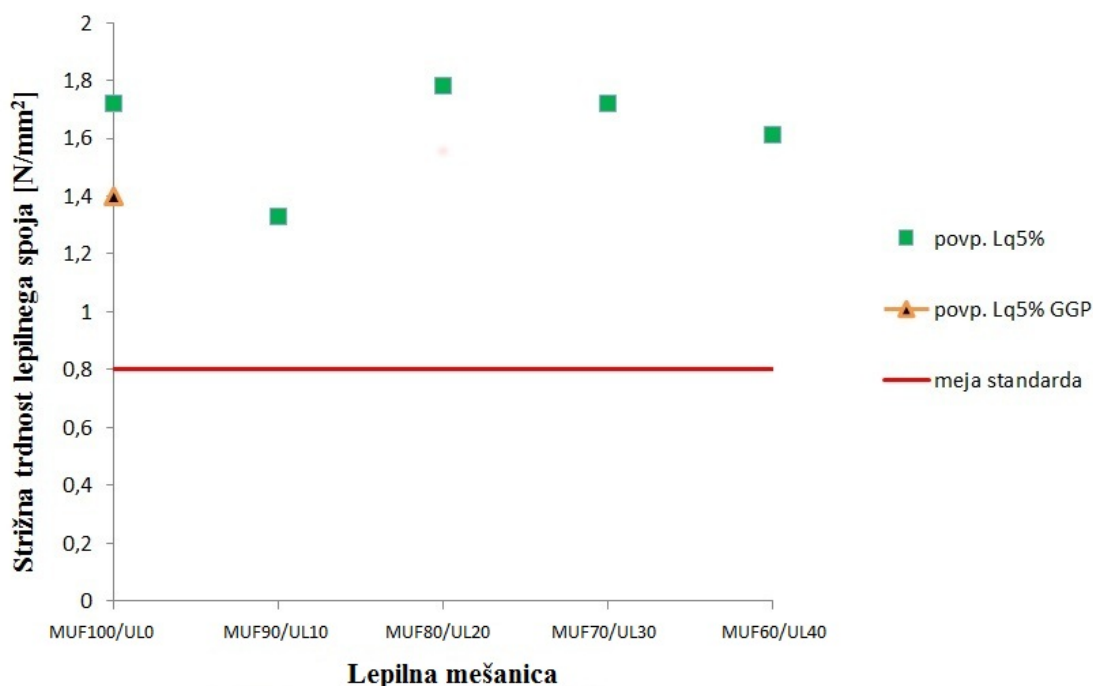
4.1 STRIŽNA TRDNOST LEPILNEGA SPOJA OPAŽNIH PLOŠČ NAMENJENIH ZA UPORABO V SUHIH POGOJIH

V preglednici 4 so prikazane povprečne vrednosti strižne trdnosti lepilnega spoja za vsako kombinacijo MUF lepila in utekočinjenega lesa, standardni odklon strižne trdnosti in povprečna ocena loma po lesu. Prikazani so tudi rezultati za lepilni spoj referenčnih opažnih plošč iz podjetja Gozdno Gospodarstvo Postojna, d.o.o. Poleg je podan tudi 5 percentil vsakega povprečja pri vsaki kombinaciji, kot predpisuje standard.

Preglednica 4: Povprečne strižne trdnosti lepilnih spojev, standardni odklon strižne trdnosti, povprečna ocena loma po lesu [%] in 5 percentil vsakega povprečja za opažne plošče namenjene uporabi v suhih pogojih

	Referenčna plošča GGP	MUF100/UL0	MUF90/UL10	MUF80/UL20	MUF70/UL30	MUF60/UL40
Povprečna strižna trdnost [N/mm ²]	2,12	2,55	2,57	2,60	2,79	2,56
Standardni odklon strižne trdnosti	0,387	0,465	0,670	0,461	0,593	0,523
Povprečna ocena loma po lesu	90,4	92,08	93,75	92,5	87,92	90
Lq 5% [N/mm ²]	1,40	1,72	1,33	1,78	1,72	1,61

Ugotovili smo, da za uporabo opažnih plošč v suhih pogojih vse lepilne mešanice, vključno z največjo vsebnostjo utekočinjenega lesa, ustrezajo zahtevam po standardu SIST-TS CEN/TS 13354:2004 (slika 8). Strižna trdnost lepilnih spojev se ni bistveno spreminjala glede na vsebnost utekočinjenega lesa v lepilni mešanici. Lepilni spoj z največjim deležem utekočinjenega lesa je imel nekoliko višjo strižno trdnost kot tisti iz referenčne plošče iz podjetja.



Slika 8: Strižna trdnost lepilnega spoja glede na lepilno mešanico pri opažnih ploščah namenjenih za uporabo v suhih pogojih

povp. Lq5% ... 5 percentil strižne trdnosti [N/mm²]

povp. Lq5 GGP ... 5 percentil strižne trdnosti opažne plošče iz podjetja GGP, d.o.o. [N/mm²]

meja standarda ... mejna strižna trdnost, ki jo določa standard

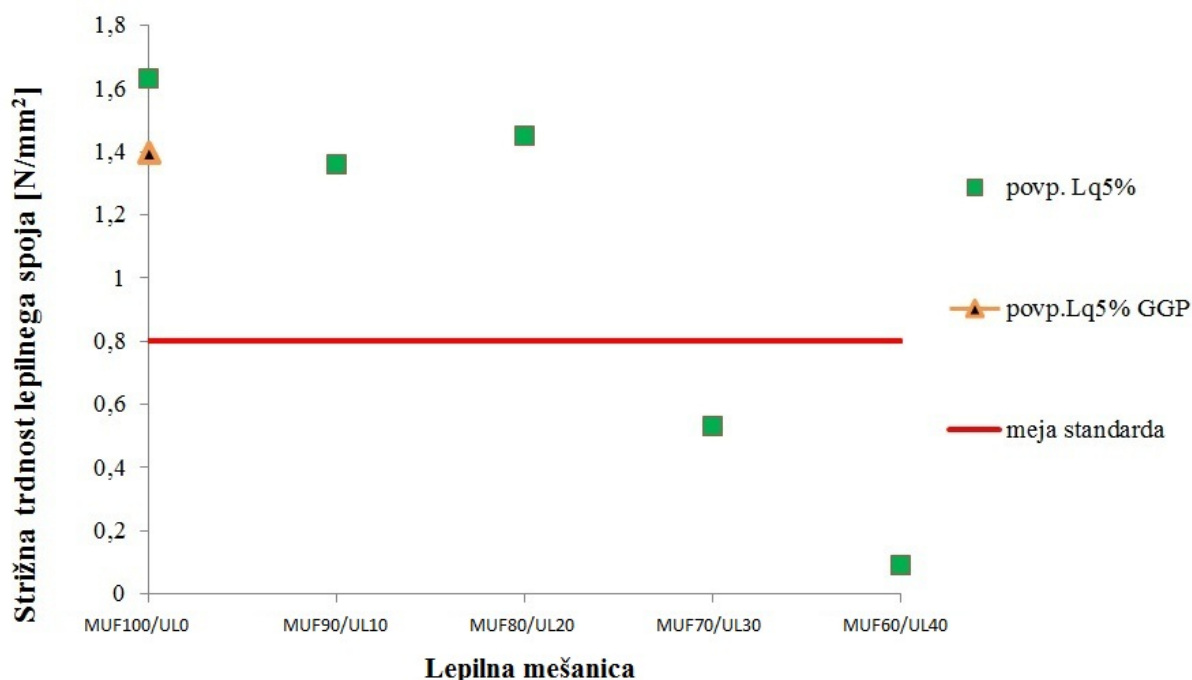
4.2 STRIŽNA TRDNOST LEPILNEGA SPOJA OPAŽNIH PLOŠČ NAMENJENIH ZA UPORABO V VLAŽNIH POGOJIH

V preglednici 5 so prikazane povprečne strižne vrednosti lepilnega spoja za vsako kombinacijo MUF lepila in utekočinjenega lesa, standardni odklon strižne trdnosti in povprečna ocena loma po lesu. Poleg je podan tudi 5 percentil vsakega povprečja pri vsaki kombinaciji, kot predpisuje standard. Z drugo barvo označeni rezultati ne dosegajo zahtev standarda.

Preglednica 5: Povprečne strižne trdnosti lepilnih spojev, standardni odklon strižne trdnosti, povprečna ocena loma po lesu [%] in 5 percentil vsakega povprečja za opažne plošče namenjene uporabi v vlažnih pogojih

	Referenčna plošča GGP	MUF100/UL0	MUF90/ UL10	MUF80/UL20	MUF70/UL30	MUF60/ UL40
Povprečna strižna trdnost [N/mm ²]	1,92	2,45	2,05	1,96	1,23	0,66
Standardni odklon strižne trdnosti	0,313	0,443	0,430	0,342	0,384	0,283
Povprečna ocena loma po lesu [%]	77,08	87,08	88,75	64,58	15	2,08
Lq 5% [N/mm ²]	1,40	1,63	1,36	1,45	0,53	0,09

Ugotovili smo, da so zahteve po standardu SIST-TS CEN/TS 13354:2004, ki narekuje, da mora 5 percentil strižne trdnosti ($f_{v, 0,05}$) dosegati 0,8 N/mm² ali več, če so opažne plošče namenjene za uporabo v vlažnih pogojih, dosegli lepilni spoji referenčne opažne plošče in laboratorijske opažne plošče, ki so bile lepljene z naslednjimi lepilnimi mešanici: MUF100/UL0, MUF90/UL10 in MUF80/UL20. Lepilni spoji opažnih plošč z višjim deležem utekočinjenega lesa (MUF70/UL30 in MUF60/UL40) pa niso ustrezali standardnim zahtevam.



Slika 9: Strižna trdnost lepilnega spoja glede na lepilno mešanico pri opažnih ploščah namenjenih za uporabo v vlažnih pogojih

povp. Lq5% ... 5 percentil strižne trdnosti [N/mm²]

povp. Lq5 GGP ... 5 percentil strižne trdnosti opažne plošče iz podjetja GGP, d.o.o. [N/mm²]
meja standarda ... mejna strižna trdnost, ki jo določa standard

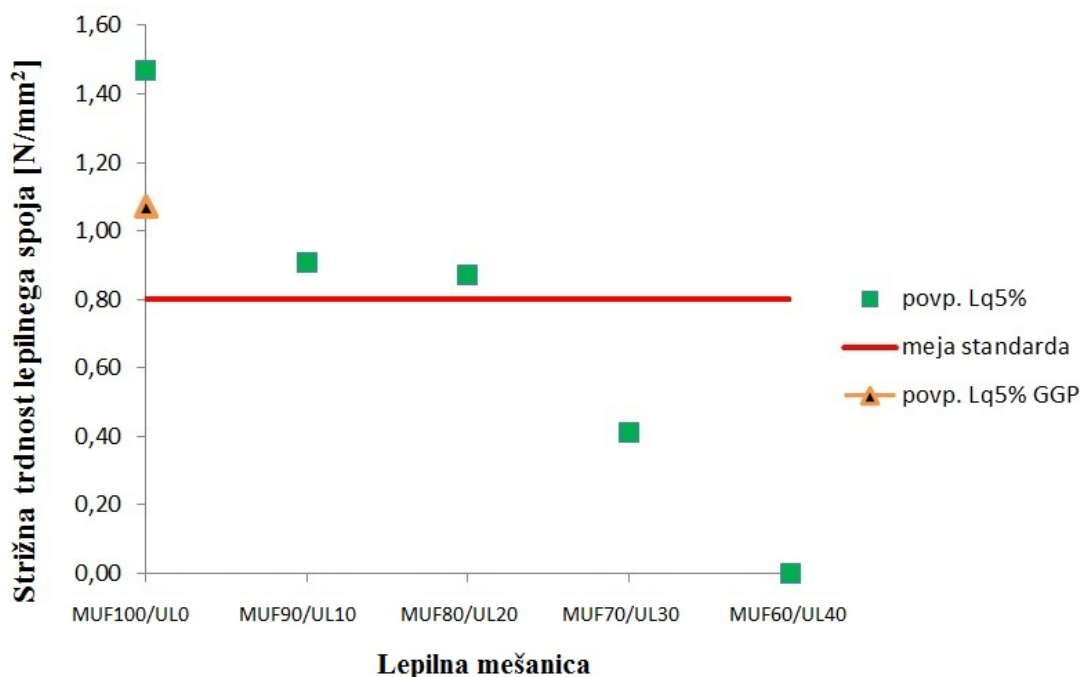
4.3 STRIŽNA TRDNOST LEPILNEGA SPOJA OPAŽNIH PLOŠČ NAMENJENIH ZA UPORABO V ZUNANJIH POGOJIH

Rezultati strižne trdnosti lepilnega spoja preizkušancev, ki so bili izpostavljeni režimu za uporabo opažnih plošč v zunanjih pogojih so predstavljeni v preglednici 6 in grafično prikazani na sliki 10. V rdeče obarvani rezultati v preglednici ne zadovoljujejo predpisanih zahtev standarda.

Preglednica 6: Povprečne strižne trdnosti lepilnih spojev, standardni odklon strižne trdnosti, povprečna ocena loma po lesu [%] in 5 percentil vsakega povprečja za opažne plošče namenjene uporabi v zunanjih pogojih

	Referenčna plošča GGP	MUF100/ UL 0	MUF90/UL10	MUF80/UL20	MUF70/UL30	MUF60/UL40
Povprečna strižna trdnost [N/mm ²]	1,87	2,26	1,99	1,56	0,91	0
Standardni odklon strižne trdnosti	0,430	0,427	0,603	0,382	0,483	0
Povprečna ocena loma po lesu [%]	88,33	88,75	74,58	54,16	0	0
Lq 5% [N/mm ²]	1,07	1,47	0,91	0,87	0,41	0

Glede na najostrejši režim priprave preizkušancev so bile strižne trdnosti lepilnih spojev še nekoliko nižje kot pri prejšnjih pripravah. Zahtevam za uporabo opažnih plošč v zunanjih pogojih so ustrezale referenčne opažne plošče in laboratorijske opažne plošče, ki so bile lepljene z naslednjimi lepilnimi mešanicami: MUF100/UL0, MUF90/UL10 in MUF80/UL20. Lepilni spoji opažnih plošč z višjim deležem utekočinjenega lesa (MUF70/UL30 in MUF60/UL40) pa niso ustrezali standardnim zahtevam, zato so podatki v preglednici označeni z drugo barvo.



Slika 10: Strižna trdnost lepilnega spoja glede na lepilno mešanico pri opažnih ploščah namenjenih za uporabo v zunanjih pogojih

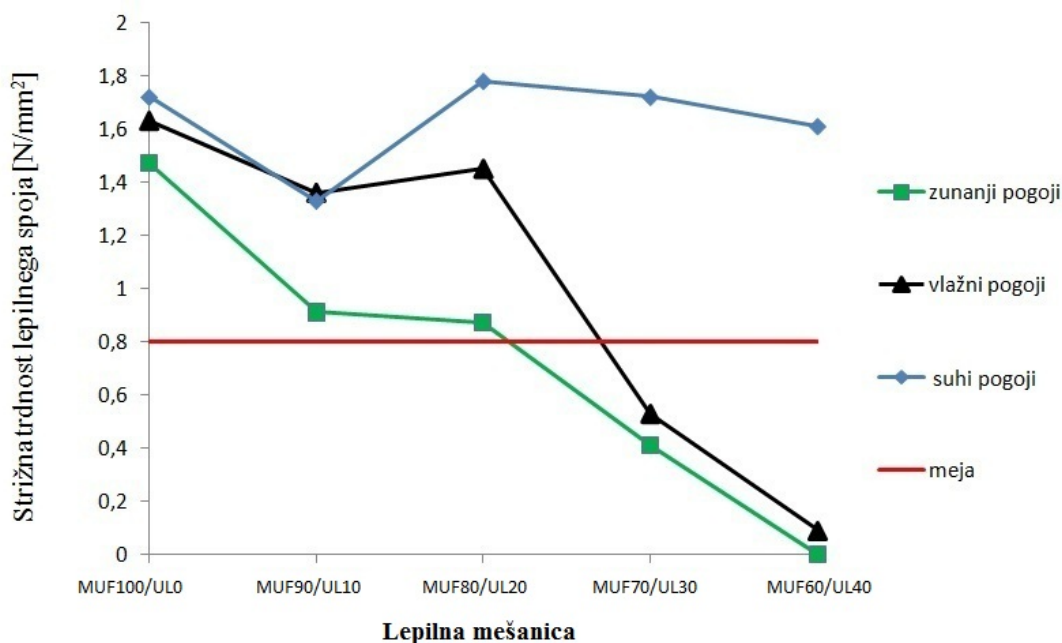
povp. Lq5% ... 5 percentil strižne trdnosti [N/mm²]

povp. Lq5 GGP ... 5 percentil strižne trdnosti opažne plošče iz podjetja GGP, d.o.o. [N/mm²]

meja standarda ... mejna strižna trdnost, ki jo določa standard

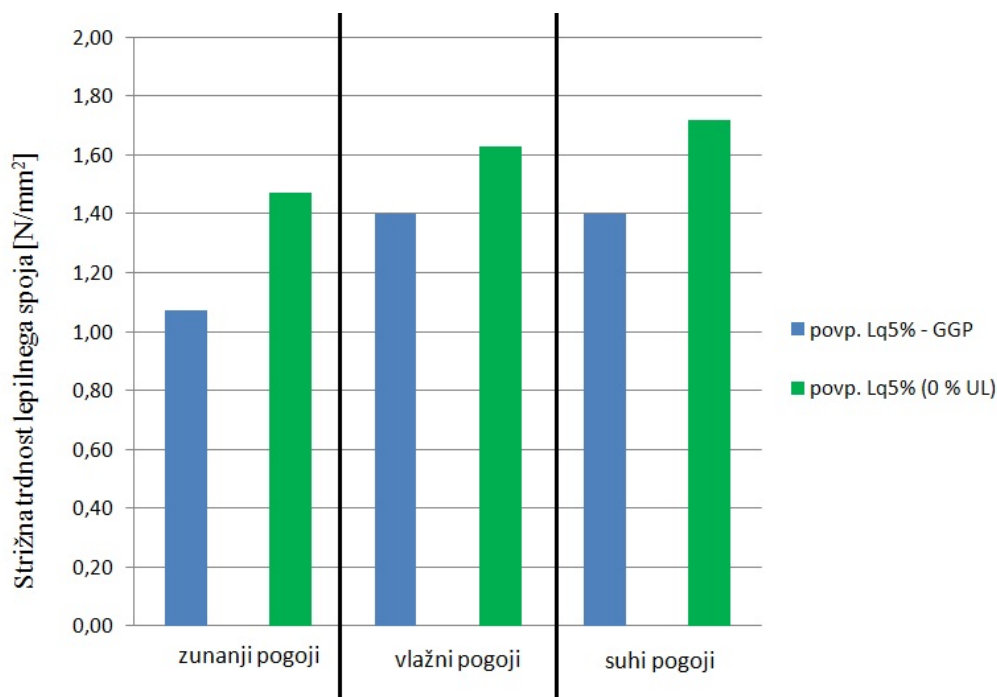
4.4 PRIMERJAVA STRIŽNE TRDNOSTI LEPILNEGA SPOJA PRI VSEH IZPOSTAVITVENIH REŽIMIJIH

Primerjava rezultatov strižne trdnosti lepilnega sloja preizkušancev iz vseh izpostavitvenih režimov je grafično predstavljena na sliki 11. Iz grafa je razvidno, da so zahteve standarda SIST-TS CEN/TS 13354:2004, po katerem mora strižna trdnost lepilnega spoja presegati mejno vrednost 0,8 N/mm² popolnoma zadovoljile vse proučevane lepilne mešanice, če so bili preizkušanci pripravljeni po pogojih, ki so predpisani za uporabo opažnih plošč v suhih pogojih, medtem ko so zahteve za uporabo opažnih plošč v vlažnih in zunanjih pogojih izpolnjevale lepilne mešanice MUF100/UL0, MUF90/UL10 in MUF80/UL20.



Slika 11: Primerjava strižne trdnosti lepilnih spojev opažnih plošč za vse pogoje uporabe glede na lepilno mešanico

Za primerjavo je na sliki 12 prikazana še strižna trdnost lepilnih spojev opažnih plošč iz omenjenega podjetja in laboratorijskih opažnih plošč, ki smo jih izdelali v naši raziskavi zgolj z MUF lepilno mešanico brez utekočinjenega lesa. Opažne plošče iz podjetja so izkazovale nekoliko nižjo strižno trdnost lepilnega spoja.



Slika 12: Primerjava strižne trdnosti lepilnih spojev opažne plošče iz GGP in laboratorijsko izdelane opažne plošče glede na namen uporabe.

Na osnovi rezultatov raziskave lahko zaključimo, da je utekočinjen les potencialno uporaben za izdelavo opažnih plošč tako za uporabo v suhih in vlažnih pogojih kot tudi za uporabo v zunanjih pogojih, če mu je dodano vsaj 80 % MUF lepila, da zagotovimo vodoodpornost. Predvidevamo, da bi lahko delež utekočinjenega lesa v mešanici z MUF lepilom še zvišali, vendar bi morali prilagoditi parametre stiskanja (višja temperatura stiskanja ali daljši čas stiskanja).

5 SKLEPI

Proučevali smo različne lepilne mešanice iz MUF lepila in utekočinjenega lesa pri lepljenju opažnih plošč. Vsebnost utekočinjenega lesa je glede na MUF lepilo znašala 0, 10, 20, 30 in 40 delov. Ugotavljali smo vpliv različnih izpostavitvenih režimov na strižno trdnost lepilnega spoja po standardu SIST-TS CEN/TS 13354:2004. Proučevali smo tudi strižno trdnost lepilnega spoja opažne plošče iz podjetja Gozdno Gospodarstvo Postojna, d.o.o. in jo primerjali z laboratorijsko izdelano opažno ploščo, ki je bila lepljena pri istih pogojih in z uporabo iste lepilne mešanice kot industrijska opažna plošča. Na osnovi rezultatov smo ugotovili, da:

- so vse proučevane lepilne mešanice ustrezale zahtevam standarda SIST-TS CEN/TS 13354:2004 za uporabo opažnih plošč v suhih pogojih. To pomeni, da lahko MUF lepilni mešanici dodamo tudi do 40 delov utekočinjenega lesa in dosežemo kakovostne lepilne spoje za suhe pogoje uporabe.
- so zahtevam standarda SIST-TS CEN/TS 13354:2004 za uporabo opažnih plošč v vlažnih pogojih ustrezale lepilne mešanice MUF100/UL0, MUF90/UL10 in MUF80/UL20. To pomeni, da lahko MUF lepilni mešanici dodamo tudi do 20 delov utekočinjenega lesa in dosežemo kakovostne lepilne spoje za vlažne pogoje uporabe.
- so zahtevam standarda SIST-TS CEN/TS 13354:2004 za uporabo opažnih plošč v zunanjih pogojih ustrezale lepilne mešanice MUF100/UL0, MUF90/UL10 in MUF80/UL20. To pomeni, da lahko MUF lepilni mešanici dodamo tudi do 20 delov utekočinjenega lesa in dosežemo kakovostne lepilne spoje za zunanje pogoje uporabe.
- je bila strižna trdnost lepilnih spojev opažnih plošč iz podjetja GGP, d.o.o. nižja od strižne trdnosti lepilnih spojev laboratorijskih opažnih plošč, ki so bile lepljene z enakim lepilom in pri enakih pogojih kot industrijske.

Glede na rezultate raziskave menimo, da lahko za izdelavo opažnih plošč uporabimo določen del utekočinjenega lesa namesto MUF lepila. Delež dodanega utekočinjenega lesa moramo prilagoditi glede na pogoje uporabe opažne plošče. Za vlažne pogoje in za zunanje pogoje uporabe lahko v lepilno mešanico vključimo tudi do 20 delov utekočinjenega lesa in s tem za tak del zmanjšamo količino MUF lepila. Uporaba takšne lepilne mešanice bo morda zanimiva ob dvigu cen umetnih smol. Raziskava je pokazala nove izzive in naloge, ki jih je potrebno podrobneje raziskati. Še večji delež utekočinjenega lesa v MUF lepilni mešanici lahko uporabimo, če so opažne plošče namenjene za suhe pogoje uporabe. Predvidevamo tudi, da bi s spremenjenimi parametri stiskanja plošč (višja temperatura ali daljši čas) lahko dosegli višjo strižno trdnost lepilnega spoja oziroma na ta račun povečali delež utekočinjenega lesa v MUF lepilni mešanici.

6 VIRI

- Cesar B. 2007. Lepila na osnovi utekočinjenega lesa za lepljen les. Diplomski naloga (visokošolski strokovni študij). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 42-44
- Čermak M. 1996. Furnirji in plošče. Ljubljana, Zveza društev inženirjev in tehnikov gozdarstva in lesarstva Slovenije, Lesarska založba: 47-48
- Čufar K. 2006. Anatomija lesa; študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 127-131
- Čuk N., Kunaver M. 2009. Les, 61, 4, 146-150
- Fengel D., Wegener G. 1984. Wood: chemistry, ultrastructure, reactions. Berlin, Walter de Gruyter: 613 str.
- Fengel D., Wegener G. 1989. Wood: chemistry, ultrastructure, reactions. Berlin, Walter de Gruyter: 319-344
- Jasiukaityte E., Kunaver M., Crestini C. 2010. Lignin behaviour during wood liquefaction – Characterization by quantitative ³¹P, ¹³C NMR and size-exclusion chromatography. *Catalysis Today*, 156: 23-30
- Kishi H., Fujita A., Miyazaki H., Matsuda S., Muramaki A. 2006. Synthesis of wood based epoxy resins and their mechanical and adhesive properties. *Journal of applied polymer science*, 102, 3: 2285-2292
- Kobayashi M., Asano T., Kajiyama M., Tomita B. 2004. Analysis on residue formation during wood liquefaction with polyhydric alcohol. *Journal of wood science*, 50, 5: 407-414
- Kobayashi M., Tukamoto K., Tomita B. 2000. Application of liquefied wood to a new resin system – synthesis and properties of liquefied wood/epoxy resins. *Holzforshung*, 54, 1: 93-97
- Kranjec G. 2010. Strižna trdnost in trajnost spojev lepljenih z lepilom iz utekočinjenega lesa. Diplomski naloga (univerzitetni študij). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 52 str.
- Kržan A., Kunaver M. 2005. Microwave heating in wood liquefaction. *Journal of applied polymer science*, 101, 2: 1051-1056
- Kržan A., Kunaver M., Tišler V. 2005. Wood liquefaction using dibasic organic acids and glycols. *Acta Chimica Slovenica*, 52, 253-258
- Kunaver M., Jasiukaityte E., Čuk N., T. Guthrie J. 2009. Liquefaction of Wood, Synthesis and Characterization of liquefied Wood Polyester Derivates. *Journal of Applied Polymer Science*, 115, 1265-1271
- Kunaver M., Medved S., Čuk N., Jasiukaityte E., Poljanšek I., Strnad T. 2010. Application of liquefied wood as a new particle board adhesive system. *Bioresource Technology*, 101, 1361-1368
- Kurimoto Y., Doi S., Tamura Y. 1999. Species effects on wood-liquefaction in polyhydric alcohols. *Holzforschung*, 53, 617-622
- Lee S., Teramoto Y., Shiraishi N. 2002a. Resol-type phenolic res from liquefied phenolated wood and its application to phenolic foam. *Journal of applied polymer science*, 84, 3: 468-472

- Maldas D., Shiraishi N. 1996. Liquefaction of wood in the presence of phenol using sodium hydroxide as a catalyst and some of its characterizations. *Polymer – plastics technology and engineering*, 35, 6: 917-933
- Resnik J. 1989. Lepila in lepljenje lesa. Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo, Ljubljana: 103 str.
- Rowell R.M. 2005. Handbook of wood chemistry and wood composites. Boca Raton, CRC Press 487 str.
- SIST-TS CEN/TS 13354:2004. Masivne lesne plošče – Kakovost zlepljenosti – Preskusna metoda. 2004: 1-10
- Šernek M., Kutnar A. 2009. Aminoplastična lepila. *Les*, 61, 2: 47-53
- Tišler V. 1986. Kemija lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 1-5
- Tišler V. 2004. Kemična predelava lesa. Študijski pripomoček pri predmetu Kemija lesa
- Tišler V. 2002. Utekočinjen les in njegova uporaba. *Les*, 54, 9: 281-284
- Tohmura S., Li G., Qin T. 2005. Preparation and characterization of wood polyalcohol based isocyanate adhesives. *Journal of applied polymer science*, 98, 2: 791-795
- Ugovšek A., Kariž M., Šernek M. 2010. Bonding of beech wood with an adhesive mixture made of liquefied wood and phenolic resin. The 4th conference on hardwood research and utilisation in Europe 2010, 278 str.
- Ugovšek A., Šernek M. 2011. Influence of pressing time and temperature on shear strength of lap joints bonded with liquefied wood. V: Novel materials from wood or cellulose : Proceedings of the 2011 IAWS annual meeting / IAWS 2011, August 31st to September 2nd, 2011, Stockholm, Sweden
- Kurimoto Y., Doi S., Tamura Y. 1999. Species Effects on Wood-Liquefaction in Polyhydric Alcohols, *Holzforschung*, 53, 6: 617-622
- Yamada T., Ono H. 2001. Characterization of products resulting from ethylene glycol liquefaction of cellulose. *Journal of wood science*, 47, 6: 458-464

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem izr. prof. dr. Milanu Šerneku za usmerjanje, pomoč in nasvete pri pisanju diplomskega projekta. Zahvala gre tudi doc. dr. Matjažu Kunaverju za pomoč pri samem oblikovanju diplomskega projekta ter doc. dr. Sergeju Medvedu za strokovno recenzijo diplomskega projekta. Zahvalil bi se višjemu predavatelju mag. Bogdanu Šegi za pomoč pri izvedbi laboratorijskega dela in meritvah ter reševanju problemov in tehničnemu sodelavcu Janezu Renku za vso njegovo pomoč.

Velika zahvala gre tudi podjetjema Gozdno Gospodarstvo Postojna in Melamin Kočevje za podarjen material, ki sem ga uporabil za izvedbo eksperimentalnega dela.

Zahvaljujem se tudi moji družini in prijateljem za vso podporo.

PRILOGE

- ❖ Vrednosti označene z znakom »*« so statistični osamelci, katerih vrednosti niso vključene v izračun povprečij

Priloga A: Strižna trdnost lepilnega spoja preizkušancev za uporabo v suhih pogojih

	Št. Preizku.	Referenčne plošče		MUF 100/UL 0		MUF 90 /UL 10		MUF 80/UL 20		MUF 70 /UL 30		MUF 60 /UL 40	
Št. Plošče		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
		f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]
1	2,45	2,33	2,37	2,48	2,06	2,45	2,67	2,55	2,32	3,31	2,15	3,06	
2	1,79	1,39	2,16	1,76	2,12	2,12	2,41	2,32	2,68	2,22	3,11	3,02	
3	2,44	2,39	2,11	2,83	3,06	3,07	2,59	2,54	3,09	2,12	2,67	2,62	
4	2,05	2,42	2,35	3,25	3,02	2,03	2,07	1,38	2,53	2,27	1,77	2,33	
5	2,63	2,7	2,2	2,42	2,5	1,96	2,59	2,55	4,47	3,06	3,68	3,19	
6	1,57	1,99	2,69	2,89	2,09	2,08	3,08	2,36	3,72	2,91	1,44	2,54	
7	1,79	1,74	2,86	3,38	3,15	2,18	2,36	1,94	1,8	2,68	2,27	1,81	
8	1,61	1,88	2,52	1,77	2,01	2,38	2,37	3,16	2,53	2,86	2,77	2,04	
9	1,77	2,06	2,74	2,59	2,59	2,8	2,82	2,7	2,61	2,59	2,89	2,87	
10	2,5	2,08	2,56	1,79	2,41	2,62	3,09	3,74	2,1	3,57	1,98	2,38	
11	*6,02	2,8	2,5	2,5	1,71	2,61	2,55	2,92	3,33	2,85	3	2,68	
12	2,15	2,19	3,27	3,29	4,52	4,1	2,95	2,7	2,86	2,48	2,51	2,72	

Priloga B: Strižna trdnost lepilnega spoja preizkušancev za uporabo v vlažnih pogojih

	Št. Preizku.	Referenčne plošče GGP		MUF 100 /UL 0		MUF 90 /UL 10		MUF 80 /UL 20		MUF 70 /UL 30		MUF 60 /UL 40	
Št. Plošče		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
		f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]
1	1,73	2,25	1,84	2,68	2,03	2,06	1,77	2,51	1,42	1,46	0,75	0,13	
2	2	*5,91	3,37	2,91	2,64	2,12	1,99	1,67	0,99	1,2	0,76	0,95	
3	2,53	2,27	2,32	2,47	1,89	3,06	1,59	2,39	1,17	0,61	1	0,91	
4	2,37	1,97	2,96	2,87	1,49	3,02	1,92	2,26	1,47	1,02	0,8	0,31	
5	1,97	1,56	2,69	2,54	*6,01	2,5	1,53	1,96	0,79	1,97	1,05	0,82	
6	1,68	2,05	2,39	1,95	1,9	2,09	1,95	2,32	0,8	1,56	0,46	0	
7	1,36	1,91	2,11	3,02	2,04	3,15	1,83	2,6	0,86	1,27	1,08	0	
8	2,07	1,99	2,3	3	2,6	2,01	2,03	1,82	1,1	1,67	0,77	0	
9	1,44	2,01	2,52	2,11	2,44	2,59	1,91	1,91	0,73	1,03	0,54	0	
10	1,84	1,88	2,32	1,5	2,35	2,41	1,85	2,49	1,65	1,18	1,04	0	
11	1,52	2,26	2,43	2,51	2,27	1,71	1,27	2,1	0,75	1,33	0,35	0	
12	1,46	2,05	2,24	1,82	2,39	4,52	1,43	1,85	2,01	1,45	0,67	0	

Priloga C: Strižna trdnost lepilnega spoja preizkušancev za uporabo v zunanjih pogojih

	Št. Preizku.	Referenčne plošče GGP		MUF 100 /UL 0		MUF 90 /UL 10		MUF 80 /UL 20		MUF 70 /UL 30		MUF 60 /UL 40	
Št. Plošče		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
		f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]
	1	1,47	2,26	2,3	1,69	2,41	1,72	1,84	1,97	0,99	1,26	0	0
	2	1,48	2,02	1,65	2,01	2,31	1,58	1,32	1,01	1,01	0,6	0	0
	3	1,5	1,54	2,25	2,82	1,74	2,3	1,45	0,96	0,01	1,58	0	0
	4	2,59	2,21	1,82	2,1	1,84	1,24	1,45	1,59	0,14	1,63	0	0
	5	1,58	2,07	2,36	2,36	1,62	1,07	1,5	1,81	1,22	1,11	0	0
	6	2,02	2,25	2,08	2,1	1,81	1,16	1,2	1,01	0,71	1	0	0
	7	1,61	1,69	2,6	2,77	1,29	1,67	1,24	2,11	0,81	0	0	0
	8	2,36	0,82	2,45	2,4	1,83	2,68	1,08	2,11	0	0	0	0
	9	2,03	1,59	1,42	2,17	2,62	2,6	1,39	1,8	0	0	0	0
	10	1,77	1,82	1,96	3,1	3,09	1,55	2,04	1,92	0	0	0	0
	11	2,86	1,94	2,93	2,71	2,11	3,31	1,23	2,03	0	0	0	0
	12	1,64	1,79	2,31	1,78	2,29	1,89	1,92	1,42	0	0	0	0