

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Klemen PECMAN

**LEPLJEN LAMELIRAN LES IZ BUKOVINE**

DIPLOMSKO DELO  
Visokošolski strokovni študij

**BEECH GLUED LAMINATED TIMBER**

GUADUATION THESIES  
Higher Professional studies

Ljubljana, 2016

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin ter v laboratoriju za patologijo in zaščito lesa ter laboratoriju za sušenje lesa, Oddelka za lesarstvo, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani, kjer je bilo izvedeno celotno lepljenje in testiranje lameliranega lesa.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Milana Šerneka ter somentorja viš. pred. mag. Bogdana Šego in recenzentko prof. dr. Manjo Kitek Kuzman.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomska naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svojega diplomskega projekta na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je projekt, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identičen tiskani verziji.

Klemen Pecman

## **KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA**

ŠD Vs

DK UDK 630\*824.8

KG lepljenje/lepljeni nosilci/delaminacija/strižna trdnost/bukovina

AV PECMAN, Klemen

SA ŠERNEK, Milan (mentor)/ŠEGA, Bogdan (somentor)/KITEK KUZMAN, Manja  
(recenzent)

KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34

ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

LI 2016

IN LEPLJEN LAMELIRAN LES IZ BUKOVINE

TD Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)

OP X, 51 str., 25 pregl., 25 sl., 27 pril., 15 vir.

IJ sl

JI sl/en

AI Iz bukovih lamel smo s 4 različnimi lepili (MUF, PUR, PUR v kombinaciji s primerjem in EPI) izdelali po 3 štirislojne lamelirane lepljene nosilce, iz katerih smo nato naredili preizkušance za strižni preizkus in preizkus delaminacije. Za vsako lepilo smo imeli različne tehnološke parametre lepljenja, ki so bili določeni po navodilih proizvajalca lepila. Strižno trdnost lepilnih spojev in odpornost proti delaminaciji smo preverjali po standardu SIST EN 14080:2013. Pri preizkusu delaminacije smo merili odprtost lepilnih spojev po namakanju in sušenju preskušancev, pri strižnem preizkusu pa smo ugotavljali največjo strižno trdnost lepilnih spojev. Ugotovili smo, da se je pri preizkusu delaminacije najboljše izkazalo MUF lepilo ter PUR lepilo v kombinaciji s primerjem. Spoji izdelani s PUR lepilom brez primerja in spoji z EPI lepilom niso dosegli zahtev standarda. V strižnem preizkusu so se pri vseh lepilih pokazali dobri rezultati, najboljši pa so zopet bili pri MUF lepilu ter PUR lepilu v kombinaciji s primerjem.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs

DC UDC 630\*824.8

CX gluing/laminated timber/delamination/shear strength

AU PECMAN, Klemen

AA ŠERNEK, Milan (supervisor)/ŠEGA, Bogdan (co-supervisor)/KITEK

KUZMAN, Manja (reviewer)

PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/3

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and  
Technology

PY 2016

TI BEECH GLUED LAMINATED TIMBER

DT Graduation thesis (Higher professional studies)

NO X, 51 p., 25 tab., 25 fig., 27 ann., 15 ref.

LA sl

AL sl/en

AB From beech lamellaes and four different adhesives (MUF, PUR, EPI and PUR in combination with a primer) we made twelve 4 layered, glued laminated beams (three of each). From these beams we made test specimens for shear test and delamination test. We had to follow different technological parameters for each adhesive, according to the manufacturer's instructions. Shear strenght of adhesives bonds and resistance to delamination, we checked in accordance with SIST EN 14080 : 2013 standard. In the delamination test, we were measuring openness of the adhesive bonds, after immersion in water and drying, while in the shear test, we were measuring a maximum breaking force of the test specimens. We have discovered, that in the delamination test, we get the best results with MUF and PUR + primer adhesives. Bonds, made with only PUR adhesive and bonds with EPI adhesive did not meet requirements of the standard. In shear test, all the adhesives that we have used were suitable, however the best results were again with MUF and PUR + primer adhesives.

## KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION.....	IV
KAZALO VSEBINE.....	V
KAZALO PREGLEDNIC.....	VII
KAZALO SLIK.....	VIII
KAZALO PRILOG.....	IX

<b>1 UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA .....	1
1.2 CILJ .....	1
1.3 DELOVNE HIPOTEZE .....	1
<b>2 PREGLED LITERATURE.....</b>	<b>2</b>
2.1 PREDNOSTI LEPLJENIH NOSILCEV .....	2
2.2 ANIZOTROPNOST LESA .....	2
2.3 SESTAVA VEČSLOJNEGA LAMELIRANEGA LESA .....	3
2.4 SUROVINA ZA PROIZVODNJO VEČSLOJNO LAMELIRANEGA LESA .....	3
<b>2.4.1 Fizikalne in mehanske lastnosti bukovega lesa .....</b>	<b>4</b>
<b>2.4.2 Lepila za izdelavo konstrukcijskih lepljenih lesenih elementov .....</b>	<b>5</b>
2.5 LEPLJENI LAMELIRANI LES .....	7
<b>2.5.1 Uporaba lesa v leseni gradnji .....</b>	<b>7</b>
2.6 ZAHTEVE ZA KAKOVOST ZLEPLJENOSTI LEPLJENEGA LAMELIRANEGA LESA .....	9
<b>3 MATERIALI IN METODE .....</b>	<b>10</b>
3.1 MATERIALI .....	10
<b>3.1.1 Bukove lamele.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1.2 Lepila.....</b>	<b>11</b>
3.2 METODE DELA .....	12
<b>3.2.1 Izdelava lepljencev .....</b>	<b>12</b>
3.3 DELAMINACIJSKI TEST .....	17

<b>3.3.1</b>	<b>Potek delaminacijskega preizkusa - metoda – A .....</b>	<b>17</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Potek delaminacijskega preizkusa - metoda – B .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Potek delaminacijskega preizkusa - metoda – C .....</b>	<b>18</b>
<b>3.4</b>	<b>STRIŽNI TEST .....</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>REZULTATI Z RAZPRAVO .....</b>	<b>3-21</b>
<b>4.1</b>	<b>REZULTATI STRIŽNEGA PRESKUSA .....</b>	<b>3-21</b>
<b>4.2</b>	<b>REZULTATI DELAMINACIJSKEGA PRESKUSA.....</b>	<b>3-26</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Metoda A.....</b>	<b>3-26</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Metoda B .....</b>	<b>3-30</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Metoda C .....</b>	<b>3-34</b>
<b>4.3</b>	<b>REZULTATI STRIŽNE TRDNOSTI LEPILNIH SPOJEV PO IMPREGNACIJI Z VODO .....</b>	<b>3-39</b>
<b>4.4</b>	<b>Korelacije med rezultati strižnega in delaminacijskega preskusa .....</b>	<b>3-45</b>
<b>5</b>	<b>RAZPRAVA IN UGOTOVITVE .....</b>	<b>3-48</b>
<b>5.2</b>	<b>SKLEPI.....</b>	<b>3-48</b>
<b>6</b>	<b>POVZETEK.....</b>	<b>3-49</b>
<b>7</b>	<b>VIRI.....</b>	<b>3-51</b>
	<b>ZAHVALA</b>	
	<b>PRILOGE</b>	

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Največja dovoljena delaminacija lepljenega slojnatega lesa (SIST EN 14080, 2013).....	9
Preglednica 2: Zahteve za strižno trdnost lepilnih spojev in delež loma po lesu za lepljen slojnat les (SIST EN 14080, 2013).....	9
Preglednica 3: Parametri lepljenja.....	15
Preglednica 4: Oznake preizkušancev .....	16
Preglednica 5: Strižna trdnost in lom po lesu lepilnih spojev po klimatiziraju v standardni klimi 20/65 za preizkušance zlepljene z MUF lepilom. ....	3-21
Preglednica 6: Strižna trdnost in lom po lesu lepilnih spojev po klimatiziraju v standardni klimi 20/65 za preizkušance zlepljene z PUR lepilom. ....	3-22
Preglednica 7: Strižna trdnost in lom po lesu lepilnih spojev po klimatiziraju v standardni klimi 20/65 za preizkušance zlepljene z PUR + primer lepilom. ....	3-23
Preglednica 8: Strižna trdnost in lom po lesu lepilnih spojev po klimatiziraju v standardni klimi 20/65 za preizkušance zlepljene z EPI lepilom. ....	3-24
Preglednica 9: Celotna in maksimalna delaminacija za MUF.....	3-28
Preglednica 10: Celotna in maksimalna delaminacija za PUR.....	3-29
Preglednica 11: Celotna in maksimalna delaminacija za PUR+P .....	3-29
Preglednica 12: Celotna in maksimalna delaminacija za EPI .....	3-30
Preglednica 13: Celotna in maksimalna delaminacija za MUF.....	3-32
Preglednica 14: Celotna in maksimalna delaminacija za PUR.....	3-33
Preglednica 15: Celotna in maksimalna delaminacija za PUR+P .....	3-33
Preglednica 16: Celotna in maksimalna delaminacija za EPI .....	3-34
Preglednica 17: Celotna in maksimalna delaminacija za MUF.....	3-37
Preglednica 18: Celotna in maksimalna delaminacija za PUR.....	3-38
Preglednica 19: Celotna in maksimalna delaminacija za PUR+P .....	3-38
Preglednica 20: Celotna in maksimalna delaminacija za EPI .....	3-39
Preglednica 21: Minimalni deleži loma po lesu glede na strižno trdnost $f_v$ .....	3-39
Preglednica 22: Povprečja za strižno trdnost MUF lepilnih spojev po impregnaciji in sušenju .....	3-40
Preglednica 23: Povprečja za strižno trdnost PUR lepilnih spojev po impregnaciji in sušenju .....	3-41
Preglednica 24: Povprečja za strižno trdnost PUR+P lepilnih spojev po impregnaciji in sušenju.....	3-42
Preglednica 25: Povprečja za strižno trdnost EPI lepilnih spojev po impregnaciji in sušenju .....	3-43

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Konstrukcija ter lepljen nosilec .....	7
Slika 2: Prikaz loma nosilca .....	8
Slika 3: Neroobljene deske iz katerih smo izžagali preizkušance .....	10
Slika 4: Tehtanje količine nanosa na posamezno lamelo .....	13
Slika 5: Nanos lepila z lopatko .....	13
Slika 6: Kalup za lepljenje nosilcev .....	14
Slika 7: Odprta in zaprta stiskalnica z lepljencema .....	14
Slika 8: Razžagovanje nosilca v preizkušance .....	16
Slika 9: Oznake strižnih preizkušancev .....	17
Slika 10: Priprava preizkušancev pred vakuumiranjem .....	19
Slika 11: Prikaz tlačne vakuumske črpalke .....	19
Slika 12: Sušenje preizkušancev v sušilni komori .....	19
Slika 13: Strižni test preizkušanca .....	20
Slika 14: Preizkušanci po strižnem testu .....	20
Slika 15: Soodvisnost med deležem loma po lesu lepilnega spoja in strižno trdnostjo leplilnega spoja - posamezne meritve .....	3-25
Slika 16: Soodvisnost med deležem loma po lesu lepilnega spoja in strižno trdnostjo leplilnega spoja - povprečne vrednosti za celoten nosilec .....	3-26
Slika 17: Preizkušanci za vsa lepila pred namakanjem, po namakanju in po sušenju po postopku A .....	3-27
Slika 18: Preizkušanci za vsa lepila pred namakanjem, po namakanju ter po sušenju po postopku B .....	3-31
Slika 19: Preizkušanci za vsa lepila pred namakanjem, po namakanju ter po sušenju po postopku C .....	3-35
Slika 20: Delaminacija EPI lepilega spoja med sušenjem .....	3-36
Slika 21: Delaminacija PUR lepilnega spoja v celoti že med namakanjem preizkušancev .....	3-36
Slika 22: Rezultati strižnega testa za posamezne lepilne spoje .....	3-44
Slika 23: Rezultati strižnega testa za posamezne lepilne spoje ( povprečje desne letve ) .....	3-45
Slika 24: Korelacija med rezultati strižnega in delaminacijskega preskusa – standardna klima .....	3-46
Slika 25: Korelacija med rezultati strižnega in delaminacijskega preskusa – umetno staranje .....	3-47

## KAZALO PRILOG

Priloga A1: Rezultati strižnega testa za preizkušance leplejne z MUF lepilom

Priloga A2: Preglednica prikazuje rezultate strižnega testa preizkušanca PUR

Priloga A3: Preglednica prikazuje rezultate strižnega testa preizkušanca PUR+P

Priloga A4: Preglednica prikazuje rezultate strižnega testa preizkušanca EPI

Priloga B1: Rezultati strižnega testa za preizkušance lepljene z MUF lepilom po impregnaciji in sušenju

Priloga B2: Rezultati strižnega testa za preizkušance lepljene z PUR lepilom po impregnaciji in sušenju

Priloga B3: Rezultati strižnega testa za preizkušance lepljene z PUR+P lepilom po impregnaciji in sušenju

Priloga B4: Rezultati strižnega testa za preizkušance lepljene z EPI lepilom po impregnaciji in sušenju

Priloga C1: Maksimalne vrednosti za celotno delaminacijo v %

Priloga C2: Delaminacija za preizkušance lepljene z MUF lepilom

Priloga C3: Delaminacija za preizkušance lepljene z PUR lepilom

Priloga C4: Delaminacija za preizkušance lepljene z PUR + P lepilom

Priloga C5: Delaminacija za preizkušance lepljene z EPI lepilom

Priloga D1: Maksimalne vrednosti za celotno delaminacijo v %

Priloga D2: Delaminacija za preizkušance lepljene z MUF lepilom

Priloga D3: Delaminacija za preizkušance lepljene z PUR lepilom

Priloga D4: Delaminacija za preizkušance lepljene z PUR + P lepilom

Priloga D5: Delaminacija za preizkušance lepljene z EPI lepilom

Priloga E1: Maksimalne vrednosti za celotno delaminacijo v %

Priloga E2: Delaminacija za preizkušance lepljene z MUF lepilom

Priloga E3: Delaminacija za preizkušance lepljene z PUR lepilom

Priloga E4: Delaminacija za preizkušance lepljene z PUR + P lepilom

Priloga E5: Delaminacija za preizkušance lepljene z EPI lepilom

Priloga F1: Preglednica prikazuje povprečja za strižno trdnost lepilnih spojev po impregnaciji in sušenju za preizkušance lepljene z MUF lepilom

Priloga F2: Preglednica prikazuje povprečja za strižno trdnost lepilnih spojev po impregnaciji in sušenju za preizkušance lepljene z PUR lepilom

Priloga F3: Preglednica prikazuje povprečja za strižno trdnost lepilnih spojev po impregnaciji in sušenju za preizkušance lepljene z PUR + primer lepilom

Priloga F4: Preglednica prikazuje povprečja za strižno trdnost lepilnih spojev po impregnaciji in sušenju za preizkušance lepljene z EPI lepilom

## 1 UVOD

### 1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Bukev (*Fagus sylvatica* L.) je najbolj razširjena drevesna vrsta v Sloveniji, vendar je njena uporaba bistveno manjša, kot je njen razpoložljiv potencial glede na količino in mehanske lastnosti. Bukovina je namreč visokokakovosten les, ki je cenjen zaradi njegove homogene anatomske zgradbe, dobrih elasto-mehanskih in tehnoloških lastnosti ter značilne barve in enakomerne tekture.

Količinsko gledano je največji uporabnik bukovine pohištvena industrija, velik porabnik je bila tudi proizvodnja furnirnih vezanih plošč. Za nosilne konstrukcijske namene se bukovina uporablja v veliko manjšem obsegu, postaja pa to področje tržno vedno bolj zanimivo. Proizvodnja lepljenih konstrukcijskih elementov iz lesa iglavcev je zelo dodelana in definirana s standardi, medtem ko pa je industrijske postopke konstrukcijskega lepljenja lesa bukovine potrebno še podrobno raziskati in optimirati (Čufar, 2006).

### 1.2 CILJ

Namen diplomskega dela je bil ugotoviti odpornost lepilnih spojev bukovih lameliranih lepljencev proti delaminaciji in njihovo strižno trdnost. Raziskati smo hoteli, katera lepila so primerna za konstrukcijsko lepljenje bukovine in vpliv primerja (temelja) na kakovost zlepljenosti lepilnih spojev.

### 1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Predvidevali smo, da je bukovina primerna za izdelavo lepljenega lameliranega lesa in bodo lepilni spoji ustrezali standardnim zahtevam glede strižne trdnosti, vendar se lahko pojavijo težave zaradi velike delaminacije, ker je bukovina v spremnjajoči se klimi dimenzijsko nestabilna. Predpostavljamo, da se lahko odpornost lepilnih spojev proti delaminaciji poveča z uporabo primerja.

## 2 PREGLED LITERATURE

### 2.1 PREDNOSTI LEPLJENIH NOSILCEV

Pred ostalimi konstrukcijami imajo konstrukcije iz lepljenih nosilcev naslednje prednosti:

- velika nosilnost glede na lastno maso,
- visoke predvidljive trdnostne vrednosti,
- nizka prostorninska masa zagotavlja lažji transport in samo postavitev konstrukcije,
- lahka obdelava in možnost bogatega oblikovanja,
- omogoča premostitev velikih razpetin in bogato arhitektonsko oblikovanje prostora oziroma ambienta,
- zaradi odpornosti proti kemičnim vplivom in elektromagnetne nevtralnosti so zelo primerni tudi za objekte kemične industrije in radiotelevizije,
- razmerje trdnosti in mase je za les v primerjavi z betonom petkrat ugodnejše,
- leseni lepljeni nosilci imajo odlično odpornost proti ognju in so slabi prevodniki toplotne (Hoja, 2005),
- zaradi natančne izdelave in skrbne površinske zaščite, oz. obdelave, je lesena lepljena konstrukcija odporna proti vsem obremenitvam, tudi če je izpostavljena različnim vremenskim vplivom,
- racionalna in hitra montaža, enostavno vzdrževanje, tipiziranje določenih lesnih konstrukcij (Pohleven in sod., 1991).

### 2.2 ANIZOTROPNOST LESA

Les je količinsko in tudi sicer že od nekdaj ena najpomembnejših surovin. Njegova poraba tudi danes nenehno narašča. Les nastaja ob blagodejnem učinku na okolje. Gozdovi predstavljajo najpomembnejši vir lesa kot surovine. Botanično je les sekundarni ksilum, ki ga kambij v procesu sekundarne (debelitvene) rasti proizvaja navznoter v smeri stržena. Tehnično ga je mogoče definirati kot trdo vlakneno snov pod skorjo debel in vej dreves in grmov. Bistvene prednosti lesa kot materiala so njegova obnovljivost, razširjenost, vsestranska uporabnost, visoka trdnost glede na gostoto, relativna enostavnost in čistost pridobivanja, predelave in obdelave. Anizotropen je les predvsem zaradi različne usmerjenosti tkiv, ki ga gradijo. Anizotropnost je predvsem posledica značilnega

priraščanja v plasteh. V zmernem pasu so to letne prirastne plasti, ki so v prečnem in radialnem prerezu vidne kot branike z letnicami med njimi (Čufar, 2006).

Izrazita anizotropija in delovanje lesa, ki je v prečni smeri bistveno večja kot v vzdolžni, zahteva posebne konstrukcijske ukrepe. Neenakomerno sušenje in nabrekanje lesa povzroča krivljenje, pokanje in izbočenje elementov lesnih konstrukcij. Les je naravni material s svojimi velikimi prednostmi, kot so majhna gostota, velika nosilnost, lahka obdelava, estetske lastnosti,... Nove možnosti za uporabo lesa v gradbene namene je prinesla tehnologija za izdelavo lepljenih nosilcev.

### 2.3 SESTAVA VEČSLOJNEGA LAMELIRANEGA LESA

O lepljenih nosilcih govorimo, če zlepimo po debelini dve ali več ustreznih pripravljenih desk-lamel približno vzporedno z rastjo lesa. Lamele so običajno med sabo zlepljene po dolžini, v posebnih primerih pa tudi po širini (Pohleven in sod., 1991).

### 2.4 SUROVINA ZA PROIZVODNJO VEČSLOJNO LAMELIRANEGA LESA

Večinoma se za izdelavo lepljenega lameliranega lesa uporablja les iglavcev. V zadnjem času pa se intenzivno raziskuje in povečuje tudi proizvodnja lameliranih elementov iz listavcev.

Bukev (*Fagus sylvatica* L.) je naš najbolj razširjen listavec in naša najpomembnejša lesna vrsta. Do sredine 19. stoletja so jo uporabljali skoraj izključno za kurjavo. Bukev je razširjena po dolinah in sredogorjih zahodne, srednje in južne Evrope do Kavkaza.

Dosega višine do 30 m, priložnostno tudi preko 40 m in premere 100 – 150 cm. V sestojih rastejo drevesa s polnolesnimi ravnimi debli. Dolžina debla brez vej znaša 15 m in več. Skorja je gladka, v starosti ima biseren lesk in je srebrnosive barve. Pogosto so na deblu vidne brazgotine odpadlih vej, imenovane "kitajski brki".

Les bukve ima visoko gostoto, je trd in se zelo krči in nabreka. Stabilnost je neugodna, trdnostne lastnosti so glede na gostoto nadpovprečno visoke, elastičnost je nižja. Les je zelo žilav, malo elastičen in zelo trden. Dobro se cepi in pri parjenju dobro upogiba. Nezaščitena bukovina je podvržena napadu gliv in insektov, zato je potrebna hitra in pravilna manipulacija po poseku. Bukovino parijo zaradi zmanjšanja notranjih napetosti in

izenačenja barve. Tako se po parjenju zmanjša nevarnost pokanja in zvijanja, les dobi enakomerno rdečkasto barvo.

Lepo se lušči in reže v furnir, dobro se struži in polira ter z luhkoto se žeblja, vijači in lepi. Bukovino je mogoče izjemno dobro kriviti.

Na trgu se ločeno prodaja neparjena in parjena bukovina, sicer pa so na razpolago hlodovina, žagan les, vezan les, razni polizdelki. Uporaba lesa je raznovrstna kot za gradbeno mizarstvo, stopnice, opaže, parket, pohištvo. Krivljen in vezan les se predvsem uporablja za šolsko in pisarniško pohištvo. Najbolj znan izdelek iz krivljene bukovine je Thonetov stol. Kot gradbeni in konstrukcijski les se uporablja predvsem pri srednje obremenjenih notranjih konstrukcijah. Les bukve se uporablja še za furnirske in mizarske plošče kot prešan masivni les, prešani laminati, delavniške mize, ročaji orodij, izdelava parketa,...(Čufar, 2006).

#### **2.4.1 Fizikalne in mehanske lastnosti bukovega lesa**

Les je bil med prvimi materiali, ki jih je človek uporabil za konstrukcijske namene in je v mnogih predelih sveta še danes najbolj razširjen material za gradnjo kot tudi za notranjo opremo. Pred drugimi materiali ima les kar nekaj prednosti. Kot naraven material je obnovljiv, energijske zahteve so mnogo manjše kot pri drugih materialih, proizvodnja je okolju prijazna z vidika energijske porabe in onesnaževanja. Uporabnost lesa se kaže v zelo ugodnem razmerju med gostoto in trdnostjo. Zaradi videza in topline ga uvrščamo med sodobne in aktualne materiale (Gorišek, 2005).

##### **Gostota**

Bukovina ima povprečno gostoto  $r_0 = 680 \text{ kg/m}^3$ .

##### **Krčenje in nabrekanje**

Bukovina se krči v vzdolžni smeri  $\beta_l = 0,3\%$ , v radialni smeri  $\beta_r = 5,8\%$  in v tangencialni smeri  $\beta_t = 11,8\%$ .

Glavni razlog za lepljenje nosilcev je tudi ta, da z lepljenjem lesa zmanjšamo delovanje lesa v različnih smereh.

### Toplotne lastnosti lesa

Toplotna prevodnost lesa je odvisna od njegove prostorninske mase, smeri glede na rast lesa in od njegove vlažnosti ter temperature. Suh les je zelo dober topotni izolator, z večanjem vlažnosti se veča njegova topotna prevodnost. Temperatura vpliva tudi na trdnostne lastnosti lesa.

Pri lepljenih izdelkih iz lesa vplivajo na prevajanje toplotne njihova sestava, lepilo, ki ga uporabljamo in postopek lepljenja (Pohleven in sod., 1991).

### Vnetljivost

Odvisna je od drevesne vrste, mase lesa in vlažnosti lesa. Lahki lesovi so bolj vnetljivi zato, ker so boljši topotni izolatorji in je pri segrevanju odvajanje toplotne slabše. Za vnetljivost je posebno pomembna površina lesa glede na njegovo prostornino. Na vnetljivost vplivamo z različnimi površinskimi premazi, globinskimi impregnacijami in pravilnim dimenzioniranjem izdelkov. Pri gorenju lesa se na površini oblikuje sloj oglja, ki preprečuje prodiranje ognja v globino.

### Tlačna trdnost

Pri konstrukcijskem lepljenju lesa je tlačna trdnost odvisna od uporabne drevesne vrste, debeline slojev, tlaka in temperature lepljenja ter vrste in količine vnesenega lepila.

Določanje tlačnih trdnosti lesa ima pomembno vlogo pri uporabi lesa kot konstrukcijskega materiala. Preizkušanec mora imeti enakomeren prerez po celotni dolžini, končni obremenjevanji ploskvi pa morata biti čim bolj vzporedni.

#### **2.4.2 Lepila za izdelavo konstrukcijskih lepljenih lesenih elementov**

Za izdelavo konstrukcijskih lepljenih lesenih izdelkov uporabljamo: aminoplastična lepila in lepila na fenolni osnovi, poliuretanska lepila (PUR), emulzijska polimerna izocianatna lepila (EPI) in kazeinska lepila.

- poliuretanska lepila

Poliuretanska lepila imajo dobro oprijemnost pri različnih lepilnih površinah, lastnosti spojev pa so odvisne od stopnje zamreženja. Poliadicijska reakcija poteka tudi pod 0 °C,

najvišja trdnost pa se doseže pri 20 °C. Temperatura pospešuje reakcijo. Za redčenje se uporablja etilacetat, ki podaljša vmesni čas. Nanos tega lepila je od 200 – 250 g/m<sup>2</sup>, tlak pa od 3 – 8 barov (Resnik, 1989).

#### - Kazeinska lepila

Kazeinsko lepilo iz mleka ima zelo dolgo zgodovino uporabe in spada med najstarejša lepila. So relativno odporna proti vlagi, občutljivost na povišane temperature pa je majhna. Uporabna so tudi za grobe lepilne spoje, vendar ob tem trdnost upada. Enostavna so za delo, zahtevani tlaki so nizki. Za izboljšanje postopka lepljenja in lepilnega spoja dodajajo lepilu formaldehid, natrijev, amonijev ali kalcijev hidroksid (Resnik, 1989).

#### - Aminoplastična lepila

Najpomembnejša aminoplastična lepila v lesni industriji so urea-formaldehidna (UF) in melamin-formaldehidna (MF) lepila. Amino smole so produkti reakcije aldehidov z molekulami, ki vsebujejo amino ali amidne skupine. Najpogosteje uporabljeni komponenti z amino skupinami sta sečnina oziroma urea in melamin, medtem ko je najpogosteje uporabljen aldehid formaldehid.

UF lepila so najbolj razširjena med aminoplastičnimi lepili ter prevladujejo pri izdelavi vezanih, ivernih in vlaknenih plošč za notranjo uporabo (Frihart, 2005) ter v pohištveni industriji.

Prednosti UF lepil so začetna vodotopnost, trdnost, ognjeodpornost, dobre topotne lastnosti in transparentnost v utrjenem stanju ter prilagodljivost na razmere med utrjevanjem. Njihova največja pomanjkljivost je slaba vodoodpornost utrjenih lepilnih spojev (Ugovšek in Šernek, 2012).

#### - Emulzijska lepila

Emulzijsko (EPI) lepilo je disperzijsko dvokomponentno lepilo izdelano z uporabo različnih polimerov. Prva komponenta je vodna emulzija polimera (npr. PVAc), druga komponenta pa je izocianat (MDI ali HDI), ki ima vlogo zamreževalca. EPI lepila so v glavnem brez topil, vendar pa lahko dodajamo različne dodatke za prilaganje njihovih lastnosti in vezi.

V raziskavi uporabljena lepila so opisana v poglavju Materiali in metode.

## 2.5 LEPLJENI LAMELIRANI LES

Pojav lepljenega lameliranega lesa je povzročil bistveno povečanje uporabe lesa v stavbarstvu. Prednosti so:

- nismo omejeni z debelino,
- izrežemo lahko napake,
- zmanjšanje delovanja lesa,
- konstrukcije so lahko poljubnih oblik,
- ukrivljenost.



Slika 1: Konstrukcija ter lepljen nosilec ( RUBNER – gradnja z lesom )

### 2.5.1 Uporaba lesa v leseni gradnji

Pri gradnji objektov lahko les uporabimo kot:

- nosilni elementi - npr. okvirna konstrukcija, skeletna konstrukcija, masivna konstrukcija (CLT)
- nenosilni elementi – npr. stavbno pohištvo, fasada, stopnice, talne obloge

#### Konstrukcijski les

- linijski elementi – nosilci,
- ploskovni elementi – plošče,
- prostorski elementi – lupine.

Sestavne dele med seboj lepimo po dolžini ali po prečnem prerezu. Poznamo tope, zobate in poševne spoje.

### Les za konstrukcije

- lepljen les za konstrukcijske namene je zelo zahteven proizvod, občutljiv na postopke obdelave,
- nujna je kontrola vlage in temperature,
- uporabljena morajo biti kakovostna lepila (po SIST EN 301),
- važna je hitrost lepljenja - odprt čas lepljenja,
- primeren les za lepljenje – vse drevesne vrste niso primerne, les mora biti porozen, da lepilo prodre v celice,
- pomembno je tudi odležanje,
- če lepljenje ni pravilno pride do loma nosilca.



Slika 2: Prikaz loma nosilca (Srpčič, 2016).

### Lepjen les kot gradbeni material

- mehanska odpornost in stabilnost,
- varnost pred požarom,
- zaščita pred hrupom,
- varčevanje z energijo – ohranjanje toplote.

## 2.6 ZAHTEVE ZA KAKOVOST ZLEPLJENOSTI LEPLJENEGA LAMELIRANEGA LESA

Lepljen slojnat les mora izpolnjevati zahteve produktnega standarda (EN 14080, 2013). Kakovost zlepljenosti lameliranega lesa preskušamo z: delaminacijskim preizkusom lepljenih stikov in strižnim preizkusom lepljenih stikov.

Za delaminacijski preizkus so v standardu opisane tri metode: visokotemperaturna A in B, ki sta namenjeni za preskušanje izdelkov zlepljenih z lepili za konstrukcijsko uporabo tipa I; nizkotemperaturna metoda C pa za preizkušanje izdelkov, ki so zlepljeni z lepili tipa II.

Strižni preizkus naredimo po uravnovešanju preizkušancev v standardni klimi, izmerimo porušno silo in izračunamo strižno trdnost ter ocenimo delež loma po lesu (Šega, 2005).

Natančnejši opis metod se nahaja v poglavju Materiali in metode.

Zahteve, ki jih postavlja standard SIST EN 14080:2013 za odpornost proti delaminaciji in strižno trdnost so prikazane v preglednicah 1 in 2.

Preglednica 1: Največja dovoljena delaminacija lepljenega slojnatega lesa (SIST EN 14080, 2013).

Maksimalna delaminacija je lahko največ 30 %.

Strižna trdnost $f_v$ [N/mm <sup>2</sup> ]	POVPREČJE			POSAMEZNE VREDNOSTI		
	6	8	$f_v \geq 11$	$4 \leq f_v < 6$	6	$f_v \geq 10$
Najmanjši delež loma po lesu (%)	90	72	45	100	74	20

Zahteve za strižno trdnost in delež loma po lesu, ki so definirane v produktnem standardu, so prikazane v preglednici 2.

Preglednica 2: Zahteve za strižno trdnost lepilnih spojev in delež loma po lesu za lepljen slojnat les (SIST EN 14080, 2013).

METODA	UPORABNA ZA TIP LEPILA	NAJVEČJI PROCENT CELOTNE DELAMINACIJE PO CIKLU ŠT.		
		1	2	3
A	TIP I	-	5	10
B	TIP I	4	8	-
C	TIP II	10	-	-

### 3 MATERIALI IN METODE

V raziskavi smo uporabili bukove lamele, ki smo jih prikrojili na ustrezen dimenzije in jih klimatizirali v standardni klimi. Lamele smo lepili s štirimi različnimi lepili. Za vsako lepilo smo imeli parametre lepljenja, ki jih je predpisal proizvajalec lepil. Iz zlepljenih nosilcev smo izžagali preizkušance za strižni test ter test delaminacije. Strižni test smo izvajali pred namakanjem in po namakanju v vodi ter po sušenju. Test delaminacije je potekal po treh metodah A, B in C.

#### 3.1 MATERIALI

V raziskavi smo uporabili bukovino in lepila primerna za izdelavo konstrukcijskih elementov.

##### 3.1.1 Bukove lamele

V preizkusu smo uporabili bukov les, katerega je bilo potrebno obdelati na grobe dimenzije. Opis drevesne vrste je v poglavju 2.3. Les je bil posušen na 12 % vlažnost.

Iz bukovih nerobljenih desk debeline 33 mm smo izžagali lamele z nadmerami.



Slika 3: Nerobljene deske iz katerih smo izžagali preizkušance

Dimenzija posamezne lamele z nadmero je bila 33 x 130 x 630 mm.

### 3.1.2 Lepila

V raziskavi smo uporabili naslednja lepila:

- Melamin urea - formaldehidno lepilo ( MUF )
- Poliuretansko lepilo ( PUR )
- Poliuretansko lepilo + primer ( PUR+P )
- Emulzijsko lepilo ( EPI )

#### MELAMIN – UREA FORMALDEHIDNO LEPIO (MUF)

##### **PREFERE 4535 + TRDILEC 5046**

Tekoče melamin - urea smolno lepilo za lepljene nosilce.

PREFERE 4535 s trdilcem PREFERE 5046 zagotavlja posebno melamin-urea lepilo, ki se uporablja pod pogoji, kjer je debel spoj neizogiben, npr. zaradi neravnih površin obdelovancev ali ker ni moč zagotoviti enakomerne pritiska, ki bi omogočil tanek lepilni spoj. Potencialna uporaba lepila PREFERE 4535 vključuje »nail« lepljenje in 2-fazno lepljenje lepljenih nosilcev, npr. v proizvodnji nosilcev električne energije. Prefere 4535 se lahko uporablja pri izdelavi lameliranih izdelkov, kjer ni možno doseči običajnega pritiska. Pri pravilni uporabi PREFERE 4535 s trdilcem PREFERE 5046 dosežemo popolno vodoodpornost spojev, ki ustrezajo zahtevam za Type I lepila glede na EN 301.

Nordisk Limtrenemd (Nordijski komite za lepljene lesene konstrukcije) je odobril PREFERE 4535 in trdilec PREFERE 5046 za uporabo pri proizvodnji lepljenih konstrukcij Razreda U (za zunanjo uporabo) in za "finger-jointing" pod pogojem, da pritisk ustreza zahtevam Komiteja, lepilni spoj običajne debeline (KLP d.o.o., 2016).

#### POLIURETANSKO LEPIO (PUR)

##### **PURBOND HB S209**

Eno-komponentno poliuretansko lepilo za izdelavo lesenih konstrukcijskih elementov je tekoče eno-komponentno poliuretansko lepilo, ki za sušenje potrebuje zračno vlogo in vlogo v lesu.

Efekt rahlega penjenja med sušenjem je normalen pojav kemične reakcije.

PURBOND HB S209 je proizведен brez topil in formaldehidov.

Je klasificirano kot lepilo Type I in je odobreno ter registrirano kot je navedeno v paragrapfu z naslovom CERTIFIKATI IN REGISTRACIJA na tehničnem listu (KLP d.o.o., 2016)

### PRIMER PURBOND PR 3105

PURBOND PR 305 je koncentrat za pripravo predpremaza za predobdelavo lesenih površin pred lepljenjem z lepili PURBOND HB S.

Pred lepljenjem nanesemo raztopino na leseno površino, da dobimo homogene pogoje in kvaliteto lepilnega spoja, ki bo zadostila zahtevam.

PURBOND PR 3105 ne vsebuje niti topil niti formaldehida. Uporaba koncentrata PURBOND PR 3105 je dovoljena izključno v povezavi z lepili PURBOND HB S. V kolikor ni drugače omenjeno na tem tehničnem listu ali navodilih za obdelavo specifičnih lesnih vrst, veljajo informacije na tehničnih listih posameznih lepil (KLP d.o.o., 2016).

### EMULZIJSKO POLIMERNO IZOCIANATNO LEPILO (EPI)

#### ADVANTAGE EP – 915 FS

EP-915 FS je emulzijsko polimerni izocianatni sistem (EPI) razvit za hitrejše lepljenje v hladnih pogojih. Meša se s trdilcem 400 v utežnem razmerju 15 delov trdilca na 100 delov emulzije. Za lepilo je značilna dobra stabilnost za širjenje in nizko proizvodnjo pene v primerjavi s tradicionalnimi EPI lepili.

Prednost EP-915 FS s trdilcem 400 presega ASTM D - 5751-99 za mokro uporabo za laminat in spojev, ki niso proizvod iz konstrukcijskega lesa po standardu DIN D4 (Franklin International USA, 2016).

## 3.2 METODE DELA

V metodah dela je opisana izdelava lepljencev, parametri lepljenja po katerih smo lepili preizkušance, tehtanja količine nanosa lepila, sistem nanašanja lepila, stiskanja ter označevanja preizkušancev.

### 3.2.1 Izdelava lepljencev

Tik pred vsakim lepljenjem smo lamele poskobljali in obžagali na končne dimenzijs 25 x 120 x 600 mm. Skobljali smo tik pred lepljenjem zato, da so bile površine čim bolj aktivne.

Ko so bile lamele obžagane, je bilo potrebno lamelam izmeriti dolžino, širino, debelino, maso ter določiti vlažnost. Iz teh izmer smo lahko izračunali volumen in gostoto posamezne lamele.

Površina lepljenja mora biti čista. Nanos lepila mora biti čim bolj enakomerno razporejen po površini, kot to predpisuje proizvajalec lepila.



Slika 4: Tehtanje količine nanosa na posamezno lamelo



Slika 5: Nanos lepila z lopatko



Slika 6: Kalup za lepljenje nosilcev



Slika 7: Odprta in zaprta stiskalnica z lepljencema

## Parametri lepljenja

Tehnološki parametri lepljenja so prikazani v preglednici 3.

Preglednica 3: Parametri lepljenja.

	MUF	PUR	PUR + primer	EPI
Prefere 4535/5046 razmerje 100:35	Loctite HB S209 Purbond	Loctite HB S209 Purbond + Loctite PR 3105 Purbond (1:10)	Advantage EP - 915 FS + Hardener 400 utežno razmerje 100:15	
Vlažnost lesa (%)	12	12	12	12
Priprava lesa - mehanska obdelava površin	max 6 ur pred lepljenjem	max 6 ur pred lepljenjem	max 6 ur pred lepljenjem	max 6 ur pred lepljenjem
Čas mešanice / pot life (minut pri 20°C)	60			60
Nanos temeljnega premaza - primerja (g/m <sup>2</sup> na 1 ploskev)			20 do 30	
Aktivacijski čas primerja (min)			min 15	
Nanos lepila - na obe ploskvi (g/m <sup>2</sup> na 1 ploskev)	na obe ploskvi po 250	enostransko 200	enostransko 200	enostransko 200
Odpri čas (min)	brez	brez	brez	brez
Zaprti čas (min) pri max nanosu	35	10 do 15	10 do 15	5 do 15
Čas stiskanja (20 °C - smreka)	4,5 h	2,5 h	2,5 h	2 h
Temperatura utrjevanja lepila	23 °C	23 °C	23 °C	23 °C
Tlak stiskanja (MPa)	1,4	1,2	1,2	1,4
Čas do končne utrditve lepila (dni) zaviti v PVC vreče	20.6. – 11.7.	20.6. – 11.7.	20.6. – 11.7.	20.6. – 11.7.

Uporabili smo 4 lepila. Določili smo število lepljencev, število lamel ter parametre lepljenja. Z vsakim lepilom smo izdelali po 3 nosilce in vsak je imel 4 lamele. Skupno smo potrebovali 48 lamel.

Nosilcem smo najprej po lepljenju z dletom odstranili odvečno lepilo, ki je zaradi tlaka v stiskalnici zlezlo iz spojev. Nato smo na poravnalem skobeljnem stroju poravnali rob. Nosilce smo nato na debelinskem skobeljnem stroju poskobljali na širino 105 mm.

S krožnim žagalnim strojem smo iz nosilcev, ki smo jih zlepili, izžagali potrebne preizkušance za delaminacijski in strižni test po standardu SIST EN 14080:2013.

Ker so nosilci podvrženi delaminaciji ter strigu smo opravili strižni ter delaminacijski test. V preizkusu smo želeli ugotoviti odpornost proti delaminaciji in strižno trdnost lepilnih spojev.



Slika 8: Razzagovanje nosilca v preizkušance

Preizkušance smo označili s kraticami lepila ter zaporedno številko v nosilcu.

Pri preizkušancih za strižni test smo uporabili še oznako L oz. D - levi ali desni preizkušanec.

Oznake, ki smo jih uporabili:

Preglednica 4: Oznake preizkušancev

MUF	M-1-1 M-1-2 M-1-3	M-2-1 M-2-2 M-2-3	M-3-1 M-3-2 M-3-3
PUR	P-1-1 P-1-2 P-1-3	P-2-1 P-2-2 P-2-3	P-3-1 P-3-2 P-3-3
PUR+P	P+P-1-1 P+P-1-2 P+P-1-3	P+P-2-1 P+P-2-2 P+P-2-3	P+P-3-1 P+P-3-2 P+P-3-3
EPI	E-1-1 E-1-2 E-1-3	E-2-1 E-2-2 E-2-3	E-3-1 E-3-2 E-3-3



Slika 9: Oznake strižnih preizkušancev

### 3.3 DELAMINACIJSKI TEST

Pri preizkusu delaminacije smo preverjali, kako je lepilni spoj odporen na oslabitve, ki jih povzročimo z impregnacijo z vodo in visokotemperaturnim oz. nizkotemperaturnim sušenjem. Testiranje je potekalo po postopku, ki je opisan v dodatku C standarda SIST EN 14080:2013.

Dimenzijsne preizkušance so bile (75 x 105 x 100 mm). Preizkušanci so bili označeni z oznako lepila in zaporednim številom nosilca.

Opombe:

3 cikel impregnacije in sušenja pri metodi A je potrebno izvesti, če je delaminacija po 2 ciklu večja od 5 % in manjša od 10 %.

2 cikel impregnacije in sušenja pri metodi B je potrebno izvesti, če je delaminacija po 1 ciklu večja od 4 % in manjša od 8 %.

delaminacija posameznega spoja je lahko največ 30 %.

#### 3.3.1 Potek delaminacijskega preizkusa - metoda – A

Preizkušance smo najprej stehtali in jim izmerili dimenzijske. Za delo smo potrebovali tlačno vakuumsko komoro, posodo v katero smo položili preizkušance, mrežico ter paličice katere smo dali pod preizkušance, da je voda lažje krožila ter uteži katere smo položili na vrh za obtežitev. Na dno posode smo najprej položili paličice in mrežico nato smo v

posodo položili štiri preizkušance, na preizkušance smo položili paličice, mrežico ter uteži za obtežitev. Posodo smo položili v tlačno vakuumsko posodo in jo napolnili z vodo. V tlačni vakuumski komori smo ustvarili podtlak 0,85 bar za čas 5 minut. Po iztečenem času smo jih izpostavili ravnovesnemu zračnemu tlaku in začeli povečevati tlak na 6 barov za čas ene ure. Cikel smo ponovili dvakrat in po končanem drugem ciklu smo preizkušance ponovno stehtali in ocenjevali ter merili nastale razpoke po lepilnih spojih. Ponovno smo ponovili cikel in preizkušance dali v komoro na podtlak 0,85 bar za 5 minut ter nadtlak 6 bar za eno uro ter v sušilno komoro za 22 ur. Sledilo je končno ocenjevanje dolžin razslojitev in izračun delaminacije.

### **3.3.2 Potek delaminacijskega preizkusa - metoda – B**

Priprava na impregnacijo je enaka kot pri postopku A. V tlačni vakuumski komori smo nato ustvarili podtlak 0,85 bar za čas 30 minut. Po iztečenem času smo jih izpostavili ravnovesnemu zračnemu tlaku in začeli povečevati tlak na 6 barov za čas dveh ur. Cikel smo izvedli enkrat in po končanem ciklu smo preizkušance stehtali in jih dali sušiti v sušilno komoro za 22 ur, kjer je bila temperatura 70 °C, vlažnost 10 % ter hitrost zraka 2,5 m/s.

### **3.3.3 Potek delaminacijskega preizkusa - metoda – C**

Priprava na impregnacijo je enaka kot pri postopku A. V tlačni vakuumski komori smo nato ustvarili podtlak 0,85 bar za čas 30 minut. Po iztečenem času smo jih izpostavili ravnovesnemu zračnemu tlaku in začeli povečevati tlak na 6 barov za čas dveh ur. Cikel smo ponovili dvakrat in po končanem drugem ciklu smo preizkušance ponovno stehtali in jih dali sušiti v sušilno komoro za 90 ur, kjer je bila temperatura 27,5 °C, vlažnost 25-35 % ter hitrost zraka 2,5 m/s. Po 90 urah smo preizkušance ponovno stehtali in ocenjevali ter merili nastale razpoke po lepilnih spojih. Sledil je izračun delaminacije.



Slika 10: Priprava preizkušancev pred vakuumiranjem



Slika 11: Prikaz tlačne vakuumske črpalke

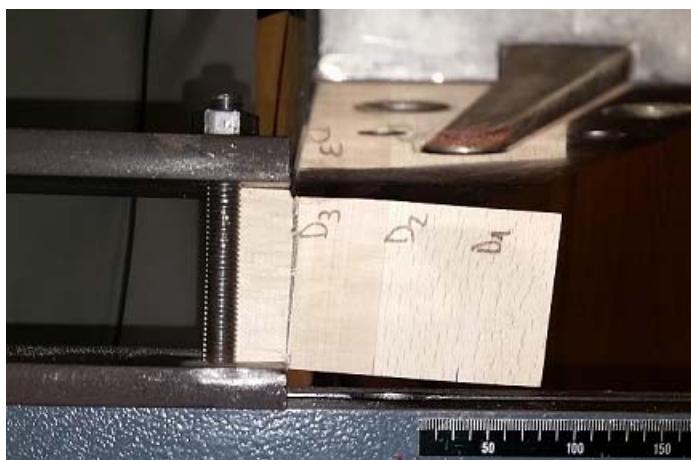


Slika 12: Sušenje preizkušancev v sušilni komori

Komoro smo namenoma pustili delno odprto zaradi lažjega izhajanja vode oziroma vzdrževanja ustrezne vlažnosti zraka.

### 3.4 STRIŽNI TEST

Ko smo preizkušali strižno trdnost smo morali biti natančni pri vstavitevi preizkušancev v trgalni stroj. Dovoljeno odstopanje je zelo majhno in sicer 1 mm. Hitrost pomika smo nastavili tako, da je prišlo do loma po cca. 1 minuti. Računalnik, ki je s strojem povezan, nam je izpisal vse potrebne podatke in izrisal graf obremenitve preizkušanca.



Slika 13: Strižni test preizkušanca



Slika 14: Preizkušanci po strižnem testu

## 4 REZULTATI Z RAZPRAVO

### 4.1 REZULTATI STRIŽNEGA PRESKUSA

V preglednici 5 so prikazani rezultati strižnega testa za preizkušance zlepljene z MUF lepilom, ki so bili pred testiranjem klimatizirani v standardni klimi.

Preglednica 5: Strižna trdnost in lom po lesu lepilnih spojev po klimatiziranju v standardni klimi 20/65 za preizkušance zlepljene z MUF lepilom.

MUF	Spoj	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Op.
		Povprečje obeh letev le + de			Leva testna letev			Desna testna letev		
		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
nosilec 1	1	13,2	100		13,5	100		13,0	100	
	2	14,5	100		14,5	100		14,5	100	
	3	13,9	100		13,7	100		14,1	100	
<b>Povprečje: nosilec 1</b>		<b>13,9</b>	<b>100</b>		<b>13,9</b>	<b>100</b>		<b>13,9</b>	<b>100</b>	
nosilec 2	1	14,0	100		14,2	100		13,8	100	
	2	13,6	100		13,6	100		13,7	100	
	3	13,3	100		12,7	100		13,9	100	
<b>Povprečje: nosilec 2</b>		<b>13,6</b>	<b>100</b>		<b>13,5</b>	<b>100</b>		<b>13,8</b>	<b>100</b>	
nosilec 3	1	13,6	100		12,5	100		14,6	100	
	2	14,5	100		14,4	100		14,5	100	
	3	14,7	100		15,0	100		14,3	100	
<b>Povprečje: nosilec 3</b>		<b>14,2</b>	<b>100</b>		<b>14,0</b>	<b>100</b>		<b>14,5</b>	<b>100</b>	
n <sub>Spoj</sub> / n		9			9			9		
n neustreznih		0			0			0		
<b>Skupno povprečje</b>		<b>13,9</b>	<b>100</b>		<b>13,8</b>	<b>100</b>		<b>14,0</b>	<b>100</b>	
Stand. odklon		0,53	0,00		0,83	0,00		0,52	0,00	
k. v.		4%	0%		6%	0%		4%	0%	
Minimum		13,2	100		12,5	100		13,0	100	
maksimum		14,7	100		15,0	100		14,6	100	

V preglednici 6 so prikazani rezultati strižnega testa za preizkušance zlepljene z PUR lepilom, ki so bili pred testiranjem klimatizirani v standardni klimi.

Preglednica 6: Strižna trdnost in lom po lesu lepilnih spojev po klimatiziranju v standardni klimi 20/65 za preizkušance zlepljene z PUR lepilom.

PUR	Spoj	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Op.
		Povprečje obeh letev le + de			Leva testna letev			Desna testna letev		
		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
nosilec 1	1	14,6	98		15,1	100		14,1	95	
	2	14,5	55		15,7	70		13,4	40	
	3	13,0	55		13,1	100		12,9	10	
<b>Povprečje: nosilec 1</b>		<b>14,1</b>	<b>69</b>		<b>14,6</b>	<b>90</b>		<b>13,5</b>	<b>48</b>	
nosilec 2	1	15,0	75		14,3	55		15,7	95	
	2	12,6	5		12,9	10		12,2	0	
	3	14,2	50		13,7	95		14,6	5	
<b>Povprečje: nosilec 2</b>		<b>13,9</b>	<b>43</b>		<b>13,7</b>	<b>53</b>		<b>14,2</b>	<b>33</b>	
nosilec 3	1	15,3	78		15,7	60		15,0	95	
	2	12,8	53		12,5	80		13,1	25	
	3	11,6	40		12,4	30		10,8	50	
<b>Povprečje: nosilec 3</b>		<b>13,2</b>	<b>57</b>		<b>13,5</b>	<b>57</b>		<b>12,9</b>	<b>57</b>	
n <sub>Spoj</sub> / n		9		9		9		9		
n neustreznih		0		0		0		0		
<b>Povprečje</b>		<b>13,7</b>	<b>56</b>		<b>13,9</b>	<b>67</b>		<b>13,5</b>	<b>46</b>	
Stand. odklon		1,29	26,10		1,32	31,52		1,52	39,98	
k. v.		9%	46%		9%	47%		11%	87%	
Minimum		11,6	5		12,4	10		10,8	0	
maksimum		15,3	98		15,7	100		15,7	95	

Spoji, ki so rdeče obarvani ne ustrezajo zahtevam standarda SIST EN 14080 : 2013.

V preglednici 7 so prikazani rezultati strižnega testa za preizkušance zlepljene z PUR + primer lepilom, ki so bili pred testiranjem klimatizirani v standardni klimi.

Preglednica 7: Strižna trdnost in lom po lesu lepilnih spojev po klimatiziranju v standardni klimi 20/65 za preizkušance zlepljene z PUR + primer lepilom.

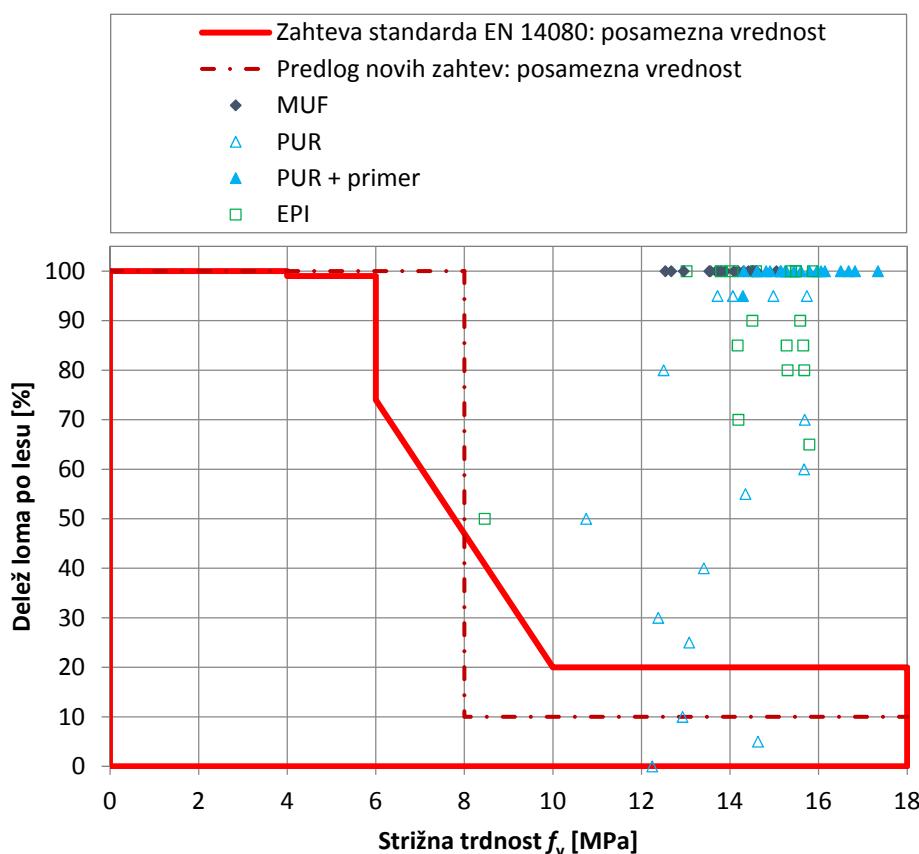
PUR + primer	Spoj	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Op.
		Povprečje obeh letev le + de			Leva testna letev			Desna testna letev		
		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
nosilec 1	1	15,1	100		16,0	100		14,3	100	
	2	17,1	100		16,8	100		17,3	100	
	3	15,2	98		16,1	100		14,3	95	
<b>Povprečje: nosilec 1</b>		<b>15,8</b>	<b>99</b>		<b>16,3</b>	<b>100</b>		<b>15,3</b>	<b>98</b>	
nosilec 2	1	15,3	100		15,8	100		14,8	100	
	2	15,0	100		15,4	100		14,6	100	
	3	16,0	100		16,5	100		15,6	100	
<b>Povprečje: nosilec 2</b>		<b>15,5</b>	<b>100</b>		<b>15,9</b>	<b>100</b>		<b>15,0</b>	<b>100</b>	
nosilec 3	1	15,8	100		16,7	100		14,9	100	
	2	15,2	100		15,2	100		15,2	100	
	3	15,7	100		16,1	100		15,3	100	
<b>Povprečje: nosilec 3</b>		<b>15,6</b>	<b>100</b>		<b>16,0</b>	<b>100</b>		<b>15,1</b>	<b>100</b>	
n <sub>Spoj</sub> / n		9		9		9		9		
n neustreznih		0		0		0		0		
<b>Povprečje</b>		<b>15,6</b>	<b>100</b>		<b>16,1</b>	<b>100</b>		<b>15,1</b>	<b>99</b>	
Stand. odklon		0,65	0,83		0,53	0,00		0,93	1,67	
k. v.		4%	1%		3%	0%		6%	2%	
Minimum		15,0	98		15,2	100		14,3	95	
maksimum		17,1	100		16,8	100		17,3	100	

V preglednici 8 so prikazani rezultati strižnega testa za preizkušance zlepljene z EPI lepilom, ki so bili pred testiranjem klimatizirani v standardni klimi.

Preglednica 8: Strižna trdnost in lom po lesu lepilnih spojev po klimatiziranju v standardni klimi 20/65 za preizkušance zlepljene z EPI lepilom.

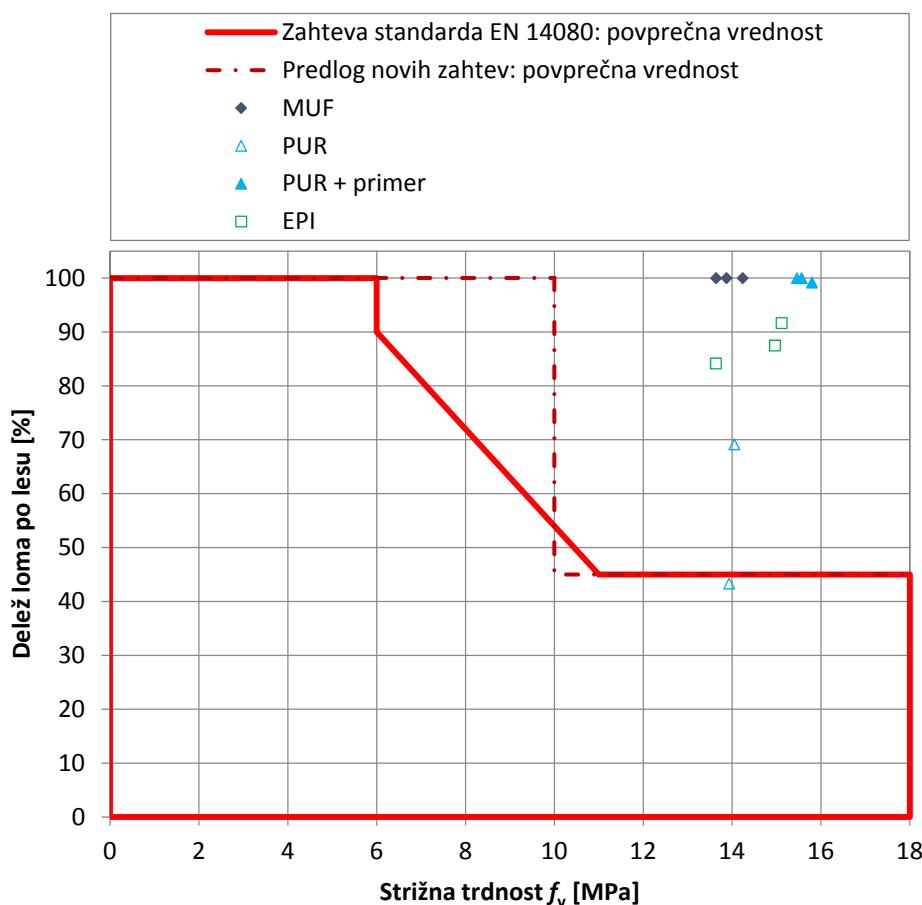
EPI	Spoj	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Op.
		Povprečje obeh letev le + de			Leva testna letev			Desna testna letev		
		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
nosilec 1	1	15,8	83		15,8	65		15,9	100	
	2	14,0	93		14,2	85		13,8	100	
	3	15,1	88		15,7	85		14,5	90	
<b>Povprečje: nosilec 1</b>		<b>15,0</b>	<b>88</b>		<b>15,2</b>	<b>78</b>		<b>14,7</b>	<b>97</b>	
nosilec 2	1	14,8	85		14,2	70		15,5	100	
	2	11,9	68		8,5	50		15,3	85	
	3	14,2	100		13,0	100		15,4	100	
<b>Povprečje: nosilec 2</b>		<b>13,6</b>	<b>84</b>		<b>11,9</b>	<b>73</b>		<b>15,4</b>	<b>95</b>	
nosilec 3	1	14,8	100		15,5	100		14,1	100	
	2	15,6	85		15,7	80		15,6	90	
	3	14,9	90		14,6	100		15,3	80	
<b>Povprečje: nosilec 3</b>		<b>15,1</b>	<b>92</b>		<b>15,3</b>	<b>93</b>		<b>15,0</b>	<b>90</b>	
n <sub>Spoj</sub> / n		9		9		9		9		
n neustreznih		0		0		0		0		
<b>Povprečje</b>		<b>14,6</b>	<b>88</b>		<b>14,1</b>	<b>82</b>		<b>15,0</b>	<b>94</b>	
Stand. odklon		1,17	9,88		2,32	17,50		0,73	7,82	
k. v.		8%	11%		16%	21%		5%	8%	
Minimum		11,9	68		8,5	50		13,8	80	
maksimum		15,8	100		15,8	100		15,9	100	

Na sliki 15 so prikazane zahteve standarda SIST EN 14080:2013 (polna rdeča črta), predlog novih kriterijev za bukov lepljen lameliran les, ki jih predlagata Aicher in Ohnesorge (2011) (prekinjena rdeča črta) in posamezne meritve. Podani kriteriji veljajo za posamezne spoje.



Slika 15: Soodvisnost med deležem loma po lesu lepilnega spoja in strižno trdnostjo lepilnega spoja - posamezne meritve.

Na sliki 16 so prikazane zahteve standarda SIST EN 14080:2013 (polna rdeča črta), predlog novih kriterijev za bukov lepljen lameliran les, ki jih predlagata Aicher in Ohnesorge (2011) (prekinjena rdeča črta) in posamezne meritve. Podani kriteriji veljajo za posamezne spoje.

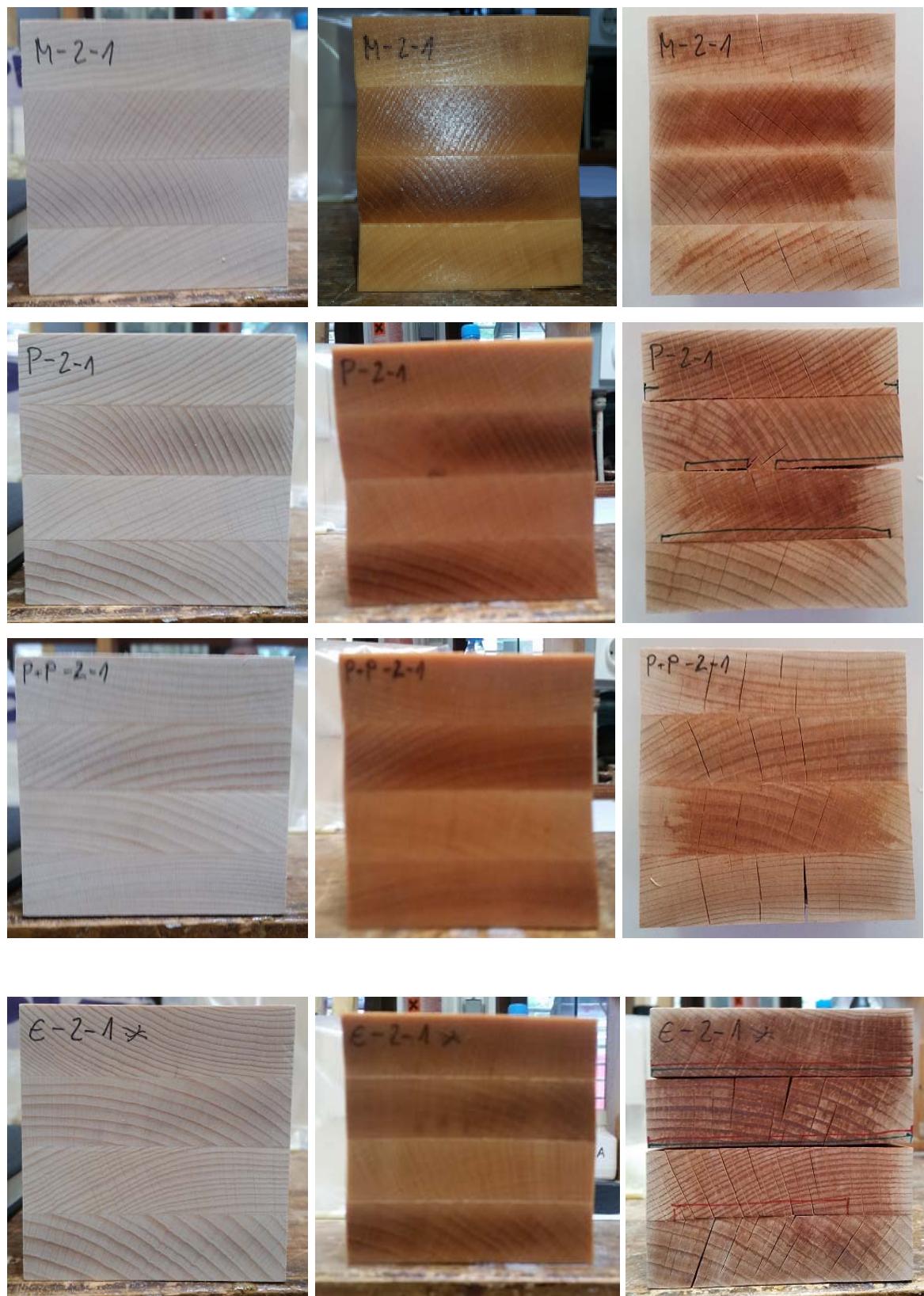


Slika 16: Soodvisnost med deležem loma po lesu lepilnega spoja in strižno trdnostjo lepilnega spoja - povprečne vrednosti za celoten nosilec.

## 4.2 REZULTATI DELAMINACIJSKEGA PRESKUSA

### 4.2.1 Metoda A

Na sliki 17 so prikazani preizkušanci za vsa uporabljena lepila, ki so bili preskušeni po metodi – A.



Slika 17: Preizkušnici za vsa lepila pred namakanjem, po namakanju in po sušenju po postopku A.

Na slikah je razvidno, da so nekateri lepilni spoji popustili pri nosilcih zlepljenih s PUR lepilom brez uporabe primerja ter EPI lepilom.

Zelena barva prikazuje dolžine razslojitev spoja po prvem ciklu, rdeča barva pa po drugem ciklu impregnacije in sušenja.

#### 4.2.1.1 Celotna in maximalna delaminacija - postopek A

V preglednici 9 je prikazana celotna in maksimalna delaminacija za nosilce zlepljene z MUF lepilom, v preglednici 10 za nosilce zlepljene s PUR lepilom brez uporabe primerja, v preglednici 11 za nosilce zlepljene s PUR lepilom z uporabo primerja in v preglednici 12 za nosilce zlepljene z EPI lepilom.

Preglednica 9: Celotna in maksimalna delaminacija za MUF.

MUF	Spoj	Delaminacija [%]		Zahteve		Opomba	
		Cikel		EN 14080			
		2	3	izpolnjene	neizpolnjene		
nosilec 1	1	0,0	0,0				
	2	0,0	0,0				
	3	0,0	0,0				
<b>Celotna delaminacija</b>		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	X			
<b>Maksimalna delaminacija</b>		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	X			
nosilec 2	1	0,0	0,0				
	2	0,0	0,0				
	3	0,0	0,0				
<b>Celotna delaminacija</b>		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	X			
<b>Maksimalna delaminacija</b>		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	X			
nosilec 3	1	0,0	0,0				
	2	0,0	0,0				
	3	0,0	0,0				
<b>Celotna delaminacija</b>		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	X			
<b>Maksimalna delaminacija</b>		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	X			

Preglednica 10: Celotna in maksimalna delaminacija za PUR

PUR	Spoj	Delaminacija [%]		Zahteve		Opomba	
		Cikel		EN 14080			
		2	3	izpolnjene	neizpolnjene		
nosilec 1	1	71,6	0,0				
	2	22,4	0,0				
	3	79,2	0,0				
<b>Celotna delaminacija</b>		<b>57,7</b>	<b>0,0</b>		<b>X</b>		
<b>Maksimalna delaminacija</b>		<b>79,2</b>	<b>0,0</b>				
nosilec 2	1	100,0	0,0				
	2	95,9	0,0				
	3	95,9	0,0				
<b>Celotna delaminacija</b>		<b>97,3</b>	<b>0,0</b>		<b>X</b>		
<b>Maksimalna delaminacija</b>		<b>100,0</b>	<b>0,0</b>				
nosilec 3	1	100,0	0,0				
	2	34,8	0,0				
	3	78,6	0,0				
<b>Celotna delaminacija</b>		<b>71,2</b>	<b>0,0</b>		<b>X</b>		
<b>Maksimalna delaminacija</b>		<b>100,0</b>	<b>0,0</b>				

Preglednica 11: Celotna in maksimalna delaminacija za PUR+P

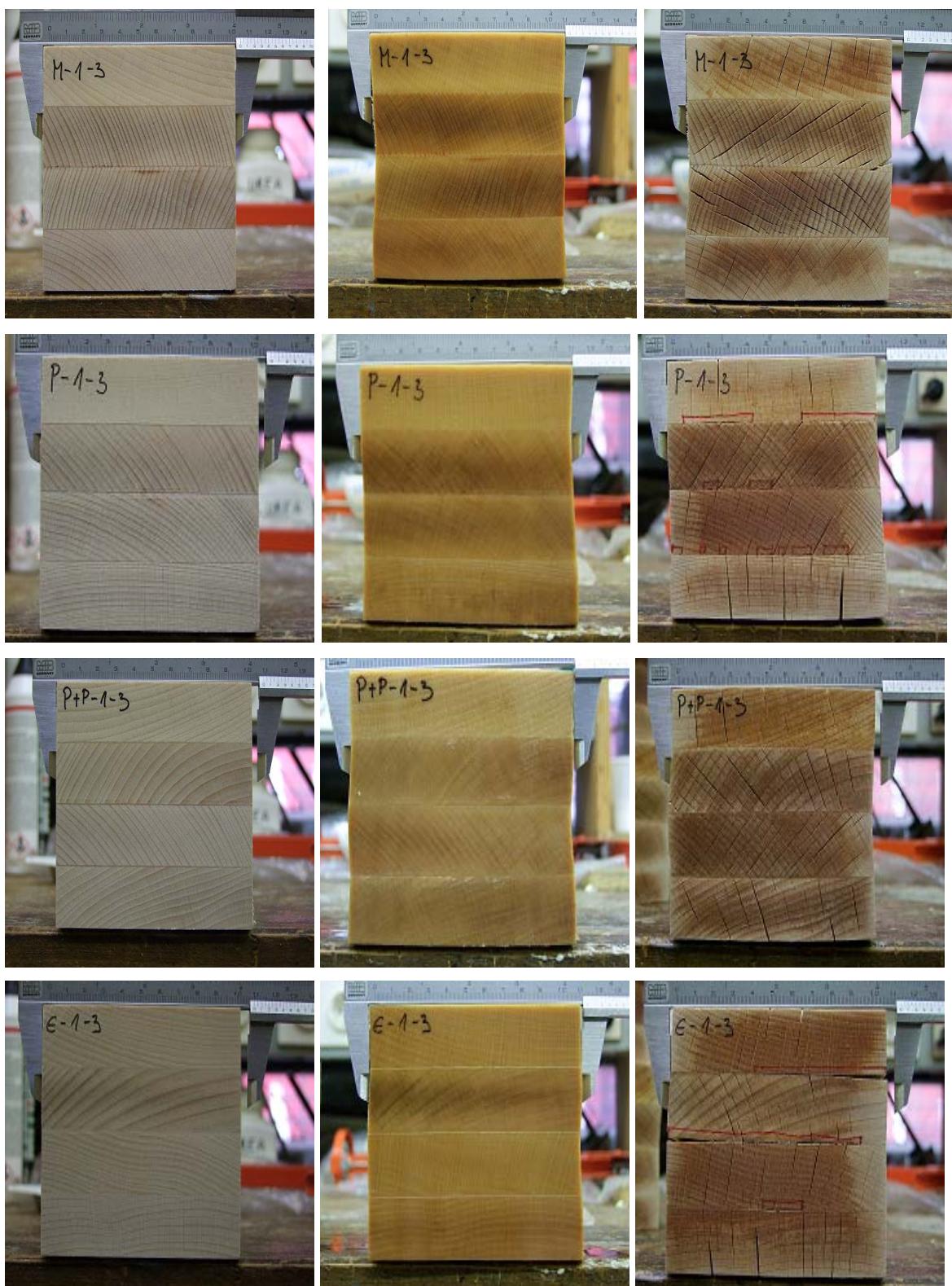
PUR + primer	Spoj	Delaminacija [%]		Zahteve		Opomba	
		Cikel		EN 14080			
		2	3	izpolnjene	neizpolnjene		
nosilec 1	1	13,8	0,0				
	2	0,0	0,0				
	3	0,0	0,0				
<b>Celotna delaminacija</b>		<b>4,6</b>	<b>0,0</b>	X			
<b>Maksimalna delaminacija</b>		<b>13,8</b>	<b>0,0</b>	X			
nosilec 2	1	0,0	0,0				
	2	4,3	0,0				
	3	0,0	0,0				
<b>Celotna delaminacija</b>		<b>1,4</b>	<b>0,0</b>	X			
<b>Maksimalna delaminacija</b>		<b>4,3</b>	<b>0,0</b>	X			
nosilec 3	1	1,4	0,0				
	2	7,2	0,0				
	3	0,0	0,0				
<b>Celotna delaminacija</b>		<b>2,9</b>	<b>0,0</b>	X			
<b>Maksimalna delaminacija</b>		<b>7,2</b>	<b>0,0</b>	X			

Preglednica 12: Celotna in maksimalna delaminacija za EPI

EPI	Spoj	Delaminacija [%]		Zahteve		Opomba	
		Cikel		EN 14080			
		2	3	izpolnjene	neizpolnjene		
nosilec 1	1	60,1	0,0				
	2	55,3	0,0				
	3	34,8	0,0				
<b>Celotna delaminacija</b>		<b>50,1</b>	<b>0,0</b>	X			
<b>Maksimalna delaminacija</b>		<b>60,1</b>	<b>0,0</b>	X			
nosilec 2	1	89,2	0,0				
	2	82,0	0,0				
	3	56,8	0,0				
<b>Celotna delaminacija</b>		<b>76,0</b>	<b>0,0</b>	X			
<b>Maksimalna delaminacija</b>		<b>89,2</b>	<b>0,0</b>	X			
nosilec 3	1	36,7	0,0				
	2	80,1	0,0				
	3	30,5	0,0				
<b>Celotna delaminacija</b>		<b>49,1</b>	<b>0,0</b>	X			
<b>Maksimalna delaminacija</b>		<b>80,1</b>	<b>0,0</b>	X			

#### 4.2.2 Metoda B

Na sliki 18 so prikazani preizkušanci za vsa uporabljena lepila, ki so bili preskušeni po metodi – B.



Slika 18: Preizkušnici za vsa lepila pred namakanjem, po namakanju ter po sušenju po postopku B.

Iz slik je razvidno, da je tudi po postopku B prišlo do popuščanja med lepilnim spojem in lesom pri lepljencih zlepljenih s PUR lepilom brez uporabe primerja in pri lepljencih zlepljenih z EPI lepilom.

#### 4.2.2.1 Celotna in maximalna delaminacija postopek B

V preglednici 13 je prikazana celotna in maksimalna delaminacija za nosilce zlepljene MUF lepilom, v preglednici 14 za nosilce zlepljene s PUR lepilom brez uporabe primerja, v preglednici 15 za nosilce zlepljene s PUR lepilom z uporabo primerja in v preglednici 16 za nosilce zlepljene z EPI lepilom.

Preglednica 13: Celotna in maksimalna delaminacija za MUF

MUF	Spoj	Delaminacija [%]		Zahteve EN 14080		Opomba	
		Cikel		izpolnjene	neizpolnjene		
		1	2				
nosilec 1	1	0,0					
	2	0,0					
	3	0,0					
<b>Celotna delaminacija</b>		<b>0,0</b>		X			
<b>Maksimalna delaminacija</b>		<b>0,0</b>		X			
nosilec 2	1	0,0					
	2	0,0					
	3	0,0					
<b>Celotna delaminacija</b>		<b>0,0</b>		X			
<b>Maksimalna delaminacija</b>		<b>0,0</b>		X			
nosilec 3	1	0,0					
	2	0,0					
	3	0,0					
<b>Celotna delaminacija</b>		<b>0,0</b>		X			
<b>Maksimalna delaminacija</b>		<b>0,0</b>		X			

Preglednica 14: Celotna in maksimalna delaminacija za PUR

PUR	Spoj	Delaminacija [%]		Zahteve EN 14080		Opomba	
		Cikel					
		1	2	izpolnjene	neizpolnjene		
nosilec 1	1	39,1					
	2	22,9					
	3	38,6					
Celotna delaminacija		33,5			X		
Maksimalna delaminacija		39,1			X		
nosilec 2	1	98,0					
	2	98,2					
	3	100,0					
Celotna delaminacija		98,9			X		
Maksimalna delaminacija		100,0			X		
nosilec 3	1	90,0					
	2	11,0					
	3	85,7					
Celotna delaminacija		62,2			X		
Maksimalna delaminacija		90,0			X		

Preglednica 15: Celotna in maksimalna delaminacija za PUR+P

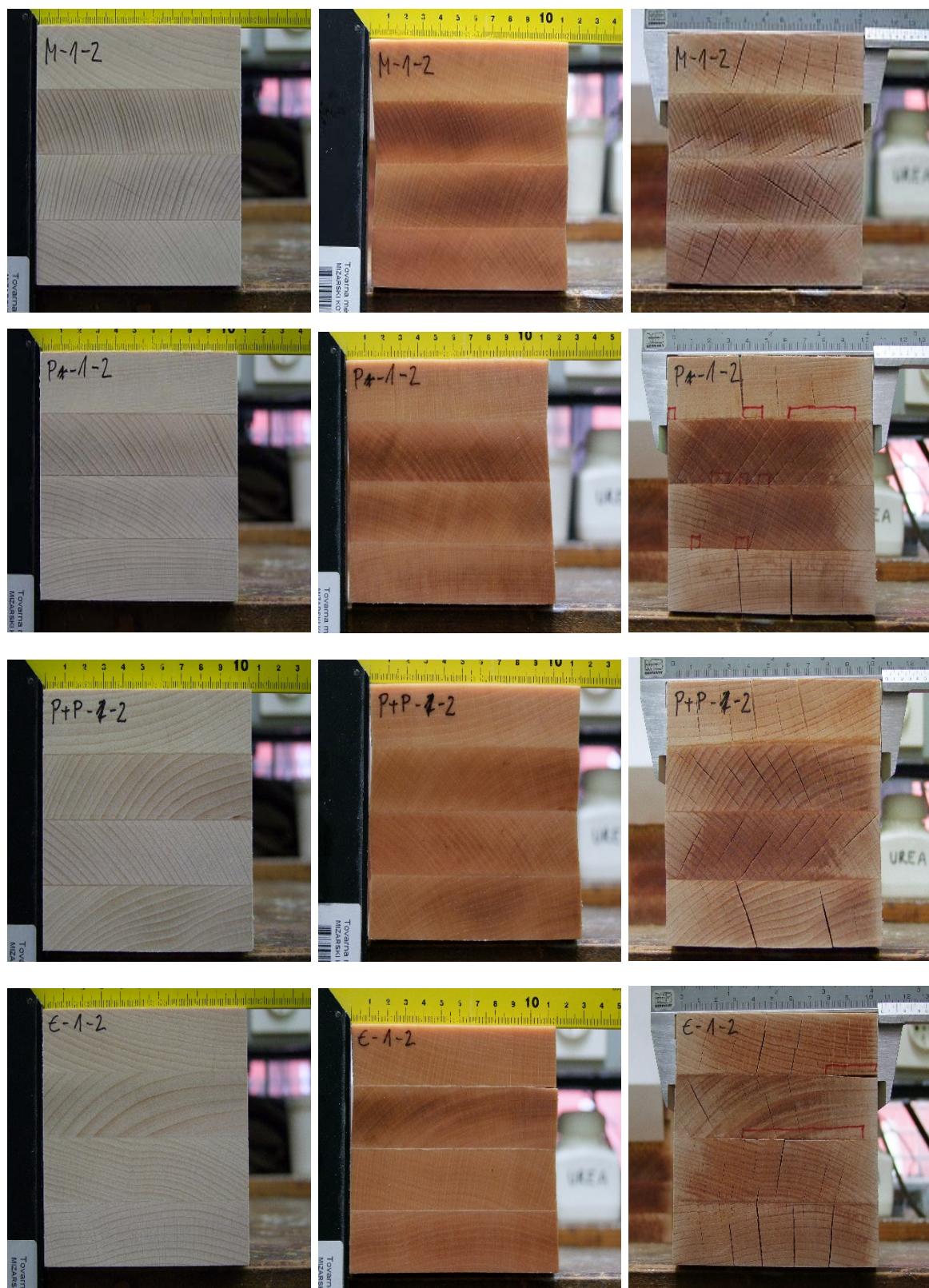
PUR + primer	Spoj	Delaminacija [%]		Zahteve EN 14080		Opomba	
		Cikel					
		1	2	izpolnjene	neizpolnjene		
nosilec 1	1	1,9					
	2	0,0					
	3	0,0					
Celotna delaminacija		0,6		X			
Maksimalna delaminacija		1,9		X			
nosilec 2	1	8,6					
	2	0,0					
	3	0,0					
Celotna delaminacija		2,9		X			
Maksimalna delaminacija		8,6		X			
nosilec 3	1	0,0					
	2	0,0					
	3	0,0					
Celotna delaminacija		0,0		X			
Maksimalna delaminacija		0,0		X			

Preglednica 16: Celotna in maksimalna delaminacija za EPI

EPI	Spoj	Delaminacija [%]		Zahteve EN 14080		Opomba	
		Cikel					
		1	2	izpolnjene	neizpolnjene		
nosilec 1	1	65,4	0,0				
	2	86,3	0,0				
	3	44,8	0,0				
<b>Celotna delaminacija</b>		<b>65,5</b>	<b>0,0</b>		<b>X</b>		
<b>Maksimalna delaminacija</b>		<b>86,3</b>	<b>0,0</b>		<b>X</b>		
nosilec 2	1	100,0	0,0				
	2	95,8	0,0				
	3	48,1	0,0				
<b>Celotna delaminacija</b>		<b>81,3</b>	<b>0,0</b>		<b>X</b>		
<b>Maksimalna delaminacija</b>		<b>100,0</b>	<b>0,0</b>		<b>X</b>		
nosilec 3	1	57,2	0,0				
	2	58,1	0,0				
	3	35,3	0,0				
<b>Celotna delaminacija</b>		<b>50,2</b>	<b>0,0</b>		<b>X</b>		
<b>Maksimalna delaminacija</b>		<b>58,1</b>	<b>0,0</b>		<b>X</b>		

#### 4.2.3 Metoda C

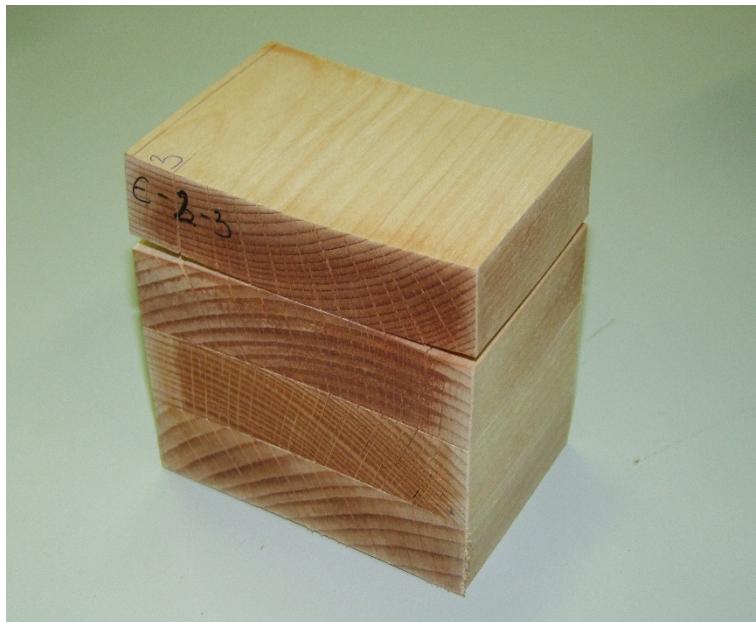
Na sliki 19 so prikazani preizkušanci za vsa uporabljena lepila, ki so bili preskušeni po metodi – C.



Slika 19: Preizkušnici za vsa lepila pred namakanjem, po namakanju ter po sušenju po postopku C.

Iz slik je razvidno, da so začeli tudi po metodi C spoji med sušenjem popuščati.

Iz vseh slik razberemo, da je EPI lepilo za preizkus delaminacije najslabše, saj so se spoji najbolj razslojili ravno pri tem lepilu zato to lepilo ni primerno za lepljenje bukovih nosilcev.



Slika 20: Delaminacija EPI lepilega spoja med sušenjem

Drugo najslabše lepilo je bilo poliuretensko lepilo brez uporabe primerja (PUR), ki tudi ne dosega zahtev standarda SIST EN 14080:2013.



Slika 21: Delaminacija PUR lepilnega spoja v celoti že med namakanjem preizkušancev.

Spoj je v celoti popustil že v vakuumski posodi med namakanjem. Vzroki so seveda različni; vlažnost lamele med lepljenjem, nanos lepila, tangencialni les..., preslab adhezija.

#### 4.2.3.1 Celotna in maximalna delaminacija postopek C

V preglednici 17 je prikazana celotna in maksimalna delaminacija za nosilce zlepljene z MUF lepilom, v preglednici 18 za nosilce zlepljene s PUR lepilom brez uporabe primerja, v preglednici 19 za nosilce zlepljene s PUR lepilom z uporabo primerja in v preglednici 20 za nosilce zlepljene z EPI lepilom.

Preglednica 17: Celotna in maksimalna delaminacija za MUF

MUF	Spoj	Delaminacija [%]	Zahteve		Opomba	
			EN 14080			
			Cikel	izpolnjene		
nosilec 1	1	0,0	1			
	2	0,0	2			
	3	0,0	3			
Celotna delaminacija		0,0		X		
Maksimalna delaminacija		0,0		X		
nosilec 2	1	0,0				
	2	0,0				
	3	0,0				
Celotna delaminacija		0,0		X		
Maksimalna delaminacija		0,0		X		
nosilec 3	1	0,0				
	2	0,0				
	3	0,0				
Celotna delaminacija		0,0		X		
Maksimalna delaminacija		0,0		X		

Preglednica 18: Celotna in maksimalna delaminacija za PUR

PUR	Spoj	Delaminacija [%]		Zahteve EN 14080		Opomba	
		Cikel		izpolnjene	neizpolnjene		
		1					
nosilec 1	1	27,2					
	2	11,0					
	3	14,8					
Celotna delaminacija		17,6			X		
Maksimalna delaminacija		27,2		X			
nosilec 2	1	96,0					
	2	93,0					
	3	94,4					
Celotna delaminacija		94,6			X		
Maksimalna delaminacija		96,0			X		
nosilec 3	1	76,0					
	2	6,2					
	3	74,4					
Celotna delaminacija		52,3			X		
Maksimalna delaminacija		76,0			X		

Preglednica 19: Celotna in maksimalna delaminacija za PUR+P

PUR + primer	Spoj	Delaminacija [%]		Zahteve EN 14080		Opomba	
		Cikel		izpolnjene	neizpolnjene		
		1					
nosilec 1	1	0,0					
	2	0,0					
	3	0,0					
Celotna delaminacija		0,0		X			
Maksimalna delaminacija		0,0		X			
nosilec 2	1	0,0					
	2	0,0					
	3	0,0					
Celotna delaminacija		0,0		X			
Maksimalna delaminacija		0,0		X			
nosilec 3	1	0,0					
	2	0,0					
	3	0,0					
Celotna delaminacija		0,0		X			
Maksimalna delaminacija		0,0		X			

Preglednica 20: Celotna in maksimalna delaminacija za EPI

EPI	Spoj	Delaminacija [%]		Zahteve EN 14080		Opomba	
		Cikel		izpolnjene	neizpolnjene		
		1					
nosilec 1	1	28,1					
	2	63,4					
	3	0,0					
<b>Celotna delaminacija</b>		<b>30,5</b>			<b>X</b>		
<b>Maksimalna delaminacija</b>		<b>63,4</b>			<b>X</b>		
nosilec 2	1	72,0					
	2	36,2					
	3	0,0					
<b>Celotna delaminacija</b>		<b>36,1</b>			<b>X</b>		
<b>Maksimalna delaminacija</b>		<b>72,0</b>			<b>X</b>		
nosilec 3	1	27,7					
	2	31,0					
	3	0,0					
<b>Celotna delaminacija</b>		<b>19,5</b>			<b>X</b>		
<b>Maksimalna delaminacija</b>		<b>31,0</b>			<b>X</b>		

#### 4.3 REZULTATI STRIŽNE TRDNOSTI LEPILNIH SPOJEV PO IMPREGNACIJI Z VODO

Pri tem preizkusu smo strižne preizkušance stehtali, impregnirali z vodo v tlačni vakuumski komori (30 minut podtlaka 0,85 bar, nadtlak 6 bar 2 uri) ter sušili v sušilniku pri 70 °C.

Zahteve SIST EN 14080:2013 in predlog novih zahtev za pripravo B2h.

Preglednica 21: Minimalni deleži loma po lesu glede na strižno trdnost  $f_v$ 

	Povprečje za celoten prerez nosilca			Posamezne vrednosti			
	Strižna trdnost $f_v$ v N/mm <sup>2</sup>	6 / 8	8 / 8	$f_v \geq 11 / 8$	$4 \leq f_v < 6 / 6$	6 / 6	$f_v \geq 10 / 6$
Minimalni delež loma po lesu v % <sup>b</sup>	90 / 10	72 / 10		45 / 10	100 / 40	74 / 40	20 / 40

- Za vmesne vrednosti je potrebno uporabiti linearno interpolacijo
- za povprečja izračunamo minimalni delež loma po lesu v %: 144 - ( 9  $f_v$  ). Za posamezne vrednosti je minimalni delež loma po lesu za strižno trdnost  $f_v \geq 6,0$  N/mm<sup>2</sup> v %: 153,3 - ( 13,3  $f_v$  )

Preglednica 22: Povprečja za strižno trdnost MUF lepilnih spojev po impregnaciji in sušenju

MUF	Spoj	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.
		Povprečje obeh letev le + de			Leva testna letev			Desna testna letev		
		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
nosilec 1	1	8,1	100		7,9	100		8,2	100	
	2	8,1	100		7,6	100		8,5	100	
	3	9,0	100		8,7	100		9,3	100	
<b>Povprečje: nosilec 1</b>		<b>8,4</b>	<b>100</b>		<b>8,1</b>	<b>100</b>		<b>8,7</b>	<b>100</b>	
nosilec 2	1	9,0	100		9,3	100		8,7	100	
	2	8,3	100		8,7	100		8,0	100	
	3	8,0	100		7,9	100		8,1	100	
<b>Povprečje: nosilec 2</b>		<b>8,4</b>	<b>100</b>		<b>8,6</b>	<b>100</b>		<b>8,2</b>	<b>100</b>	
nosilec 3	1	9,0	100		8,9	100		9,2	100	
	2	8,9	93		8,9	100		8,9	85	
	3	9,8	95		9,2	100		10,5	90	
<b>Povprečje: nosilec 3</b>		<b>9,3</b>	<b>96</b>		<b>9,0</b>	<b>100</b>		<b>9,5</b>	<b>92</b>	
n <sub>Spoj</sub> / n		9		9		9		9		
n neustreznih		0		0		0		0		
<b>Skupno povprečje</b>		<b>8,7</b>	<b>99</b>		<b>8,6</b>	<b>100</b>		<b>8,8</b>	<b>97</b>	
Stand. odklon		0,61	2,83		0,60	0,00		0,77	5,65	
k. v.		7%	3%		7%	0%		9%	6%	
Minimum		8,0	93		7,6	100		8,0	85	
maksimum		9,8	100		9,3	100		10,5	100	

Preglednica 23: Povprečja za strižno trdnost PUR lepilnih spojev po impregnaciji in sušenju

PUR	Spoj	Trdnost $f_u$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_u$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_u$	Lom po lesu	Opom.
		Povprečje obeh letev le + de			Leva testna letev			Desna testna letev		
		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
nosilec 1	1	7,4	0		6,9	0		8,0	0	
	2	7,3	0		7,4	0		7,2	0	
	3	5,3	0		5,6	0		4,9	0	
<b>Povprečje: nosilec 1</b>		<b>6,7</b>	<b>0</b>		<b>6,6</b>	<b>0</b>		<b>6,7</b>	<b>0</b>	
nosilec 2	1	1,8	0		2,7	0		0,8	0	
	2	5,1	0		5,7	0		4,4	0	
	3	1,8	0		1,3	0		2,3	0	
<b>Povprečje: nosilec 2</b>		<b>2,9</b>	<b>0</b>		<b>3,2</b>	<b>0</b>		<b>2,5</b>	<b>0</b>	
nosilec 3	1	5,8	0		4,8	0		6,7	0	
	2	6,7	3		6,2	5		7,2	0	
	3	4,5	0		4,2	0		4,9	0	
<b>Povprečje: nosilec 3</b>		<b>5,7</b>	<b>1</b>		<b>5,1</b>	<b>2</b>		<b>6,3</b>	<b>0</b>	
n <sub>Spoj</sub> / n		9		9		9		9		
n neustreznih		0		0		0		0		
<b>Povprečje</b>		<b>5,1</b>	<b>0</b>		<b>5,0</b>	<b>1</b>		<b>5,2</b>	<b>0</b>	
Stand. odklon		2,11	0,83		1,98	1,67		2,40	0,00	
k. v.		42%	300%		40%	300%		47%	0%	
Minimum		1,8	0		1,3	0		0,8	0	
maksimum		7,4	3		7,4	5		8,0	0	

Rdeče obarvani rezultati ne ustrezajo zahtevam standarda SIST EN 14080 : 2013.

Preglednica 24: Povprečja za strižno trdnost PUR+P lepilnih spojev po impregnaciji in sušenju

PUR + primer	Spoj	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.
		Povprečje obeh letev le + de			Leva testna letev			Desna testna letev		
		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
nosilec 1	1	8,9	100		8,7	100		9,1	100	
	2	8,8	75		9,2	100		8,3	50	
	3	9,3	35		9,3	40		9,3	30	
<b>Povprečje: nosilec 1</b>		<b>9,0</b>	<b>70</b>		<b>9,1</b>	<b>80</b>		<b>8,9</b>	<b>60</b>	
nosilec 2	1	10,1	68		10,2	85		10,0	50	
	2	7,8	20		7,8	20		7,8	20	
	3	7,6	35		8,2	50		7,0	20	
<b>Povprečje: nosilec 2</b>		<b>8,5</b>	<b>41</b>		<b>8,8</b>	<b>52</b>		<b>8,2</b>	<b>30</b>	
nosilec 3	1	9,2	50		9,2	30		9,2	70	
	2	9,4	30		9,5	30		9,3	30	
	3	8,9	40		9,0	10		8,9	70	
<b>Povprečje: nosilec 3</b>		<b>9,2</b>	<b>40</b>		<b>9,2</b>	<b>23</b>		<b>9,1</b>	<b>57</b>	
n <sub>Spoj</sub> / n		9			9			9		
n neustreznih		0			0			0		
<b>Povprečje</b>		<b>8,9</b>	<b>50</b>		<b>9,0</b>	<b>52</b>		<b>8,8</b>	<b>49</b>	
Stand. odklon		0,79	25,69		0,71	34,64		0,93	27,13	
k. v.		9%	51%		8%	67%		11%	55%	
Minimum		7,6	20		7,8	10		7,0	20	
maksimum		10,1	100		10,2	100		10,0	100	

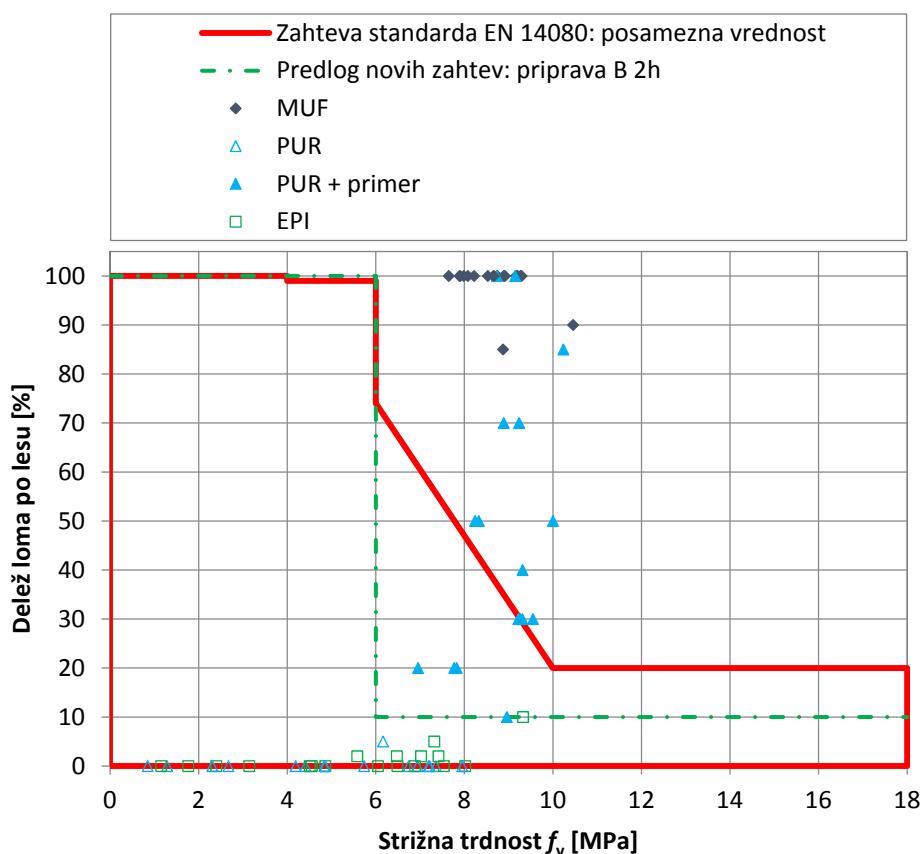
Preglednica 25: Povprečja za strižno trdnost EPI lepilnih spojev po impregnaciji in sušenju

EPI	Spoj	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.
		Povprečje obeh letev le + de			Leva testna letev			Desna testna letev		
		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
nosilec 1	1	8,4	5		7,5	0		9,3	10	
	2	5,5	0		6,5	0		4,5	0	
	3	3,5	0		2,4	0		4,6	0	
<b>Povprečje: nosilec 1</b>		<b>5,8</b>	<b>2</b>		<b>5,5</b>	<b>0</b>		<b>6,1</b>	<b>3</b>	
nosilec 2	1	7,1	3		7,3	5		6,9	0	
	2	5,5	0		4,9	0		6,1	0	
	3	2,1	0		3,1	0		1,2	0	
<b>Povprečje: nosilec 2</b>		<b>4,9</b>	<b>1</b>		<b>5,1</b>	<b>2</b>		<b>4,7</b>	<b>0</b>	
nosilec 3	1	7,5	1		8,0	0		7,0	2	
	2	6,9	2		7,4	2		6,5	2	
	3	3,7	1		1,8	0		5,6	2	
<b>Povprečje: nosilec 3</b>		<b>6,0</b>	<b>1</b>		<b>5,7</b>	<b>1</b>		<b>6,4</b>	<b>2</b>	
$n_{\text{Spoj}} / n$		9			9			9		
n neustreznih		0			0			0		
<b>Povprečje</b>		<b>5,6</b>	<b>1</b>		<b>5,4</b>	<b>1</b>		<b>5,7</b>	<b>2</b>	
Stand. odklon		2,12	1,68		2,45	1,72		2,25	3,23	
k. v.		38%	131%		45%	221%		39%	182%	
Minimum		2,1	0		1,8	0		1,2	0	
maksimum		8,4	5		8,0	5		9,3	10	

Rdeče obarvani rezultati ne ustrezajo zahtevam standarda SIST EN 14080 : 2013.

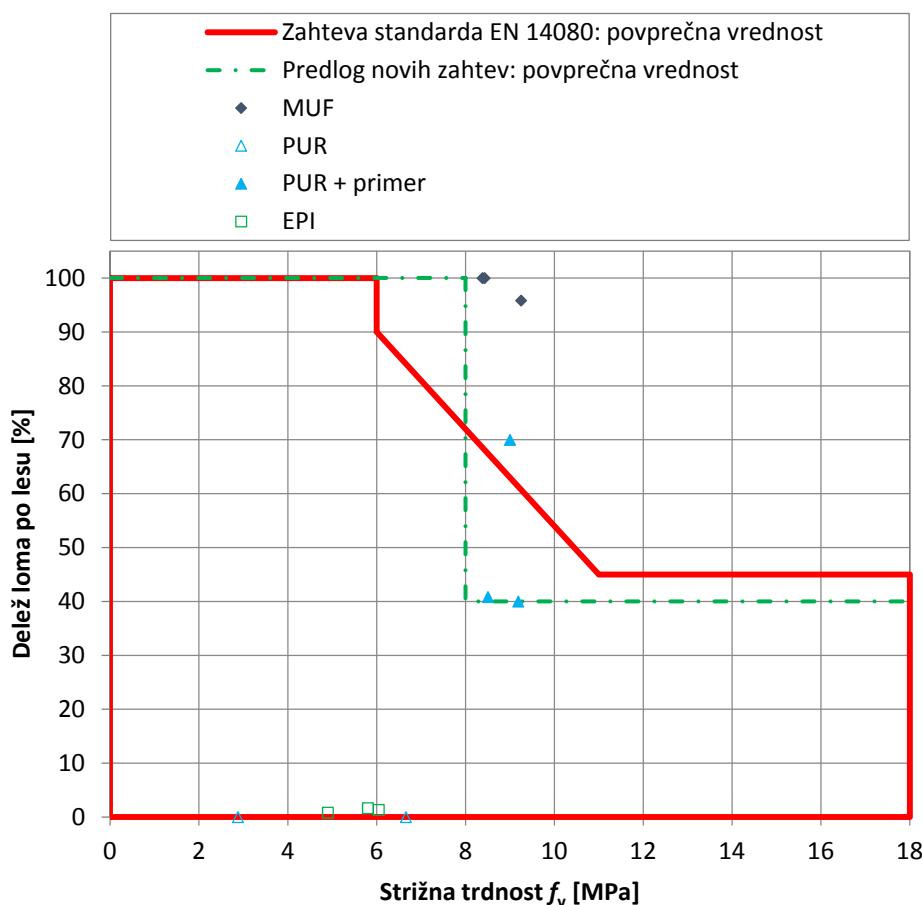
Pri preizkušanju trdnosti lepilnih spojev, ki smo jih oslabili po metodi, ki je opisana v standardu SIST EN 14080:2013 je razvidno, da smo z impregniranjem preizkušancev (30 minut podtlak 0,85 in nadtlak 2 uri 6 bar) zmanjšali porušitvene sile.

Na sliki 22 je prikazana zahteva standarda SIST EN 14080 : 2013. Pri preizkušanju trdnosti lepilnih spojev po metodi, ki je opisana v standardu SIST EN 14080 : 2013 smo zabeležili nekoliko nižje rezultate kot v prejšnji metodi brez umetnega staranja preizkušancev. Rezultati, ki so prikazani veljajo za levo testno letv. Rezultati so nekoliko nižji kot pri desni letvi.



Slika 22: Rezultati strižnega testa za posamezne lepilne spoje.

Na sliki 23 je prikazana zahteva standarda SIST EN 14080 : 2013. Pri preizkušanju trdnosti lepilnih spojev po metodi, ki je opisana v standardu SIST EN 14080 : 2013 smo zabeležili nekoliko nižje rezultate kot v prejšnji metodi brez umetnega staranja preizkušancev. Rezultati, ki so prikazani veljajo za desno testno letv. Strižna trdnost ter delež loma lepilnega spoja sta bila pri desni letvi nekoliko višja kot pri levi.



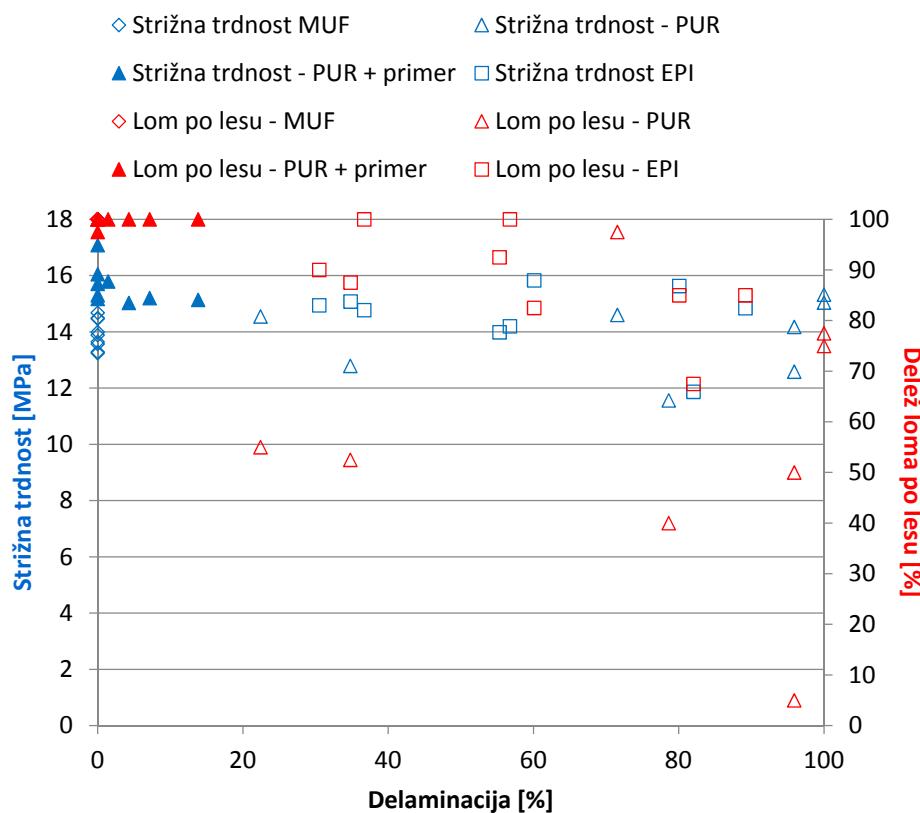
Slika 23: Rezultati strižnega testa za posamezne lepilne spoje ( povprečje desne letve )

Nove zahteve: impregnacija + 2h sušenja pri 70 °C

Zahteve za strižno trdnost A2 in A4 EN 15425

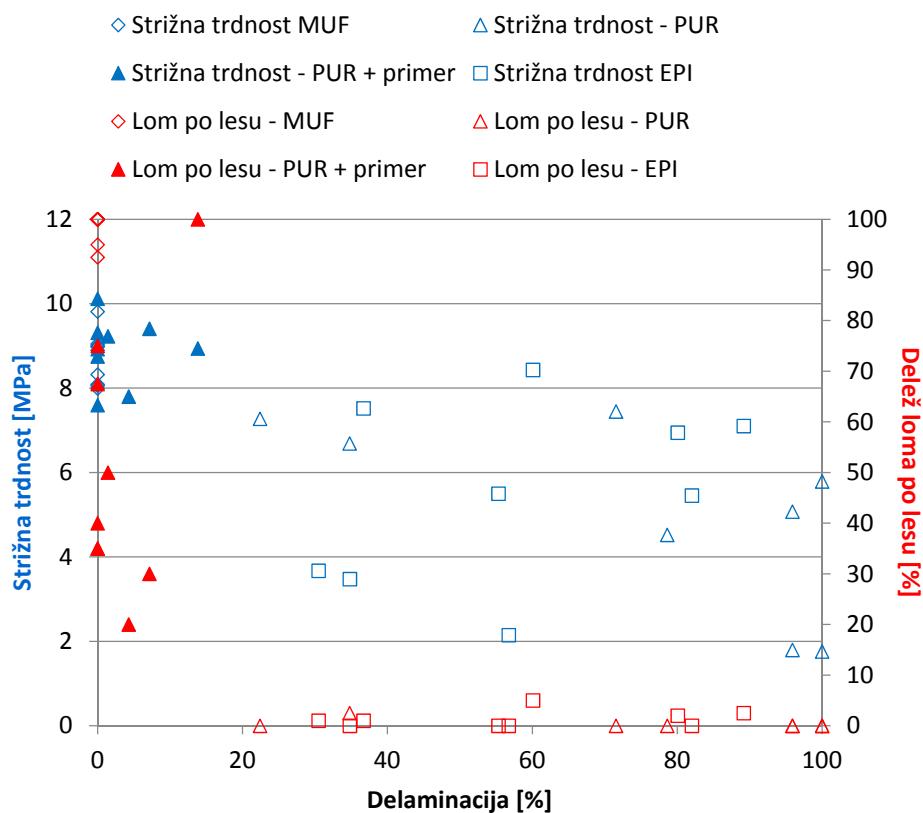
#### 4.4 KORELACIJE MED REZULTATI STRIŽNEGA IN DELAMINACIJSKEGA PRESKUSA

Na sliki 24 je prikazana povezava med rezultati strižnega preskusa, ki so bili dobljeni na preskušancih uravnovešenih v standardni klimi in rezultati delaminacijskega preskusa.



Slika 24: Korelacija med rezultati strižnega in delaminacijskega preskusa – standardna klima

Na sliki 25 je prikazana povezava med rezultati strižnega preskusa, ki so bili dobljeni na preskušancih, ki so bili umetno starani (prepojeni z vodo in sušeni pri 70 °C) uravnovešenih v standardni klimi in rezultati delaminacijskega preskusa.



Slika 25: Korelacija med rezultati strižnega in delaminacijskega preskusa – umetno staranje.

## 5 RAZPRAVA IN UGOTOVITVE

### 5.1 RAZPRAVA

V raziskovalnem delu smo želeli ugotoviti odpornost proti delaminaciji in strižno trdnost lepilnih spojev lameliranih bukovih lepljencev, ki so bili lepljeni s tremi konstrukcijskimi lepili ter ugotoviti vpliv uporabe primerja ( temelja ) na kakovost zlepljenosti lepilnih spojev, ter katero lepilo se bo najbolj približalo zahtevam standarda EN 14080 : 2013. Med vsemi štirimi lepili se je najbolj izkazalo lepilo MUF, ker ni popustilo ne v strižnem ne v delaminacijskem testu.

Pri pravilni uporabi MUF lepila ter trdilca nudi lepilo popolno vodooodbojnost spojev, ki ustrezajo Type I glede na EN 301, Evropski standard za lepljene nosilce. Lepilo PUR + primer je v delaminacijskem in strižnem testu pokazalo tudi zelo dobre rezultate, razen pri zadnjem testu strižne trdnosti lepilnih spojev po impregnaciji z vodo je popustilo.

Vloga primerja je v tem, da dobimo z uporabo le tega homogene pogoje in kvaliteto lepilnega spoja, ki ustreza zahtevam standarda. Z uporabo primerja omogočimo enakomerno vpijanje lepila po površini. Lepili PUR ter EPI sta se izkazali za najslabši lepili v vseh testih, ki smo jih izvajali.

### 5.2 SKLEPI

Na osnovi opravljenih raziskav smo ugotovili, da:

Največjo strižno trdnost lepilega spoja so izkazovali bukovi preizkušanci lepljeni z MUF lepilom, sledili so jim preizkušanci lepljeni z PUR + P lepilom. Zahtevam standarda so ustrezali lepilni spoji MUF ter lepilni spoji PUR + P.

Z vidika delaminacije so najboljše rezultate izkazovali preizkušanci lepljeni z lepilom MUF ter lepilom PUR + P. Zahtevam standarda so ustrezali lepilni spoji MUF ter lepilni spoji PUR + P.

Uporaba primerja s PUR lepilom je povečala strižno trdnost spojev in zmanjšala delaminacijo.

## 4 POVZETEK

Bukovina je visokokakovosten les, ki je cenjen zaradi njegove homogene anatomske zgradbe, dobrih elasto-mehanskih in tehnoloških lastnosti ter značilne barve in enakomerne teksture. Največ se je uporabi v pohištveni industriji ter v zadnjem času v konstrukcijske namene. Pred ostalimi konstrukcijami imajo konstrukcije iz lepljenih nosilcev velike prednosti. V lesni industriji se v ta namen uporablajo lepila za lepljenje nosilcev, ki morajo zadostiti visokim zahtevam standarda za konstrukcijska lepila. Ugotavliali smo katera konstrukcijska lepila zadostijo zahtevam standarda SIST EN 14080 : 2013.

V preizkusu smo uporabili bukov les, ki je bil klimatiziran v standardni klimi. Lamele smo izžagali iz nerobljenih desk debeline 33 mm na tračnem žagalnem stroju z nadmerami. Dokončno smo lamele obžagali ter poskobljali tik pred lepljenjem zaradi čistosti površine ter vlažnosti lamel.

Za lepljenje preizkušancev smo uporabili lepila:

- Melamin – urea formaldehidno ( MUF )
- Poliuretansko ( PUR )
- Poliuretansko + primer ( PUR+P )
- Emulzijsko ( EPI )

Nanašanje lepila smo izvajali na digitalni tehnicni ter ga z lopaticami raznesli po vsej površini lamele. Količina nanosa je bila nanešena po navodilih proizvajalca. Odprtji čas ter čas stiskanja nam je predpisal tudi sam proizvajalec lepila. Iz nosilcev smo izžagali preizkušance za delaminacijski ter strižni test kot to zahteva standard SIST EN 14080 : 2013. Strižni test smo izvajali s testnim strojem, ki nam je izmeril maximalno porušitveno silo in vse podatke zapisoval ter izrisal graf deformacij. Lom po lesu smo ocenjevali vizualno, medtem ko smo pri delaminaciji merili razpoke s kljunastim merilom.

Strižni test lepilnih spojev je pri vseh lepilih pokazal dokaj dobre rezultate. Najboljši rezultati so bili pri lepilu MUF ter lepilu PUR + primer, dobre rezultate sta imeli tudi lepili PUR ter lepilo EPI.

Delaminacijski preizkus je pokazal, da je lepilo MUF in lepilo PUR + P po vseh treh metodah zadovoljilo zahteve standarda EN 14080:2013. Lepilo MUF je doseglo odlične rezultate in ni v nobeni metodi impregniranja popustilo med spojem in lesom.

V nadalnjih raziskavah bi bilo smotrno bukovino pred obdelavo pariti, da zmanjšamo sile delovanja v lesu in šele nato lepiti lamele v nosilce.

## 5 VIRI

Aicher S., Ohnesorge D. 2011. Shear strength of glued laminated timber made from European Beech timber. Eur. J. Wood Prod., 69: 143–154

Čufar K. 2006. Opisi lesnih vrst. Študijsko gradivo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 142 str.

FRANKLIN INTERNATIONAL. Tehnični list.

[www.franklinadhesivesandpolymers.com](http://www.franklinadhesivesandpolymers.com) (13.8.2016)

Gorišek Ž. 2005. Les, Zgradba in lastnosti njegova variabilnost in heterogenost. Študijsko gradivo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 178 str.

Hoja – Lepljene konstrukcije. 2005.

K.L.P. d.o.o., 2016. Tehnični list za lepila. Mengeš.

[www.klp.si](http://www.klp.si) (13.8.2016)

Pohleven F., Resnik J., Seje F. 1991. Lesene inženirske konstrukcije. Nova proizvodnja, 42, 5: 231 – 250

Resnik J. 1989. Lepila in lepljenje lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 103 str.

RUBNER – gradnja z lesom. 2016.

[www.rubner.si/gradnje/proizvodi/lepljen-les.html](http://www.rubner.si/gradnje/proizvodi/lepljen-les.html) (13.8.2016)

SIST EN 14080. Timber structures- Glued laminated timber and glued solid timber – requirements. 2013: 105 str

SIST EN 301. Adhesives, phenolic and aminoplastic, for load-bearing timber structures – Classification and performance requirements. 2013: 66 str

Srpčič J. 2016. Novi standardi za lepljen les, vgrajen v zgradbe. Ljubljana, ZAG.

[www.ditles.si/Gradiva/GATE-PS-Srpctic.pdf](http://www.ditles.si/Gradiva/GATE-PS-Srpctic.pdf) (13.8.2016)

Šega B. 2005. Ugotavljanje kakovosti zlepljenosti lesnih tvoriv. Les. 57, 5: 148-154

Šernek M., Ugovšek A. 2012. Proučevanje vpliva količine katalizatorja na utrjevanje urea –formaldehidnega in melamin-urea-formaldehidnega lepila z diferenčno dinamično kalorimetri. Les, 64, 1/2: 6-11

Zajc A. 2005. Vpliv časa stiskanja na strižno trdnost in delaminacijo lepilnih spojev. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 53 str.

## ZAHVALA

Za vodenje in pomoč pri diplomskem delu se zahvaljujem mentorju prof. dr. Miljanu Šerneku in viš. pred. mag. Bogdanu Šegi, ter recenzentki izr. prof. dr. Manji Kitek Kuzman.

Za pomoč pri izdelavi preizkušancev se zahvaljujem tehničnemu sodelavcu Janiju Renku.

Posebna zahvala gre viš. pred. mag. Bogdanu Šegi, ki me je vodil čez celotno diplomsko nalogu, mi pomagal pri preizkušancih, lepljenju ter sami izvedbi testov, ki so bili potrebni za izdelavo diplomske naloge.

Zahvala tudi katedri za patologijo in zaščito lesa, katere sodelavci so mi omogočili izvajanje testiranja v njihovem laboratoriju.

Zahvaljujem se tudi podjetju K.L.P. d.o.o. za lepilo ter tehnično dokumentacijo.

Zahvaljujem se tudi Petru Nagode direktorju podjetja PVC NAGODE d.o.o., ki mi je omogočil izostanek iz službe, da sem lahko nemoteno opravljal meritve in vse potrebno za izdelavo diplomske naloge.

Predvsem se zahvaljujem svojim staršem, ki so mi potrpežljivo in razumevajoče pomagali pri zadnjem koraku v samostojnost.

## PRILOGE

Priloga A1: Rezultati strižnega testa za preizkušance lepljene z MUF lepilom.

Zaporedna št. preskusa	Oznaka preskušanca <b>MUF</b>	Datum preskušanja	Debelina <b>t</b>	Širina <b>b</b>	Maksimalna sila <b>F<sub>max</sub></b>	Strižna trdnost <b>f<sub>v</sub></b>	Delež loma po lesu <b>w</b>	Čas do loma <b>t<sub>lom</sub></b>	Čas obrem. <b>t<sub>obr</sub></b>
			[mm]	[mm]	[N]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[%]	[s]	[s]
1	nosilec 1-1	L1	11.7.2016	49,87	48,13	32494	13,5	100%	51
2		L2	11.7.2016	49,87	48,13	34739	14,5	100%	31
3		L3	11.7.2016	49,87	48,13	32861	13,7	100%	75
4		D1	11.7.2016	49,95	48,18	31184	13,0	100%	34
5		D2	11.7.2016	49,95	48,18	34939	14,5	100%	33
6		D3	11.7.2016	49,95	48,18	33914	14,1	100%	84
7	nosilec 2-1	L1	28.7.2016	49,83	48,06	33986	14,2	100%	87
8		L2	28.7.2016	49,83	48,06	32493	13,6	100%	41
9		L3	28.7.2016	49,83	48,06	30371	12,7	100%	51
10		D1	28.7.2016	50,01	48,13	33221	13,8	100%	44
11		D2	28.7.2016	50,01	48,13	33055	13,7	100%	57
12		D3	28.7.2016	50,01	48,13	33437	13,9	100%	73
13	nosilec 3-1	L1	28.7.2016	50,01	47,96	30075	12,5	100%	26
14		L2	28.7.2016	50,01	47,96	34576	14,4	100%	63
15		L3	28.7.2016	50,01	47,96	36088	15,0	100%	73
16		D1	28.7.2016	49,96	48,13	35102	14,6	100%	40
17		D2	28.7.2016	49,96	48,13	34931	14,5	100%	65
18		D3	28.7.2016	49,96	48,13	34412	14,3	100%	63

## Priloga A2: Rezultati strižnega testa za preizkušanca lepljene z PUR lepilom.

Zaporedna št. preskusa	Oznaka preskušanca PUR	Datum preskušanja		Debelina	Širina	Maksimalna sila	Strižna trdnost	Delež loma po lesu	Čas do loma	Čas obreme njevanj a
		t	b	F <sub>max</sub>	f <sub>v</sub>	w	t <sub>lom</sub>	t <sub>obr</sub>		
			[mm]	[mm]	[N]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[%]	[s]	[s]	
1	nosilec 1-1	L1	12.7.2016	49,88	48,24	36446	15,1	100%	33	33
2		L2	12.7.2016	49,88	48,24	37766	15,7	70%	62	63
3		L3	12.7.2016	49,88	48,24	31486	13,1	100%	80	82
4		D1	12.7.2016	49,88	48,34	33930	14,1	95%	33	33
5		D2	12.7.2016	49,88	48,34	32347	13,4	40%	66	67
6		D3	12.7.2016	49,88	48,34	31178	12,9	10%	77	78
7	nosilec 2-1	L1	28.7.2016	49,82	48,10	34412	14,3	55%	59	61
8		L2	28.7.2016	49,82	48,10	31003	12,9	10%	45	46
9		L3	28.7.2016	49,82	48,10	32898	13,7	5%	33	34
10		D1	28.7.2016	49,85	48,13	37781	15,7	95%	65	67
11		D2	28.7.2016	49,85	48,13	29394	12,2	0%	35	36
12		D3	28.7.2016	49,85	48,13	35127	14,6	5%	55	56
13	nosilec 3-1	L1	28.7.2016	49,81	48,25	37700	15,7	60%	75	75
14		L2	28.7.2016	49,81	48,25	30069	12,5	80%	41	42
15		L3	28.7.2016	49,81	48,25	29776	12,4	30%	38	39
16		D1	28.7.2016	49,86	48,30	36097	15,0	95%	65	82
17		D2	28.7.2016	49,86	48,30	31516	13,1	25%	50	51
18		D3	28.7.2016	49,86	48,30	25908	10,8	50%	27	27

## Priloga A3: Rezultati strižnega testa za preizkušance lepljene z PUR+P lepilom.

Zaporedna št. preskusa	Oznaka preskušanca PUR + P	Datum preskušanja	Debelina <b>t</b>	Širina <b>b</b>	Maksimalna sila <b>F<sub>max</sub></b>	Strižna trdnost <b>f<sub>v</sub></b>	Delež loma po lesu <b>w</b>	Čas do loma <b>t<sub>lom</sub></b>	Čas obrem. <b>t<sub>obr</sub></b>	
			[mm]	[mm]	[N]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[%]	[s]	[s]	
1	nosilec 1-1	L1	12.7.2016	49,87	48,07	38286	16,0	100%	71	73
2		L2	12.7.2016	49,87	48,07	40349	16,8	100%	60	61
3		L3	12.7.2016	49,87	48,07	38510	16,1	100%	67	68
4		D1	12.7.2016	49,88	48,18	34415	14,3	100%	54	55
5		D2	12.7.2016	49,88	48,18	41697	17,3	100%	64	74
6		D3	12.7.2016	49,88	48,18	34362	14,3	95%	49	52
7	nosilec 2-1	L1	12.7.2016	49,92	48,15	37973	15,8	100%	60	61
8		L2	12.7.2016	49,92	48,15	37136	15,4	100%	57	59
9		L3	12.7.2016	49,92	48,15	39677	16,5	100%	64	67
10		D1	12.7.2016	50,03	48,18	35706	14,8	100%	57	58
11		D2	12.7.2016	50,03	48,18	35213	14,6	100%	38	39
12		D3	12.7.2016	50,03	48,18	37595	15,6	100%	63	64
13	nosilec 3-1	L1	12.7.2016	49,99	48,21	40198	16,7	100%	71	71
14		L2	12.7.2016	49,99	48,21	36747	15,2	100%	47	49
15		L3	12.7.2016	49,99	48,21	38906	16,1	100%	50	51
16		D1	12.7.2016	49,79	48,12	35744	14,9	100%	57	58
17		D2	12.7.2016	49,79	48,12	36342	15,2	100%	46	47
18		D3	12.7.2016	49,79	48,12	36616	15,3	100%	63	67

## Priloga A4: Rezultati strižnega testa za preizkušance lepljene z EPI lepilom.

Zaporedna št. preskusa	Oznaka preskušanca EPI	Datum preskušanja	Debelina <b>t</b>	Širina <b>b</b>	Maksimalna sila <b>F<sub>max</sub></b>	Strižna trdnost <b>f<sub>v</sub></b>	Delež loma po lesu <b>w</b>	Čas do loma <b>t<sub>lom</sub></b>	Čas obrem. <b>t<sub>obr</sub></b>	
			[mm]	[mm]	[N]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[%]	[s]	[s]	
1	nosilec 1-1	L1	12.7.2016	49,87	47,72	37604	15,8	65%	60	63
2		L2	12.7.2016	49,87	47,72	33748	14,2	85%	46	60
3		L3	12.7.2016	49,87	47,72	37270	15,7	85%	43	43
4		D1	12.7.2016	50,09	47,75	37941	15,9	100%	62	63
5		D2	12.7.2016	50,09	47,75	32985	13,8	100%	51	79
6		D3	12.7.2016	50,09	47,75	34677	14,5	90%	43	47
7	nosilec 2-1	L1	12.7.2016	49,79	48,16	34056	14,2	70%	36	37
8		L2	12.7.2016	49,79	48,16	20305	8,5	50%	16	62
9		L3	12.7.2016	49,79	48,16	31244	13,0	50%	25	26
10		D1	12.7.2016	49,88	48,09	37179	15,5	100%	65	66
11		D2	12.7.2016	49,88	48,09	36669	15,3	85%	73	73
12		D3	12.7.2016	49,88	48,09	36910	15,4	100%	45	45
13	nosilec 3-1	L1	12.7.2016	49,82	48,14	37177	15,5	100%	61	71
14		L2	12.7.2016	49,82	48,14	37627	15,7	80%	58	59
15		L3	12.7.2016	49,82	48,14	35014	14,6	100%	31	32
16		D1	12.7.2016	49,83	48,29	33850	14,1	100%	59	60
17		D2	12.7.2016	49,83	48,29	37527	15,6	90%	63	64
18		D3	12.7.2016	49,83	48,29	36843	15,3	80%	47	47

**Priloga B1: Rezultati strižnega testa za preizkušance lepljene z MUF lepilom po impregnaciji in sušenju.**

Zaporedna št. preskusa	Oznaka preskušanca MUF		Datum preskušanja	Debelina <b>t</b>	Širina <b>b</b>	Maksimalna sila <b>F<sub>max</sub></b>	Strižna trdnost <b>f<sub>v</sub></b>	Delež loma po lesu <b>w</b>	Čas do loma <b>t<sub>lom</sub></b>	Čas obrem. <b>t<sub>obr</sub></b>
				[mm]	[mm]	[N]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[%]	[s]	[s]
1	nosilec 1-1	L1	28.7.2016	47,31	48,06	18166	7,9	100%	56	59
2		L2	28.7.2016	47,31	48,06	17599	7,6	100%	39	43
3		L3	28.7.2016	47,31	48,06	20121	8,7	100%	54	70
4		D1	28.7.2016	47,29	47,89	18839	8,2	100%	29	36
5		D2	28.7.2016	47,29	47,89	19551	8,5	100%	30	38
6		D3	28.7.2016	47,29	47,89	21242	9,3	100%	39	43
7	nosilec 2-1	L1	28.7.2016	49,84	48,03	22258	9,3	100%	40	48
8		L2	28.7.2016	49,84	48,03	20748	8,7	100%	38	40
9		L3	28.7.2016	49,84	48,03	18928	7,9	50%	48	54
10		D1	28.7.2016	49,84	47,98	20731	8,7	100%	34	35
11		D2	28.7.2016	49,84	47,98	19110	8,0	100%	30	34
12		D3	28.7.2016	49,84	47,98	19335	8,1	100%	53	57
13	nosilec 3-1	L1	28.7.2016	49,7	48,02	21240	8,9	100%	33	38
14		L2	28.7.2016	49,7	48,02	21306	8,9	100%	37	38
15		L3	28.7.2016	49,7	48,02	21916	9,2	100%	33	36
16		D1	28.7.2016	50,03	48,13	22160	9,2	100%	39	43
17		D2	28.7.2016	50,03	48,13	21367	8,9	85%	34	39
18		D3	28.7.2016	50,03	48,13	25174	10,5	90%	46	48

**Priloga B2: Rezultati strižnega testa za preizkušance lepljene z PUR lepilom po impregnaciji in sušenju.**

Zaporedna št. preskusa	Oznaka preskušanca PUR	Datum preskušanja		Debelina t	Širina b	Maksimalna sila Fmax	Strižna trdnost fv	Delež loma po lesu w	Čas do loma tlom	Čas obrem. tobr
				[mm]	[mm]	[N]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[%]	[s]	[s]
1	nosilec 1-1	L1	28.7.2016	47,29	48,99	16279	6,9	0%	15	15
2		L2	28.7.2016	47,29	48,99	17248	7,4	0%	19	19
3		L3	28.7.2016	47,29	48,99	13144	5,6	0%	15	15
4		D1	28.7.2016	47,32	48,03	18290	8,0	0%	23	23
5		D2	28.7.2016	47,32	48,03	16540	7,2	0%	19	20
6		D3	28.7.2016	47,32	48,03	11275	4,9	0%	11	12
7	nosilec 2-1	L1	28.7.2016	49,89	48,07	6413	2,7	0%	8	9
8		L2	28.7.2016	49,89	48,07	13764	5,7	0%	13	13
9		L3	28.7.2016	49,89	48,07	3089	1,3	0%	13	14
10		D1	28.7.2016	49,98	49,18	2084	0,8	0%	17	32
11		D2	28.7.2016	49,98	49,18	10847	4,4	0%	27	38
12		D3	28.7.2016	49,98	49,18	5674	2,3	0%	15	23
13	nosilec 3-1	L1	28.7.2016	49,86	48,18	11629	4,8	0%	19	33
14		L2	28.7.2016	49,86	48,18	14817	6,2	5%	25	26
15		L3	28.7.2016	49,86	48,18	10071	4,2	0%	18	18
16		D1	28.7.2016	49,98	48,18	16239	6,7	0%	39	40
17		D2	28.7.2016	49,98	48,18	17380	7,2	0%	47	48
18		D3	28.7.2016	49,98	48,18	11700	4,9	0%	27	42

**Priloga B3: Rezultati strižnega testa za preizkušance lepljene z PUR+P lepilom po impregnaciji in sušenju.**

Zaporedna št. preskusa	Oznaka preskušanca PUR + P	Datum preskušanja	Debelina <b>t</b>	Širina <b>b</b>	Maksimalna sila <b>F<sub>max</sub></b>	Strižna trdnost <b>f<sub>v</sub></b>	Delež loma po lesu <b>w</b>	Čas do loma <b>t<sub>lom</sub></b>	Čas obrem. <b>t<sub>obr</sub></b>
			[mm]	[mm]	[N]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[%]	[s]	[s]
1	nosilec 1-1	L1	28.7.2016	47,33	48,05	20097	8,7	100%	34
2		L2	28.7.2016	47,33	48,05	21113	9,2	100%	30
3		L3	28.7.2016	47,33	48,05	21435	9,3	40%	36
4		D1	28.7.2016	47,32	48,00	21025	9,1	100%	42
5		D2	28.7.2016	47,32	48,00	19138	8,3	50%	28
6		D3	28.7.2016	47,32	48,00	21399	9,3	30%	37
7	nosilec 2-1	L1	28.7.2016	49,89	48,22	24638	10,2	85%	39
8		L2	28.7.2016	49,89	48,22	18841	7,8	20%	29
9		L3	28.7.2016	49,89	48,22	19834	8,2	100%	40
10		D1	28.7.2016	49,93	48,41	24182	10,0	50%	39
11		D2	28.7.2016	49,93	48,41	18788	7,8	20%	27
12		D3	28.7.2016	49,93	48,41	16816	7,0	20%	31
13	nosilec 3-1	L1	28.7.2016	49,85	48,18	22162	9,2	30%	25
14		L2	28.7.2016	49,85	48,18	22952	9,5	30%	45
15		L3	28.7.2016	49,85	48,18	21536	9,0	10%	45
16		D1	28.7.2016	49,95	48,02	22161	9,2	70%	42
17		D2	28.7.2016	49,95	48,02	22229	9,3	30%	35
18		D3	28.7.2016	49,95	48,02	21328	8,9	70%	41

**Priloga B4: Rezultati strižnega testa za preizkušance lepljene z EPI lepilom po impregnaciji in sušenju.**

Zaporedna št. preskusa	Oznaka preskušanca EPI		Datum preskušanja	Debelina <b>t</b>	Širina <b>b</b>	Maksimalna sila <b>F<sub>max</sub></b>	Strižna trdnost <b>f<sub>v</sub></b>	Delež loma po lesu <b>w</b>	Čas do loma <b>t<sub>lom</sub></b>	Čas obrem. <b>t<sub>obr</sub></b>
				[mm]	[mm]	[N]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[%]	[s]	[s]
1	nosilec 1-1	L1	28.7.2016	47,48	47,98	17362	7,5	0%	49	58
2		L2	28.7.2016	47,16	47,98	14869	6,5	0%	41	48
3		L3	28.7.2016	47,16	47,98	5495	2,4	0%	30	51
4		D1	28.7.2016	47,16	47,98	21370	9,3	10%	35	36
5		D2	28.7.2016	47,16	47,98	10333	4,5	0%	10	13
6		D3	28.7.2016	47,16	47,98	10435	4,6	0%	18	19
7	nosilec 2-1	L1	28.7.2016	49,89	48,17	17603	7,3	5%	32	33
8		L2	28.7.2016	49,89	48,17	11686	4,9	0%	19	20
9		L3	28.7.2016	49,89	48,17	7555	3,1	0%	16	18
10		D1	28.7.2016	49,84	48,07	16502	6,9	0%	39	40
11		D2	28.7.2016	49,84	48,07	14505	6,1	0%	23	23
12		D3	28.7.2016	49,84	48,07	2762	1,2	0%	30	32
13	nosilec 3-1	L1	28.7.2016	50,09	48,12	19319	8,0	0%	41	42
14		L2	28.7.2016	50,09	48,12	17869	7,4	2%	37	38
15		L3	28.7.2016	50,09	48,12	4252	1,8	0%	16	29
16		D1	28.7.2016	50,07	48,24	16955	7,0	2%	39	42
17		D2	28.7.2016	50,07	48,24	15634	6,5	2%	36	37
18		D3	28.7.2016	50,07	48,24	13477	5,6	2%	26	27

## Priloga C1: Maksimalne vrednosti za celotno delaminacijo v %

	Število ciklov	1	2	3
<b>Lepljen lameliran les</b>	<b>Metoda A</b>	-	<b>5</b>	<b>10</b>
	Metoda B	4	8	-
	Metoda C	10	-	-

## Priloga C2: Delaminacija za preizkušance lepljene z MUF lepilom.

Oznaka preskušanca MUF			Datum preskušanja	Širina b	Delaminacija 2 $\Sigma$ delam-1	Delaminacija 3 $\Sigma$ delam-2
				[mm]	[mm]	[mm]
nosilec 1	čelo 1	spoj 1	20.7.2016	104,86	0	
		spoj 2	20.7.2016	104,86	0	
		spoj 3	20.7.2016	104,86	0	
	čelo 2	spoj 1	20.7.2016	104,86	0	
		spoj 2	20.7.2016	104,86	0	
		spoj 3	20.7.2016	104,86	0	
nosilec 2	čelo 1	spoj 1	20.7.2016	104,83	0	
		spoj 2	20.7.2016	104,83	0	
		spoj 3	20.7.2016	104,83	0	
	čelo 2	spoj 1	20.7.2016	104,83	0	
		spoj 2	20.7.2016	104,83	0	
		spoj 3	20.7.2016	104,83	0	
nosilec 3	čelo 1	spoj 1	21.7.2016	104,83	0	
		spoj 2	21.7.2016	104,83	0	
		spoj 3	21.7.2016	104,83	0	
	čelo 2	spoj 1	21.7.2016	104,83	0	
		spoj 2	21.7.2016	104,83	0	
		spoj 3	21.7.2016	104,83	0	

## Priloga C3: Delaminacija za preizkušance lepljene z PUR lepilom.

Oznaka preskušanca PUR			Datum preskušanja	Širina <b>b</b>	Delaminacija 2 <b><math>\Sigma</math>delam-1</b>	Delaminacija 3 <b><math>\Sigma</math>delam-2</b>
				[mm]	[mm]	[mm]
nosilec 1	čelo 1	spoj 1	20.7.2016	104,82	93	
		spoj 2	20.7.2016	104,82	10	
		spoj 3	20.7.2016	104,82	67	
	čelo 2	spoj 1	20.7.2016	104,82	57	
		spoj 2	20.7.2016	104,82	37	
		spoj 3	20.7.2016	104,82	99	
nosilec 2	čelo 1	spoj 1	20.7.2016	104,79	105	
		spoj 2	20.7.2016	104,79	103	
		spoj 3	20.7.2016	104,79	98	
	čelo 2	spoj 1	20.7.2016	104,79	105	
		spoj 2	20.7.2016	104,79	98	
		spoj 3	20.7.2016	104,79	103	
nosilec 3	čelo 1	spoj 1	21.7.2016	104,93	105	
		spoj 2	21.7.2016	104,93	18	
		spoj 3	21.7.2016	104,93	79	
	čelo 2	spoj 1	21.7.2016	104,93	105	
		spoj 2	21.7.2016	104,93	55	
		spoj 3	21.7.2016	104,93	86	

## Priloga C4: Delaminacija za preizkušance lepljene z PUR + P lepilom.

Oznaka preskušanca PUR + P			Datum preskušanja	Širina b	Delaminacija 2 $\Sigma delam-1$	Delaminacija 3 $\Sigma delam-2$
				[mm]	[mm]	[mm]
nosilec 1	čelo 1	spoj 1	20.7.2016	104,82	29	
		spoj 2	20.7.2016	104,82	0	
		spoj 3	20.7.2016	104,82	0	
	čelo 2	spoj 1	20.7.2016	104,82	0	
		spoj 2	20.7.2016	104,82	0	
		spoj 3	20.7.2016	104,82	0	
nosilec 2	čelo 1	spoj 1	20.7.2016	104,87	0	
		spoj 2	20.7.2016	104,87	9	
		spoj 3	20.7.2016	104,87	0	
	čelo 2	spoj 1	20.7.2016	104,87	0	
		spoj 2	20.7.2016	104,87	0	
		spoj 3	20.7.2016	104,87	0	
nosilec 3	čelo 1	spoj 1	21.7.2016	104,79	0	
		spoj 2	21.7.2016	104,79	0	
		spoj 3	21.7.2016	104,79	0	
	čelo 2	spoj 1	21.7.2016	104,79	3	
		spoj 2	21.7.2016	104,79	15	
		spoj 3	21.7.2016	104,79	0	

## Priloga C5: Delaminacija za preizkušance lepljene z EPI lepilom.

Oznaka preskušanca EPI			Datum preskušanja	Širina <b>b</b>	Delaminacija 2 $\Sigma$ delam-1	Delaminacija 3 $\Sigma$ delam-2
				[mm]	[mm]	[mm]
nosilec 1	čelo 1	spoj 1	20.7.2016	104,83	21	
		spoj 2	20.7.2016	104,83	95	
		spoj 3	20.7.2016	104,83	9	
	čelo 2	spoj 1	20.7.2016	104,83	105	
		spoj 2	20.7.2016	104,83	21	
		spoj 3	20.7.2016	104,83	64	
nosilec 2	čelo 1	spoj 1	20.7.2016	104,84	82	
		spoj 2	20.7.2016	104,84	67	
		spoj 3	20.7.2016	104,84	51	
	čelo 2	spoj 1	20.7.2016	104,84	105	
		spoj 2	20.7.2016	104,84	105	
		spoj 3	20.7.2016	104,84	68	
nosilec 3	čelo 1	spoj 1	21.7.2016	104,90	20	
		spoj 2	21.7.2016	104,90	66	
		spoj 3	21.7.2016	104,90	33	
	čelo 2	spoj 1	21.7.2016	104,90	57	
		spoj 2	21.7.2016	104,90	102	
		spoj 3	21.7.2016	104,90	31	

## Priloga D1. Maksimalne vrednosti za celotno delaminacijo v %

	Število ciklov	1	2	3
<b>Lepljen lameliran les</b>	Metoda A	-	5	10
	<b>Metoda B</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	-
	Metoda C	10	-	-

## Priloga D2: Delaminacija za preizkušance lepljene z MUF lepilom.

Oznaka preskušanca MUF			Datum preskušanja	Širina b	Delaminacija 2 Σdelam-1	Delaminacija 3 Σdelam-2
				[mm]	[mm]	[mm]
nosilec 1	čelo 1	spoj 1	27.7.2016	104,91	0	
		spoj 2	27.7.2016	104,91	0	
		spoj 3	27.7.2016	104,91	0	
	čelo 2	spoj 1	27.7.2016	104,91	0	
		spoj 2	27.7.2016	104,91	0	
		spoj 3	27.7.2016	104,91	0	
nosilec 2	čelo 1	spoj 1	27.7.2016	104,89	0	
		spoj 2	27.7.2016	104,89	0	
		spoj 3	27.7.2016	104,89	0	
	čelo 2	spoj 1	27.7.2016	104,89	0	
		spoj 2	27.7.2016	104,89	0	
		spoj 3	27.7.2016	104,89	0	
nosilec 3	čelo 1	spoj 1	28.7.2016	104,86	0	
		spoj 2	28.7.2016	104,86	0	
		spoj 3	28.7.2016	104,86	0	
	čelo 2	spoj 1	28.7.2016	104,86	0	
		spoj 2	28.7.2016	104,86	0	
		spoj 3	28.7.2016	104,86	0	

## Priloga D3: Delaminacija za preizkušance lepljene z PUR lepilom.

Oznaka preskušanca PUR			Datum preskušanja	Širina <b>b</b>	Delaminacija 2 <b>Σdelam-1</b>	Delaminacija 3 <b>Σdelam-2</b>
				[mm]	[mm]	[mm]
nosilec 1	čelo 1	spoj 1	27.7.2016	104,90	74	
		spoj 2	27.7.2016	104,90	20	
		spoj 3	27.7.2016	104,90	46	
	čelo 2	spoj 1	27.7.2016	104,90	8	
		spoj 2	27.7.2016	104,90	28	
		spoj 3	27.7.2016	104,90	35	
nosilec 2	čelo 1	spoj 1	27.7.2016	104,94	102	
		spoj 2	27.7.2016	104,94	101	
		spoj 3	27.7.2016	104,94	105	
	čelo 2	spoj 1	27.7.2016	104,94	105	
		spoj 2	27.7.2016	104,94	105	
		spoj 3	27.7.2016	104,94	105	
nosilec 3	čelo 1	spoj 1	28.7.2016	104,98	84	
		spoj 2	28.7.2016	104,98	0	
		spoj 3	28.7.2016	104,98	89	
	čelo 2	spoj 1	28.7.2016	104,98	105	
		spoj 2	28.7.2016	104,98	23	
		spoj 3	28.7.2016	104,98	91	

## Priloga D4: Delaminacija za preizkušance lepljene z PUR + P lepilom.

Oznaka preskušanca PUR + P			Datum preskušanja	Širina <b>b</b>	Delaminacija 2 $\Sigma$ delam-1	Delaminacija 3 $\Sigma$ delam-2
				[mm]	[mm]	[mm]
nosilec 1	čelo 1	spoj 1	27.7.2016	104,85	0	
		spoj 2	27.7.2016	104,85	0	
		spoj 3	27.7.2016	104,85	0	
	čelo 2	spoj 1	27.7.2016	104,85	4	
		spoj 2	27.7.2016	104,85	0	
		spoj 3	27.7.2016	104,85	0	
nosilec 2	čelo 1	spoj 1	27.7.2016	104,91	13	
		spoj 2	27.7.2016	104,91	0	
		spoj 3	27.7.2016	104,91	0	
	čelo 2	spoj 1	27.7.2016	104,91	5	
		spoj 2	27.7.2016	104,91	0	
		spoj 3	27.7.2016	104,91	0	
nosilec 3	čelo 1	spoj 1	28.7.2016	104,86	0	
		spoj 2	28.7.2016	104,86	0	
		spoj 3	28.7.2016	104,86	0	
	čelo 2	spoj 1	28.7.2016	104,86	0	
		spoj 2	28.7.2016	104,86	0	
		spoj 3	28.7.2016	104,86	0	

## Priloga D5: Delaminacija za preizkušance lepljene z EPI lepilom.

Oznaka preskušanca EPI			Datum preskušanja	Širina b	Delaminacija 2 $\Sigma$ delam-1	Delaminacija 3 $\Sigma$ delam-2
				[mm]	[mm]	[mm]
nosilec 1	čelo 1	spoj 1	27.7.2016	104,81	65	
		spoj 2	27.7.2016	104,81	96	
		spoj 3	27.7.2016	104,81	20	
	čelo 2	spoj 1	27.7.2016	104,81	72	
		spoj 2	27.7.2016	104,81	85	
		spoj 3	27.7.2016	104,81	74	
nosilec 2	čelo 1	spoj 1	27.7.2016	104,90	105	
		spoj 2	27.7.2016	104,90	102	
		spoj 3	27.7.2016	104,90	53	
	čelo 2	spoj 1	27.7.2016	104,90	105	
		spoj 2	27.7.2016	104,90	99	
		spoj 3	27.7.2016	104,90	48	
nosilec 3	čelo 1	spoj 1	28.7.2016	104,96	92	
		spoj 2	28.7.2016	104,96	42	
		spoj 3	28.7.2016	104,96	29	
	čelo 2	spoj 1	28.7.2016	104,96	28	
		spoj 2	28.7.2016	104,96	80	
		spoj 3	28.7.2016	104,96	45	

## Priloga E1: Maksimalne vrednosti za celotno delaminacijo v %

	Število ciklov	1	2	3
<b>Lepljen lameliran les</b>	Metoda A	-	5	10
	Metoda B	4	8	-
	<b>Metoda C</b>	<b>10</b>	-	-

## Priloga E2: Delaminacija za preizkušance lepljene z MUF lepilom.

Oznaka preskušanca MUF			Datum preskušanja	Širina b	Delaminacija 2 Σdelam-1	Delaminacija 3 Σdelam-2
				[mm]	[mm]	[mm]
nosilec 1	čelo 1	spoj 1	25.7.2016	104,90	0	
		spoj 2	25.7.2016	104,90	0	
		spoj 3	25.7.2016	104,90	0	
	čelo 2	spoj 1	25.7.2016	104,90	0	
		spoj 2	25.7.2016	104,90	0	
		spoj 3	25.7.2016	104,90	0	
nosilec 2	čelo 1	spoj 1	25.7.2016	104,83	0	
		spoj 2	25.7.2016	104,83	0	
		spoj 3	25.7.2016	104,83	0	
	čelo 2	spoj 1	25.7.2016	104,83	0	
		spoj 2	25.7.2016	104,83	0	
		spoj 3	25.7.2016	104,83	0	
nosilec 3	čelo 1	spoj 1	26.7.2016	105,43	0	
		spoj 2	26.7.2016	105,43	0	
		spoj 3	26.7.2016	105,43	0	
	čelo 2	spoj 1	26.7.2016	105,43	0	
		spoj 2	26.7.2016	105,43	0	
		spoj 3	26.7.2016	105,43	0	

## Priloga E3: Delaminacija za preizkušance lepljene z PUR lepilom.

Oznaka preskušanca PUR			Datum preskušanja	Širina <b>b</b>	Delaminacija 2 $\Sigma$ delam-1	Delaminacija 3 $\Sigma$ delam-2
				[mm]	[mm]	[mm]
nosilec 1	čelo 1	spoj 1	25.7.2016	104,86	50	
		spoj 2	25.7.2016	104,86	19	
		spoj 3	25.7.2016	104,86	12	
	čelo 2	spoj 1	25.7.2016	104,86	7	
		spoj 2	25.7.2016	104,86	4	
		spoj 3	25.7.2016	104,86	19	
nosilec 2	čelo 1	spoj 1	25.7.2016	104,85	105	
		spoj 2	25.7.2016	104,85	105	
		spoj 3	25.7.2016	104,85	93	
	čelo 2	spoj 1	25.7.2016	104,85	97	
		spoj 2	25.7.2016	104,85	90	
		spoj 3	25.7.2016	104,85	105	
nosilec 3	čelo 1	spoj 1	26.7.2016	104,83	80	
		spoj 2	26.7.2016	104,83	0	
		spoj 3	26.7.2016	104,83	79	
	čelo 2	spoj 1	26.7.2016	104,83	80	
		spoj 2	26.7.2016	104,83	13	
		spoj 3	26.7.2016	104,83	77	

## Priloga E4: Delaminacija za preizkušance lepljene z PUR + P lepilom.

Oznaka preskušanca PUR + P			Datum preskušanja	Širina <b>b</b>	Delaminacija 2 <b>Σdelam-1</b>	Delaminacija 3 <b>Σdelam-2</b>
				[mm]	[mm]	[mm]
nosilec 1	čelo 1	spoj 1	25.7.2016	104,86	0	
		spoj 2	25.7.2016	104,86	0	
		spoj 3	25.7.2016	104,86	0	
	čelo 2	spoj 1	25.7.2016	104,86	0	
		spoj 2	25.7.2016	104,86	0	
		spoj 3	25.7.2016	104,86	0	
nosilec 2	čelo 1	spoj 1	25.7.2016	104,92	0	
		spoj 2	25.7.2016	104,92	0	
		spoj 3	25.7.2016	104,92	0	
	čelo 2	spoj 1	25.7.2016	104,92	0	
		spoj 2	25.7.2016	104,92	0	
		spoj 3	25.7.2016	104,92	0	
nosilec 3	čelo 1	spoj 1	26.7.2016	104,85	0	
		spoj 2	26.7.2016	104,85	0	
		spoj 3	26.7.2016	104,85	0	
	čelo 2	spoj 1	26.7.2016	104,85	0	
		spoj 2	26.7.2016	104,85	0	
		spoj 3	26.7.2016	104,85	0	

## Priloga E5: Delaminacija za preizkušance lepljene z EPI lepilom.

Oznaka preskušanca EPI			Datum preskušanja	Širina <b>b</b>	Delaminacija 2 $\Sigma$ delam-1	Delaminacija 3 $\Sigma$ delam-2
				[mm]	[mm]	[mm]
nosilec 1	čelo 1	spoj 1	25.7.2016	104,87	28	
		spoj 2	25.7.2016	104,87	63	
		spoj 3	25.7.2016	104,87	0	
	čelo 2	spoj 1	25.7.2016	104,87	31	
		spoj 2	25.7.2016	104,87	70	
		spoj 3	25.7.2016	104,87	0	
nosilec 2	čelo 1	spoj 1	25.7.2016	104,86	99	
		spoj 2	25.7.2016	104,86	14	
		spoj 3	25.7.2016	104,86	0	
	čelo 2	spoj 1	25.7.2016	104,86	52	
		spoj 2	25.7.2016	104,86	62	
		spoj 3	25.7.2016	104,86	0	
nosilec 3	čelo 1	spoj 1	26.7.2016	104,86	37	
		spoj 2	26.7.2016	104,86	0	
		spoj 3	26.7.2016	104,86	0	
	čelo 2	spoj 1	26.7.2016	104,86	21	
		spoj 2	26.7.2016	104,86	65	
		spoj 3	26.7.2016	104,86	0	

**Priloga F1: Povprečja za strižno trdnost lepilnih spojev po impregnaciji in sušenju  
zarezkušance lepljene z MUF lepilom.**

MUF	Spoj	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Op.
		Povprečje obeh letev le + de			Leva testna letev			Desna testna letev		
		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
nosilec 1	1	8,1	100		7,9	100		8,2	100	
	2	8,1	100		7,6	100		8,5	100	
	3	9,0	100		8,7	100		9,3	100	
<b>Povprečje: nosilec 1</b>		<b>8,4</b>	<b>100</b>		<b>8,1</b>	<b>100</b>		<b>8,7</b>	<b>100</b>	
nosilec 2	1	9,0	100		9,3	100		8,7	100	
	2	8,3	100		8,7	100		8,0	100	
	3	8,0	100		7,9	100		8,1	100	
<b>Povprečje: nosilec 2</b>		<b>8,4</b>	<b>100</b>		<b>8,6</b>	<b>100</b>		<b>8,2</b>	<b>100</b>	
nosilec 3	1	9,0	100		8,9	100		9,2	100	
	2	8,9	93		8,9	100		8,9	85	
	3	9,8	95		9,2	100		10,5	90	
<b>Povprečje: nosilec 3</b>		<b>9,3</b>	<b>96</b>		<b>9,0</b>	<b>100</b>		<b>9,5</b>	<b>92</b>	
n <sub>Spoj</sub> / n		9		9		9		9		
n neustreznih		0		0		0		0		
<b>Skupno povprečje</b>		<b>8,7</b>	<b>99</b>		<b>8,6</b>	<b>100</b>		<b>8,8</b>	<b>97</b>	
Stand. odklon		0,61	2,83		0,60	0,00		0,77	5,65	
k. v.		7%	3%		7%	0%		9%	6%	
Minimum		8,0	93		7,6	100		8,0	85	
maksimum		9,8	100		9,3	100		10,5	100	

**Priloga F2: Povprečja za strižno trdnost lepilnih spojev po impregnaciji in sušenju za preizkušance lepljene z PUR lepilom.**

PUR	Spoj	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Op.
		Povprečje obeh letev le + de			Leva testna letev			Desna testna letev		
		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
nosilec 1	1	7,4	0		6,9	0		8,0	0	
	2	7,3	0		7,4	0		7,2	0	
	3	5,3	0		5,6	0		4,9	0	
<b>Povprečje: nosilec 1</b>		<b>6,7</b>	<b>0</b>		<b>6,6</b>	<b>0</b>		<b>6,7</b>	<b>0</b>	
nosilec 2	1	1,8	0		2,7	0		0,8	0	
	2	5,1	0		5,7	0		4,4	0	
	3	1,8	0		1,3	0		2,3	0	
<b>Povprečje: nosilec 2</b>		<b>2,9</b>	<b>0</b>		<b>3,2</b>	<b>0</b>		<b>2,5</b>	<b>0</b>	
nosilec 3	1	5,8	0		4,8	0		6,7	0	
	2	6,7	3		6,2	5		7,2	0	
	3	4,5	0		4,2	0		4,9	0	
<b>Povprečje: nosilec 3</b>		<b>5,7</b>	<b>1</b>		<b>5,1</b>	<b>2</b>		<b>6,3</b>	<b>0</b>	
n <sub>Spoj</sub> / n		9			9			9		
n neustreznih		0			0			0		
<b>Povprečje</b>		<b>5,1</b>	<b>0</b>		<b>5,0</b>	<b>1</b>		<b>5,2</b>	<b>0</b>	
Stand. odklon		2,11	0,83		1,98	1,67		2,40	0,00	
k. v.		42%	300%		40%	300%		47%	/	
Minimum		1,8	0		1,3	0		0,8	0	
maksimum		7,4	3		7,4	5		8,0	0	

Rdeče obarvane ugotovitve ne ustrezajo zahtevam standarda SIST EN 14080 : 2013.

**Priloga F3: Povprečja za strižno trdnost lepilnih spojev po impregnaciji in sušenju za preizkušance lepljene z PUR + primer lepilom.**

<b>PUR + primer</b>	<b>Spoj</b>	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Op.
		Povprečje obeh letev le + de			Leva testna letev			Desna testna letev		
		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
nosilec 1	1	8,9	100		8,7	100		9,1	100	
	2	8,8	75		9,2	100		8,3	50	
	3	9,3	35		9,3	40		9,3	30	
<b>Povprečje: nosilec 1</b>		<b>9,0</b>	<b>70</b>		<b>9,1</b>	<b>80</b>		<b>8,9</b>	<b>60</b>	
nosilec 2	1	10,1	68		10,2	85		10,0	50	
	2	7,8	20		7,8	20		7,8	20	
	3	7,6	35		8,2	50		7,0	20	
<b>Povprečje: nosilec 2</b>		<b>8,5</b>	<b>41</b>		<b>8,8</b>	<b>52</b>		<b>8,2</b>	<b>30</b>	
nosilec 3	1	9,2	50		9,2	30		9,2	70	
	2	9,4	30		9,5	30		9,3	30	
	3	8,9	40		9,0	10		8,9	70	
<b>Povprečje: nosilec 3</b>		<b>9,2</b>	<b>40</b>		<b>9,2</b>	<b>23</b>		<b>9,1</b>	<b>57</b>	
n <sub>Spoj</sub> / n		9		9		9		9		
n neustreznih		0		0		0		0		
<b>Povprečje</b>		<b>8,9</b>	<b>50</b>		<b>9,0</b>	<b>52</b>		<b>8,8</b>	<b>49</b>	
Stand. odklon		0,79	25,69		0,71	34,64		0,93	27,13	
k. v.		9%	51%		8%	67%		11%	55%	
Minimum		7,6	20		7,8	10		7,0	20	
maksimum		10,1	100		10,2	100		10,0	100	

**Priloga F4: Povprečja za strižno trdnost lepilnih spojev po impregnaciji in sušenju za preizkušance lepljene z EPI lepilom.**

EPI	Spoj	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Opom.	Trdnost $f_v$	Lom po lesu	Op.
		Povprečje obeh letev le + de			Leva testna letev			Desna testna letev		
		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
nosilec 1	1	8,4	5		7,5	0		9,3	10	
	2	5,5	0		6,5	0		4,5	0	
	3	3,5	0		2,4	0		4,6	0	
<b>Povprečje: nosilec 1</b>		<b>5,8</b>	<b>2</b>		<b>5,5</b>	<b>0</b>		<b>6,1</b>	<b>3</b>	
nosilec 2	1	7,1	3		7,3	5		6,9	0	
	2	5,5	0		4,9	0		6,1	0	
	3	2,1	0		3,1	0		1,2	0	
<b>Povprečje: nosilec 2</b>		<b>4,9</b>	<b>1</b>		<b>5,1</b>	<b>2</b>		<b>4,7</b>	<b>0</b>	
nosilec 3	1	7,5	1		8,0	0		7,0	2	
	2	6,9	2		7,4	2		6,5	2	
	3	3,7	1		1,8	0		5,6	2	
<b>Povprečje: nosilec 3</b>		<b>6,0</b>	<b>1</b>		<b>5,7</b>	<b>1</b>		<b>6,4</b>	<b>2</b>	
n <sub>Spoj</sub> / n		9		9		9		9		
n neustreznih		0		0		0		0		
<b>Povprečje</b>		<b>5,6</b>	<b>1</b>		<b>5,4</b>	<b>1</b>		<b>5,7</b>	<b>2</b>	
Stand. odklon		2,12	1,68		2,45	1,72		2,25	3,23	
k. v.		38%	131%		45%	221%		39%	182%	
Minimum		2,1	0		1,8	0		1,2	0	
maksimum		8,4	5		8,0	5		9,3	10	

Rdeče obarvane ugotovitve ne ustrezajo zahtevam standarda SIST EN 14080 : 2013.

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Klemen PECMAN

**LEPLJEN LAMELIRAN LES IZ BUKOVINE**

DIPLOMSKO DELO  
Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2016