

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Marjan GRAH

**VPLIV TERMIČNE MODIFIKACIJE BUKOVINE NA
KAKOVOST LEPLJENJA S PVAc LEPILI**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**THE INFLUENCE OF THERMAL MODIFICATION OF BEECH ON
THE QUALITY OF PVAc ADHESIVE BONDING**

GRADUATION THESIS
Higher Professional Studies

Ljubljana, 2016

Diplomska naloga je zaključek visokošolskega strokovnega študija lesarstva. Termična modifikacija bukovine je bila opravljena v podjetju Silvaproduct d.o.o., izdelava lepljencev in preizkušancev pa je bila opravljena v Srednji lesarski šoli, Šolski center Ljubljana. Testiranja preizkušancev so bila opravljena na Oddelku za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, v laboratoriju Katedre za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin.

Senat Oddelka za lesarstvo je dne 14.4.2016 odobril naslov diplomskega dela in za mentorja imenoval prof. dr. Milana Šerneka, za recenzenta pa viš. pred. mag. Bogdana Šego.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora: 23. 9. 2016

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

Marjan Grah

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Vs
DK UDK 630*824
KG lepila / lepljenje / lepilni spoj / termično modificirana bukovina / strižna trdnost / polivinilacetatno lepilo
AV GRAH, Marjan
SA ŠERNEK, Milan (mentor), ŠEGA, Bogdan (recenzent)
KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI 2016
IN VPLIV TERMIČNE MODIFIKACIJE BUKOVINE NA KAKOVOST LEPLJENJA S PVAc LEPILI
TD Diplomsko delo (Visokošolski strokovni študij)
OP X, 49 str., 9 pregl., 20 sl., 4 pril., 18 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Lepljenje lesa je v lesarstvu zelo pomembno. Malo je lesenih izdelkov, ki nimajo lepljenih spojev. Lepljenje navadnega lesa običajno ne predstavlja več velikih težav, medtem ko pri lepljenju modificiranega lesa lahko prihaja do problemov. Zato smo se v diplomski nalogi osredotočili na proučevanje lepljenja termično modificiranega lesa. Navadno in termično modificirano bukovino smo zlepili s šestimi PVAc lepili s podobnimi lastnostmi, a različnih proizvajalcev. Iz lepljencev smo pripravili preizkušance in jih na trgalnem stroju preizkusili po standardu SIST EN 204:2002. Ugotovili smo, da se je modificirana bukovina pri vseh treh načinih priprave preizkušancev zlepila slabše kot navadna bukovina. Velika je tudi razlika v strižni trdnosti zlepljenih spojev med šestimi izbranimi lepili. Lepilni spoji, zlepljeni iz nemodificirane bukovine, imajo po 1. načinu priprave strižno trdnost od 12,8 do 15,6 N/mm², medtem ko imajo spoji zlepljeni iz modificirane bukovine nižjo strižno trdnost od 5,8 do 11,7 N/mm². Po 3. načinu priprave imajo spoji iz navadne bukovine strižno trdnost od 0,6 do 2,7 N/mm², spoji iz termično modificirane bukovine pa nižjo strižno trdnost od 0,4 do 2,4 N/mm². Po 4. načinu priprave imajo spoji iz navadne bukovine strižno trdnost od 5,9 do 11,1 N/mm², spoji iz termično modificirane bukovine pa od 2,0 do 8,0 N/mm². Izmed šestih izbranih lepil so bili pri lepljenju navadne bukovine najboljši povprečni rezultati pri lepilih PATTEX WOOD D3 in MEKOL 1130. Pri lepljenju termično modificirane bukovine so bili najboljši povprečni rezultati pri lepilu RAKOLL GLX 3 in FALCO-LIT D3 W91.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs
DC UDC 630*824
CX adhesives/ bonding/ adhesive bond/ thermally modified of beech / shear strength / polyvinyl-acetate adhesive
AU GRAH, Marjan
AA ŠERNEK, Milan (supervisor)/ ŠEGA, Bogdan (reviewer)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2016
TI THE INFLUENCE OF THERMAL MODIFICATION OF BEECH ON THE QUALITY OF PVAc ADHESIVE BONDING
DT GRADUATION THESIS (Higher Professional Studies)
NO X, 49 p., 9 tab., 20 fig., 4 ann., 18 ref.
LA sl
AL sl/en
AB The diploma thesis deals with gluing of wood, which is very important in wood science. There are only few wooden products which do not have glue joints. The gluing of ordinary wood does not normally represent great difficulties, whereas the gluing of modified wood can lead to problems. Therefore, we focused on the thorough study of the gluing of thermally modified wood. The ordinary and thermally modified beech wood were glued with six PVAc adhesives of the similar quality, yet produced by different manufacturers. The samples made from two bonded adherents were tested on the universal testing machine according to SIST EN 204:2002 standard. We found out that the modified beech wood, prepared in three different ways, did not bond as well as the ordinary beech wood. Furthermore, there is a great difference in shear strength of the adhesive bonds due to the use of different adhesives. According to the first way of preparation, the adhesive bonds of not modified beech wood have the shear strength from 12,8 to 15,6 N/mm². On the other hand, the adhesive bonds of modified beech wood have lower shear strength that is from 5,8 to 11,7 N mm². According to the third way of preparation, the shear strength of adhesive bonds of the ordinary beech wood is from 0,6 to 2,7 N/ mm², whereas the shear strength of the thermally modified beech wood is lower from 0,4 to 2,4 N/ mm². According to the fourth way of preparation, the shear strength of the ordinary beech wood is from 5,9 to 11,1 N/mm². However, with the adhesive bonds of the thermally modified one it is from 2,0 to 8,0 N/ mm². Finally, while bonding the ordinary beech wood, the best average results were obtained using PATTEX WOOD D3 and MEKOL 1130. When bonding thermally modified beech wood, however, the best average results were obtained using RAKOL GLX 3 and FALCO-LIT D3 W91.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key Words Documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VII
Kazalo slik	VIII
Kazalo prilog	IX
Okrajšave in simboli	X
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2 CILJI RAZISKOVANJA	2
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 TERMIČNA MODIFIKACIJA LESA	3
2.1.1 Postopki termične modifikacije lesa	3
2.1.1.1 Plato postopek (PLATO BV, Nizozemska)	4
2.1.1.2 ThermoWood postopek (Stora, Finnforest, Finska)	5
2.1.1.3 Retification postopek (NOW New OptionWood, Francija)	6
2.1.1.4 Bois perdure (BCI-MBS, Francija)	6
2.1.1.5 OHT (Oil-heat treatment) postopek (Menz Holz, Nemčija)	7
2.1.2 Postopki termične modifikacije lesa v Sloveniji	7
2.2 LEPLJENJE LESA	8
2.2.1 Polimerizacija	8
2.3 POLIVINILACETATNA LEPILA	9
2.3.1 Dodatki PVAc lepilom	11
2.3.1.1 Druga veziva	11
2.3.1.2 Mehčala	12
2.3.1.3 Topila	12
2.3.1.4 Polnila	12
2.3.2 Lastnosti PVAc lepilnega spoja	13
2.3.3 Uporaba PVAc lepil	14
2.3.4 Tehnologija lepljenja s PVAc lepili	14
2.3.5 Lepljenje termično modificiranega lesa s PVAc lepili	15
2.3.5.1 Kristaličnost	15
2.3.5.2 Barva in morfologija površine	15
2.3.5.3 Ravnovesna vlažnost	16
2.3.5.4 Izguba mase	16
2.3.5.5 Toplotna prevodnost	16
2.3.5.6 Migracija snovi	16
2.3.5.7 Reaktivnost	17
2.3.5.8 Vrednost pH	17
2.3.5.9 Omočitev površine	17
2.3.5.10 Mehanske lastnosti	18
2.3.5.11 Razpoke	18
2.4 RAZVRŠČANJE PVAc LEPIL V TRAJNOSTNE RAZREDE	18
3 MATERIAL IN METODE	22

3.1	MATERIAL	22
3.1.1	Les	22
3.1.2	Polivinilacetatna lepila	22
3.1.2.1	Lepilo FALCO-LIT D3 W91	22
3.1.2.2	Lepilo KLEIBERIT 303	23
3.1.2.3	Lepilo MEKOL 1130	24
3.1.2.4	Lepilo MULTIBOND EZ-1	25
3.1.2.5	Lepilo PATEX WOOD D3	26
3.1.2.6	Lepilo RAKOLL GLX-3	27
3.2	METODE	29
3.2.1	Termična modifikacija bukovine	29
3.2.2	Priprava lesa in izdelava lamel za lepljenje lepljencev s PVAc lepili	30
3.2.3	Lepljenje navadne in TM bukovine s PVAc lepili v klasični stiskalnici	30
3.2.3.1	Nanos lepila	30
3.2.3.2	Stiskanje	31
3.2.4	Priprava preizkušancev za ugotavljanje strižne trdnosti spojev	32
3.2.4.1	Priprava preizkušancev v skladu s 1. načinom priprave	33
3.2.4.2	Priprava preizkušancev v skladu s 3. načinom priprave	33
3.2.4.3	Priprava preizkušancev v skladu s 4. načinom priprave	33
3.2.5	Ugotavljanje strižne trdnosti lepilnih spojev	34
4	REZULTATI.....	36
4.1	STRIŽNA TRDNOST SPOJEV	36
4.1.1	Strižna trdnost spojev pripravljenih po 1. načinu priprave	36
4.1.2	Strižna trdnost spojev pripravljenih po 3. načinu priprave	38
4.1.3	Strižna trdnost spojev pripravljenih po 4. načinu priprave	40
5	RAZPRAVA IN SKLEPI.....	42
5.1	RAZPRAVA	42
5.2	SKLEPI	45
6	POVZETEK.....	46
7	VIRI	48

ZAHVALA

PRILOGE

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Razvrstitev plastomernih lepil za les za nekonstrukcijsko uporabo	19
Preglednica 2: Način priprave preizkušancev in trdnostne zahteve za posamezni trajnostni razred po SIST EN 204:2002	19
Preglednica 3: Strižna trdnost spoja bukovine in delež loma za preizkušance testirane po 1. načinu priprave	37
Preglednica 4: Strižna trdnost spoja TM bukovine in delež loma za preizkušance testirane po 1. načinu priprave	37
Preglednica 5: Strižna trdnost spoja bukovine in delež loma za preizkušance testirane po 3. načinu priprave	39
Preglednica 6: Strižna trdnost spoja TM bukovine in delež loma za preizkušance testirane po 3. načinu priprave	39
Preglednica 7: Strižna trdnost spoja bukovine in delež loma za preizkušance testirane po 4. načinu priprave	40
Preglednica 8: Strižna trdnost spoja TM bukovine in delež loma za preizkušance testirane po 4. načinu priprave.....	41
Preglednica 9: Strižna trdnost spoja in delež loma za vse preizkušance	43

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1. Reakcijski mehanizmi termične modifikacije lesa (Kariž in Šernek, 2008)	4
Slika 2. Pregledna shema modifikacije lesa s Plato postopkom (Kariž in Šernek, 2008)	5
Slika 3. Diagram poteka modifikacije lesa s ThermoWood postopkom (Kariž in Šernek, 2008)	6
Slika 4. Poenostavljen prikaz polimerizacije polivinilacetata (Resnik, 1997).....	10
Slika 5. Načrt razžagovanja lepljencev po standardu SIST EN 205:2003.....	20
Slika 6. Dimenzije preizkušanca za ugotavljanje strižne trdnosti lepljenih spojev po standardu SIST EN 205:2003.....	21
Slika 7. Les navadne (levo) in termično modificirane (desno) bukovine	22
Slika 8. Komora za vakuumsko termično modifikacijo lesa (Rep, 2016)	29
Slika 9. Zložaj termično modificiranega lesa (Rep, 2016)	29
Slika 10. Nanešeno PVAc lepilo na lamelo iz TM bukovine	31
Slika 11. Klasična stiskalnica in lepljenci	32
Slika 12. Izdelani preizkušanci za ugotavljanje natezno strižne trdnosti	32
Slika 13. Preizkušanci, potopljani v vodo	33
Slika 14. Univerzalni testirni stroj ZWICK/ROELL Z005	34
Slika 15. Vpenjalna naprava s preizkušancem na univerzalnem testirnem stroju ZWICK/ROELL Z005.....	35
Slika 16. Strižna trdnost spojev po 1. načinu priprave	37
Slika 17. Delež loma po lesu po 1. načinu priprave	38
Slika 18. Strižna trdnost spojev po 3. načinu priprave	39
Slika 19. Strižna trdnost spojev po 4. načinu priprave	41
Slika 20. Delež loma po lesu po 4. načinu priprave	41
Slika 21. Primerjava strižne trdnosti preizkušancev iz navadne bukovine glede na posamezen način priprave (črtkana črta predstavlja minimalno trdnost za posamezni način priprave).....	44
Slika 22. Primerjava strižne trdnosti preizkušancev iz TM bukovine glede na posamezen način priprave (črtkana črta predstavlja minimalno trdnost za posamezni način priprave).....	44

KAZALO PRILOG

- Priloga A: Podatki meritev določanja vlažnosti navadne bukovine in termično modificirane bukovine
- Priloga B: Podatki meritev in statistika strižnih trdnosti spojev ter deleža loma po lesu preizkušancev po 1. načinu priprave
- Priloga C: Podatki meritev in statistika strižnih trdnosti spojev ter deleža loma po lesu preizkušancev po 3. načinu priprave
- Priloga D: Podatki meritev in statistika strižnih trdnosti spojev ter deleža loma po lesu preizkušancev po 4. Načinu priprave

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

OKRAJŠAVE

- polivinilacetat – PVAc
- navadna bukovina – NB
- termično modificirana – TM

SIMBOLI (enote)

- čas – t (s)
- temperatura – T (°C)
- strižna sila – F (N)
- ploščina – S (cm²)
- delež – (%)

1 UVOD

Modificiran les se zadnje čase vedno bolj uporablja pri različnih namenih. Z njim se oblagajo objekti, mostovi, notranje sten savn, primeren je za izdelavo ograj in za enostavne elemente, ki so spojeni z vijačenjem ali žebljanjem.

Termično modificiran les je lahko proizveden po različnih postopkih in z različnimi stopnjami modifikacije. Vsak postopek ima svoje posebnosti, ki vplivajo na lastnosti modificiranega lesa in s tem tudi na njegovo uporabo. Lepljenje termično modificiranega lesa je zahtevno, saj se zaradi modifikacije spremenijo številne lastnosti, ki vplivajo na končno trdnost lepilnega spoja. Prve raziskave so pokazale, da se modificiran les kvalitetno lepi z večino industrijskih lepil, vendar je to področje slabo raziskano in bo potrebno več novih raziskav, s katerimi bomo lahko ugotovili vpliv določenega postopka modifikacije na lepljenje z različnimi lepili (Kariž in Šernek, 2008).

Pri termični modifikaciji lesa se zmanjša število OH skupin ter s tem higroskopnost, absorpcija vode ter ravnovesna vlažnost. Zmanjšana absorpcija vode v les vpliva na utrjevanje lepil, saj večina lepil za lepljenje lesa vsebuje velik delež vode, ki jo je treba v postopku lepljenja odstraniti iz lepilnega spoja. Zmanjšana absorpcija termično modificiranega lesa najbolj vpliva na utrjevanje lepil, ki utrjujejo s fizikalnim procesom oddajanja vode, npr. polivinilacetatna (PVAc) lepila (Kariž in Šernek, 2012).

PVAc lepila so zelo razširjena v lesni industriji, saj so enostavna za uporabo, neškodljiva in dajejo kvalitetne spoje. Uporabljamo jih za nekonstrukcijska lepljenja pri proizvodih, ki so namenjeni predvsem notranji uporabi ali tudi zunanji, vendar v pokritih prostorih ali na prostem, če so lepljenci ustrezno površinsko zaščiteni. Ker so PVAc lepila slabo odporna proti vodi, povišani vlažnosti in temperaturi, jih moramo za uporabo v takih pogojih ustrezno modificirati. PVAc lepila ne vsebujejo formaldehida in drugih strupenih substanc, zato so okoljsko veliko bolj sprejemljiva kot večina drugih sintetičnih lepil za les (Šernek in Kutnar, 2008).

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Zaradi vse večje uporabe modificiranega lesa in potreb pri tehnoloških procesih po njegovem lepljenju se pojavljajo tudi težave pri lepljenju. Ker se pri isti drevesni vrsti modificiran les razlikuje od navadnega po gostoti, trdoti, trdnosti, vlažnosti, vpijanju vode iz lepila, se pojavljajo vprašanja, kako ta les najbolj hitro, kvalitetno in s čim manjšimi stroški zlepi enako kot navadnega. V lesarstvu se veliko uporabljajo PVAc lepila za montažna, širinska, debelinska in ostala lepljenja. Zato je velika potreba, da bi se s PVAc

lepili lahko kvalitetno lepil tudi modificiran les. Zaradi drugačnih lastnosti modificiranega lesa proces lepljenja ni enak kot pri navadnem lesu. Če so parametri lepljenja enaki, so lepilni spoji večinoma nekoliko slabše kvalitete kot pri navadnem lesu. Težava je tudi v tem, da ne dajo vsa PVAc lepila zadovoljivih rezultatov pri lepljenju modificiranega lesa.

1.2 CILJI RAZISKOVANJA

Navadno bukovino (*Fagus sylvatica* L.), katere vlažnost bo enaka ravnovesni vlažnosti, ki jo les doseže v standardni klimi, in modificirano bukovino, katere vlažnost bo nižja od vlažnosti navadne bukovine zaradi termične modifikacije, bomo zlepili s šestimi polivinilacetatnimi lepili D3 razreda različnih proizvajalcev lepil. Lepljenje vseh lepljencev bo izvedeno pod enakimi pogoji. Po lepljenju bomo za preizkušanje po treh načinih izdelali 432 kosov dimenzij 150 mm x 20 mm x 10 mm, ki jih bomo preizkušali na strižno trdnost po standardu SIST EN 204:2002. Ugotoviti želimo, katero od šestih izbranih lepil bo pri enakih pogojih lepljenja navadne in termično modificirane bukovine dalo najboljše rezultate. Predvsem nas zanima, kako se bo obneslo lepljenje modificirane bukovine s polivinilacetatnimi lepili in katero od šestih lepil bo dalo najboljše rezultate.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Predvidevamo, da bodo lepilni spoji pri navadni bukovini imeli večjo strižno trdnost kot pri termično modificirani bukovini, in sicer zaradi slabšega vpijanja vode in omočenja pri modificirani bukovini. Pri termični modifikaciji se zaradi segrevanja spremeni struktura lesa, kar se odraža v slabših mehanskih lastnostih TM lesa. Zaradi manjše strižne trdnosti TM bukovine v primerjavi z navadno bukovino, predpostavljamo, da bo delež loma po lesu pri TM bukovini večji kot pri navadni bukovini. Predpostavljamo tudi, da bo strižna trdnost različna glede na vsako lepilo, čeprav smo izbrali lepila s podobnimi lastnosti oziroma parametri pri lepljenju.

2 PREGLED OBJAV

2.1 TERMIČNA MODIFIKACIJA LESA

S termično modifikacijo lesu zmanjšamo ravnovesno vlažnost, izboljšamo dimenzijsko stabilnost, povečamo trajnost ter odpornost proti glivam in insektom. Modificiramo predvsem cenejše, manj odporne vrste lesa in jim s tem povečamo možnost uporabe. Termična modifikacija je v primerjavi s kemično impregnacijo z zaščitnimi sredstvi manj učinkovita, toda bolj ekološko sprejemljiva, saj v les ne vnašamo dodatnih kemičnih sredstev, enostavnejše je tudi odstranjevanje takega lesa po koncu uporabe, saj ne vsebuje strupenih kemikalij. Termično modificiran les se večinoma uporablja za zunanje stenske in talne obloge, ograje, obloge mostov, notranje obloge savn, vhodna vrata, okna in vrtno pohištvo. Zaradi drugačnih barvnih tonov, ki jih lahko dosežemo z različnimi stopnjami modifikacije, se uporablja tudi za notranje pohištvo. Zaradi boljše dimenzijske stabilnosti ga je mogoče uporabiti tudi v bolj vlažnih razmerah (npr. za kopalniško pohištvo) (Kariž in Šernek, 2008).

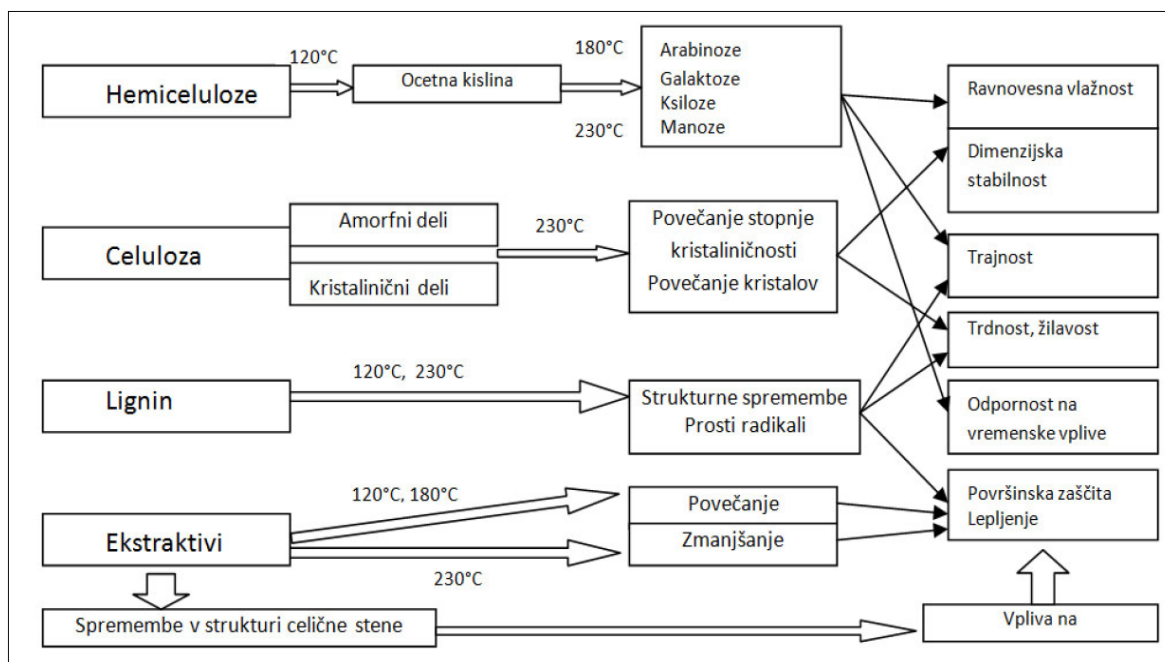
Termična modifikacija lesa je postopek segrevanja lesa pri določeni temperaturi in zmanjšanem kisiku (Militz, 2002). Pri tem se lesu spremeni struktura in kemična sestava. Celične stene lesa so sestavljene predvsem iz polimerov (celuloze, hemiceluloz, in lignina), ki vsebujejo hidroksilne skupine (OH). To so najbolj reaktivne skupine v lesu in mesta, na katera se veže voda v procesu navlaževanja lesa. Pri termični modifikaciji te polimere v celični steni delno spremenimo z zamreževanjem, zmanjšanjem števila OH skupin in nezaželenim cepljenjem verig polimerov (slika 1) (Kariž in Šernek, 2008).

To povzroči manjšo interakcijo takega lesa z vodo v primerjavi z netretiranim lesom (Homan in sod., 2000) ter posledično manjše dimenzijske spremembe lesa, hkrati se poveča odpornost proti glivam in škodljivcem (Hill, 2006), toda lesu se zaradi termične modifikacije poslabšajo določene mehanske lastnosti (Yildiz in sod., 2006).

2.1.1 Postopki termične modifikacije lesa

Poznamo več postopkov termične modifikacije lesa, ki se med seboj razlikujejo v številu korakov, deležu kisika ali drugih plinov v atmosferi med postopkom modifikacije, temperaturi, času trajanja postopka ter vlažnosti lesa na začetku modifikacije. Stopnjo modifikacije, ki se največkrat podaja z izgubo mase, lahko uravnavamo s temperaturo, ki je običajno 160-260 °C, in s časom trajanja postopka. Najpogosteje uporabljeni postopki termične modifikacije lesa v Evropi so (Kariž in Šernek, 2008):

- Plato postopek (PLATO BV, Nizozemska),
- ThermoWood postopek (Stora, Finnforest, Finska),
- Retification postopek (NOW New OptionWood, Francija),
- Bois perdure (BCI-MBS, Francija),
- OHT (Oil-heat treatment) postopek (Menz Holz, Nemčija).



Slika 1. Reakcijski mehanizmi termične modifikacije lesa (Kariž in Šernek, 2008)

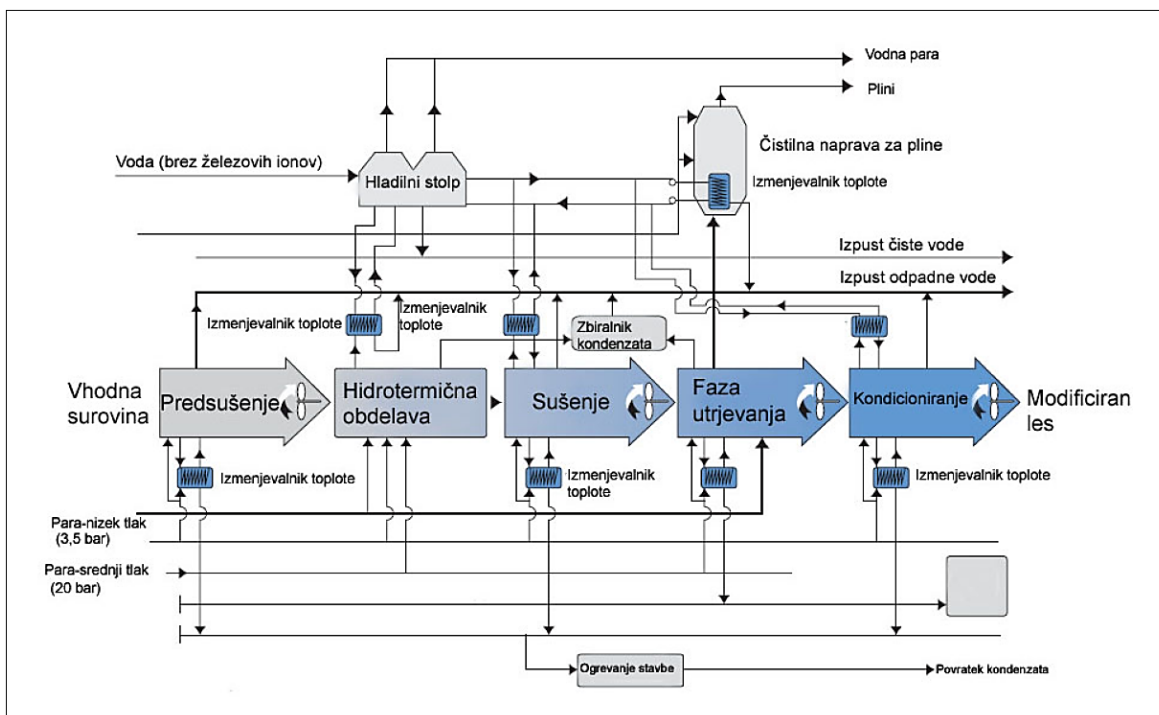
2.1.1.1 Plato postopek (PLATO BV, Nizozemska)

PLATO modifikacija lesa poteka v petih fazah (slika 2) (The Plato technology, 2006):

1. **Predsušenje:** če je les prevlažen za hidrotermično obdelavo, ga najprej v klasičnih sušilnicah delno posušijo.
2. **Hidrotermična obdelava:** les v tej fazi segrejejo na 150 – 180 °C pri povišanem tlaku in vodni pari. Pri tem hemiceluloze in lignin razpadejo v vmesne reaktivne produkte. Polioze se pretvorijo v aldehide in nekatere kisline. Celuloza ostane nespremenjena, kar je bistveno za ohranitev mehanskih lastnosti.
3. **Sušenje:** les posušijo na 10 % vlažnosti v klasični sušilnici, kar traja 3-5 dni, odvisno od debeline sortimentov.
4. **Utrjevanje:** les ponovno segrejejo na 150 – 190 °C, vendar tokrat v suhih razmerah in pri atmosferskem tlaku. Trajanje te faze je odvisno od debeline, vrste in oblike

lesa ter znaša 14 – 16 ur. Aldehidi, nastali v drugi fazi, reagirajo z aktivnimi molekulami lignina in tvorijo nepolarne (vodo odbojne) vezi, povezane s strukturo lesa.

5. Kondicioniranje: sledi še faza kondicioniranja na ustrezno vlažnost primerno na končno uporabo (Kariž in Šernek, 2008).



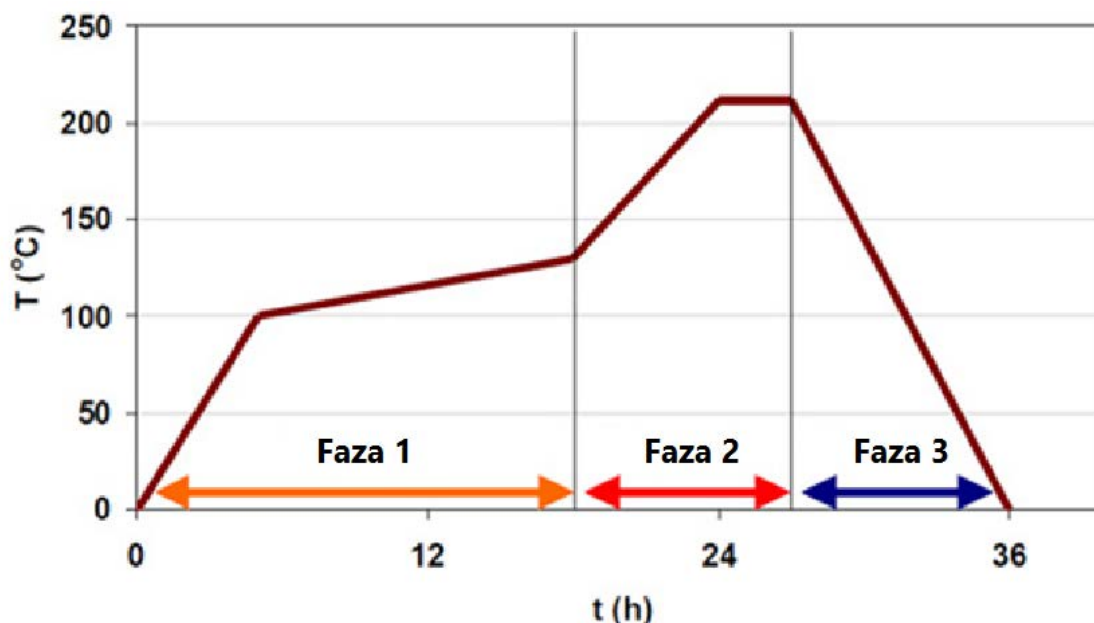
Slika 2. Pregledna shema modifikacije lesa s Plato postopkom (Kariž in Šernek, 2008)

2.1.1.2 ThermoWood postopek (Stora, Finnforest, Finska)

Pri ThermoWood postopku lahko uporabimo svež ali posušen les. Svež les v začetnem postopku najprej posušimo pri visokih temperaturah. ThermoWood postopek je primeren za modifikacijo listavcev ali iglavcev, vendar je za vsako vrsto treba uporabiti različne pogoje. Postopek je sestavljen iz treh faz (slika 3):

1. Segrevanje: les hitro segrejemo s toploto in paro na 100 °C. Potem temperaturo počasi povišamo na 130 °C, pri čemer se les posuši na skoraj 0 % vlažnost.
2. Modificiranje: temperaturo povišamo na 185 - 215 °C in jo vzdržujemo konstantno 2 – 3 ure, odvisno od stopnje modifikacije, ki jo želimo doseči.

3. Hlajenje in kondicioniranje: les ohladijo in kondicionirajo z razprševanjem vode. V tej fazi je treba z ustreznimi pogoji preprečiti nastanek razpok. Ko se les ohladi na približno 80 - 90 °C, sledi navlaževanje na 4 -7 % vlažnost (Kariž in Šernek, 2008).



Slika 3. Diagram poteka modifikacije lesa s ThermoWood postopkom (Kariž in Šernek, 2008)

2.1.1.3 Retification postopek (NOW New OptionWood, Francija)

Pri tem postopku les najprej intenzivno posušijo pri temperaturi okrog 160 - 180 °C, nato temperaturo povišajo. Ena od posebnosti Retification postopka je uporaba temperature, ki ustreza temperaturi steklastega prehoda za določeno lesno vrsto, zato uporabljajo temperature do 240 °C. Druga posebnost je uporaba dušikove atmosfere, s katero zagotovijo manj kot 2 % kisika v atmosferi med modifikacijo. Les po modifikaciji ohladijo z razprševanjem vode. Kakovost modifikacije uravnavajo z najvišjo temperaturo, trajanjem izpostavljenosti tej temperaturi in trajanjem celotnega postopka modifikacije (Kariž in Šernek, 2008).

2.1.1.4 Bois perdure (BCI-MBS, Francija)

Postopek je razdeljen na tri faze:

1. Odstranitev proste vode: kot surovina se lahko uporablja tudi svež les, zato je najprej treba odstraniti prosto vodo.
2. Odstranitev vezane vode iz lesa.

3. Termična modifikacija: v tej fazi les izpostavimo visoki temperaturi 200 - 240 °C in pari. Pri tem naj bi alkoholi, katrani in smole migrirali iz lumnov celic v celične stene lesa. Te snovi naj bi predstavljale zaščitni sloj, ki zaustavi ali upočasni napredovanje gliv (Kariž in Šernek, 2008).

2.1.1.5 OHT (Oil-heat treatment) postopek (Menz Holz, Nemčija)

Pri OHT postopku les potopijo v olje in s tem preprečijo dostop kisika v les. Modifikacija v olju omogoča hitrejše segrevanje lesa, saj je prenos toplote boljši kot pri modifikaciji v plinasti atmosferi. Les segrevajo v oljni kopeli na okrog 220 °C in temperaturo vzdržujejo konstantno 2 – 4 ure. Uporabljajo različne vrste olj (iz oljne repice, laneno, sončnično). Olje po koncu postopka vakuumsko odstranijo iz lesa (Kariž in Šernek, 2008).

2.1.2 Postopki termične modifikacije lesa v Sloveniji

V Sloveniji je bil razvit postopek modifikacije lesa v intaktnem vakuumu (Pohleven in Rep, 2004; Rep in sod., 2004; Rep in sod., 2010), ki se tudi že komercialno uporablja. V tem primeru se pred fazo segrevanja v komori vzpostavi podtlak s katerim odstranimo kisik, katerega nadomestijo hlapni produkti iz lesa. Med procesom modifikacije kemijske spremembe v lesu narastejo hitreje, zaradi izhajanja hlapnih produktov pa tlak v komori ponovno naraste, kar nadalje omogoča segrevanje s toplotno konvekcijo (Pohleven in Rep, 2004; Rep in Pohleven, 2009). Raziskave so pokazale, da ima les obdelan s to tehniko modifikacije lastnosti primerljive z lesom, ki je obdelan z drugimi postopki termične modifikacije (Žigon, 2014).

Glavna razlika med vsemi postopki termične modifikacije lesa je v uporabljenem načinu oz. mediju za gretje lesa. Uporabljeni medij prepreči prisotnost kisika med postopkom in s tem pojav pirolize lesa (Pohleven in Rep, 2004).

Med izpostavitvijo lesa povišani temperaturi (170 °C do 220 °C) pride ob odsotnosti atmosferskega zraka do pojava sprememb v njegovi strukturi in kemijski sestavi. Odvisno od vrste uporabljenega lesa, trajanja in drastičnosti postopka termične obdelave tako obdelan les nakazuje povečano odpornost proti lesnim škodljivcem in vplivom klimatskih pogojev. Poveča se tudi njegova dimenzijska stabilnost, prihaja do sprememb v barvi lesa, poslabšajo pa se nekatere mehanske lastnosti (Esteves in Pereira, 2009; Rep in sod., 2010).

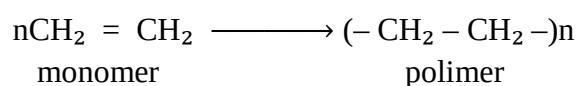
2.2 LEPLJENJE LESA

Trdnost lepilnega spoja je odvisna od kohezije utrjenega lepila, kohezije lepljencev in predvsem od adhezije, ki nastane v procesu lepljenja med lepilom in lepljencem. Kohezija (cohesion) je privlačnost med osnovnimi gradniki (atomi ali molekule) in jo imenujemo tudi mehanska trdnost materiala (USDA, 1999). Med lepljenjem je možnost za spreminjanje kohezijskih lastnosti lepilnega spoja majhna, saj je kohezija večji del določena z izbiro lesa, lepila in parametrov lepljenja. Variiranje v trdnosti lepilnega spoja je zato predvsem posledica različne adhezije med lepilom in lepljencem. Adhezija (adhesion) pomeni površinski fenomen in predstavlja privlačnost oziroma sprejemnost med površinami snovi. Definirana je kot stanje, v katerem sta dve površini povezani med seboj zaradi delovanja površinskih sil (USDA, 1999). Pri lepljenju lesa lahko te sile nastanejo na osnovi treh mehanizmov. To so (Šernek, 2002):

1. Mehanska povezava, ki je rezultat penetracije in sidranja lepila v lumne lesnih celic, v celične stene lesa ter razpoke v strukturi lesa.
2. Fizikalna privlačnost, ki je rezultat privlačnih sil na nivoju molekul. Teh sil je več vrst (npr. van der Waalsove sile in vodikova vez). Njihov nastanek in jakost sta odvisna od omočitve celičnih sten lesa z lepilom in njegove absorpcije v les.
3. Kemijska vez (kovalentna) med molekulami lepila in lesa, ki lahko nastane med utrjevanjem lepila. Kovalentne vezi nastanejo pri lepljenju lesa z lepili, ki zamrežijo. Čeprav pojav te vrste adhezije med lepilom in lesom ni pogost, je z vidika trdnosti najbolj zaželen. Energija kemijske vezi je namreč več kot desetkrat večja od energije fizikalne vezi (Šernek, 2002).

2.2.1 Polimerizacija

Polimerizacija je kemijska reakcija, pri kateri iz nenasičenih enostavnih molekul nastajajo večje makromolekule. Pri tem se ne izločajo druge (vzporedne) snovi, nastale makromolekule pa imajo enako procentno sestavo kot izhodiščni monomer (Resnik, 1997).



Polimerizacija je tem intenzivnejša, čim večja je nenasičenost monomera, oziroma, čim večje je število večkratnih vezi. Procesi polimerizacije potekajo tudi v naravi. Med naravne polimere prištevamo npr. kavčuk, svilo, volno, celulozo, škrob in vse naravne beljakovine.

Proces polimerizacije nadzirajo s kontrolo temperature in dodajanjem katalizatorjev. Številne polimerizacije, ki potekajo po radikalnem mehanizmu, zavirajo oziroma prekinajo inhibitorji (antioksidanti), kot so nekateri fenoli, tioli, amini idr. Zato jih lahko uporabljamo tudi kot stabilizatorje monomera. Stopnja polimerizacije je kvocient molekulske mase polimera in molekulske mase monomera (Resnik, 1997).

Polimerna stopnja polimerizacije za nekatera lepila:

- polivinilacetat	60 – 200
- kopolimer vinilacetata in vinilklorida	100 – 150
- polietilkrilat	80 – 150
- poliamid	50 – 100

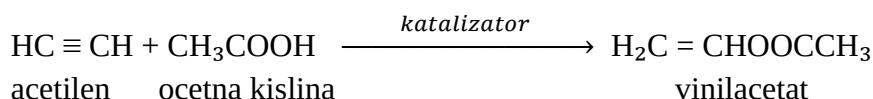
Nekaj značilnih lastnosti polimerov:

So topni v nekaterih topilih. Topnost je poleg drugega odvisna tudi od stopnje polimerizacije. So termoplastni. Temperatura omehčanja je nižja, če je stopnja polimerizacije nižja. Pri temperaturi okoli 300 °C pooglenijo in zgorijo. Kopolimerizanti (iz dveh ali več monomerov) imajo lahko boljše nekatere fizikalne in mehanske lastnosti (Resnik, 1997).

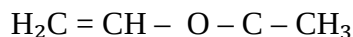
2.3 POLIVINILACETATNA LEPILA

Polivinilacetatna lepila sodijo v skupino termoplastnih sintetičnih lepil. Na trgu se pojavljajo kot čista in modificirana, kot homo- ali kopolimeri ter različnih viskoznosti. Prva zabeležena informacija v zvezi s temi lepili je patent za izdelavo vinilacetata v Nemčiji leta 1912. Ni znano, kdaj je bila opravljena prva polimerizacija vinilacetata v polivinilacetat. V letih med 1915 in 1925 so intenzivno proučevali proste radikale, ki so osnova za polimerizacijo. Leta 1930 je bil polivinilacetat že poznan kot komercialni izdelek. Močan razvoj proizvodov na temelju polimerizacije je zabeležen med II. svetovno vojno na področju barvil, lepil in različnih termoplastnih materialov. Danes je na voljo širok spekter polivinilacetatnih (PVAc) lepil za različne namene in zahteve lepljenja (Resnik, 1997).

Pri izdelavi monomera vinilacetata sta osnovni surovini acetilen ($\text{HC} \equiv \text{CH}$) in očetna kislina (CH_3COOH).



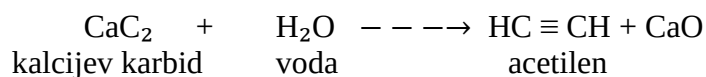
ali vinilacetat:



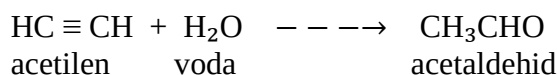
Prvotno je potekal proces v tekočem stanju, po letu 1930 pa v plinastem pri visoki temperaturi (Resnik, 1997).

Izhodiščna surovina sta apnenec in premog (ali nafta).

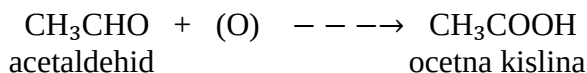
Proizvodnja acetilena:



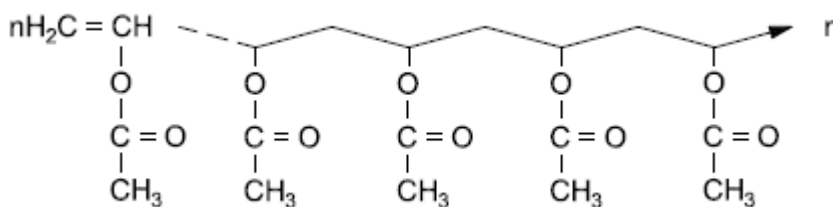
Proizvodnja očetne kisline:



in naprej:



Zaradi naraščanja cen električne energije in energetske zahtevne izdelave kalcijevega karbida so razvili petrokemično metodo, ki se danes vse bolj uporablja. Po tej metodi je osnova za izdelavo acetilena in očetne kisline etilen. Acetilen pridobivajo z izločitvijo vodika iz etilena, očetno kislino pa z oksidacijo etilena v acetaldehid in dalje v očetno kislino (Resnik, 1997).



Slika 4. Poenostavljen prikaz polimerizacije polivinilacetata (Resnik, 1997)

Glede na stopnjo polimerizacije je produkt le-te lahko disperzija, emulzija ali trdna snov. Za lepila so primerne disperzije, ki vsebujejo okoli 60 % smole. Že majhna količina vode to disperzijo močno razredči, zato se giblje dodatek vode od 5 do 10 %. Vodne disperzije PVAc so pogosto modificirane z drugimi polimerizanti, plastifikatorji in drugimi lepili. PVAc lepila popularno imenujemo »hladna« ali »bela« lepila. Prednosti PVAc so predvsem v tem, da so primerna za hladna, topla in vroča lepljenja. So enostavna za pripravo, izteklo lepilo pri lepljenju lahko očistimo z vodo ali organskimi topili, spoji so trdni in elastični. Ne obrabljajo obdelovalnega orodja, odporna so proti mikroorganizmom. So univerzalna, saj lepijo poleg lesa tudi usnje, kovine, porcelan in plastične mase. Pomanjkljivost PVAc lepil je njihova termoplastnost, ki je odvisna od stopnje polimerizacije tako, da se ta lepila omehčajo pri 60 do 120 °C. Lepila v vodi nabrekajo, občutljiva so tudi na kisline in luge. Pri lepljenju v hladnem imajo kratek vmesni čas, kar pomeni nevarnost oblikovanja »kožice«, ki prepreči kvalitetno lepljenje. So kislila in obarvajo nekatere lesove, imajo tudi neugodno polzenje (lezenje). Na splošno velja za PVAc lepila, da morajo imeti za lepljenje trdih lesov več suhe snovi, za izboljšanje penetracije pri lepljenju smolnatih in oljnatih lesov jim je potrebno dodati sredstva za omočenje ali topila. V osnovi so ta lepila primerna za lepljenje materialov, ki vsebujejo celulozo. Lepljenje lesa z gumo, sintetičnimi materiali in kovinami zahteva posebno pripravo lepila. Za lepljenje s PVAc lepili mora biti površina lepljenca ravna in gladka (čim manjši nanos lepila). Viskoznost lepila mora biti prilagojena načinu nanosa, ki znaša od 120 do 200 g/m². Vlaga lesa naj bo med 5 in 12 %, tlaki lepljenja 2 do 12 barov. PVAc lepilo ima v dobro zaprti embalaži razmeroma dolgo dobo skladiščenja. Če lepilo v slabo zaprti embalaži prelijemo z vodo, mu podaljšamo čas uporabe. Lepilo ne sme zmrzniti. Pri uporabi je potrebno upoštevati navodila proizvajalca (Resnik, 1997).

2.3.1 Dodatki PVAc lepilom

PVAc disperzijska lepila sestavljajo poleg osnovnega linearnega polimera še druga veziva, mehčala, topila, polnila in razni dodatki, kot so: zgoščevala, barvila, zaščitna sredstva, protipenilci, omakala in sredstva za povečanje začetne lepljivosti (Šernek in Kutnar, 2008).

2.3.1.1 Druga veziva

Kot dodatno vezivo dodajajo PVAc emulziji polivinil alkohol, ki poveča odpornost utrjenega filma na hladno lezenje, vendar pa hkrati zmanjša njegovo odpornost proti vodi. Pogosto v PVAc emulzijo dodajajo tudi derivate celuloze, kot je karboksi metil celuloza, ki ima predvsem nalogo uravnavanja viskoznosti. Za izboljšanje odpornosti proti vodi dodajajo PVAc lepilom tudi fenol-, resorcinol- in urea-formaldehidne smole (Šernek in Kutnar, 2008).

2.3.1.2 Mehčala

Mehčala so snovi z nizko molekulsko maso, ki formirajo film okrog delcev disperzije in s tem povečajo razdaljo ter zmanjšajo sile med njimi. Na ta način povečajo fleksibilnost utrjenega filma in znižajo minimalno temperaturo potrebno za formiranje filma. Mehčala uporabljajo tudi za uskladitev karakteristik lepilnega filma z lastnostmi lepljenja v primerih, ko se eden od lepljencev bolj krči oziroma nabreka od drugega. Mehčala za PVAc lepila so navadno estri. Ker ima dodatek mehčala tudi nezaželeni lastnosti (povečano lezenje, zmanjšana trdnost), se v PVAc lepila za les redko dodaja več kot 10 % mehčal glede na suho snov lepila (Šernek in Kutnar, 2008).

2.3.1.3 Topila

Topila imajo podoben vpliv na lastnosti PVAc emulzije kot mehčala, le da je njihov učinek začasen. Topila, ki so visoko kompatibilna s PVAc, znižajo temperaturo, ki je potrebna za utrjevanje filma lepila in tako pospešujejo formiranje homogenega filma. Ker topilo na koncu v celoti izhlapi, ne vpliva na mehanske lastnosti lepilnega filma. S topili je torej mogoče znižati kredno točko lepila brez hkratnega povečanja tendence k hladnemu lezenju. Topila, ki se običajno uporabljajo za PVAc lepila, so nižji alkoholi, estri, ketoni in aromatski ogljikovodiki. Običajno se dodajajo v količini od 1 do 5 % glede na suho snov PVAc lepila (Šernek in Kutnar, 2008).

2.3.1.4 Polnila

Polnila dodajajo PVAc lepilom, da bi zmanjšali ceno, povečali vsebnost suhe snovi, viskoznost in gostoto, zmanjšali penetracijo, povečali žilavost filma in izboljšali lastnosti polnjenja por oziroma razpok. V procesu lepljenja predstavljajo določeno pomanjkljivost, ker zvišujejo kredno točko in povečajo obrabo rezil orodij med obdelavo lepljencev. Polnila so bolj ali manj inertni, nelepljivi materiali. Največ se uporabljajo mavec, kalijev karbonat, kaolin ali kitajska glina, nemodificiran škrob in lesna moka. Organska polnila izboljšajo obdelovalne lastnosti lepila, vendar pa zmanjšajo odpornost proti mikrobom. Delež dodanega polnila ima močan vpliv na kakovost in lastnosti lepila. Pri visokem deležu se zmanjša trdnost lepila. V splošnem organska polnila dodajajo v manjših količinah kot organska, ker imajo organska veliko večji vpliv na zmanjšanje natezne trdnosti in povečajo viskoznost lepila. Organska polnila dodajajo v količini od 5 do 10 %, medtem ko anorganska tudi do 50 % glede na suho snov polimera (Šernek in Kutnar, 2008).

2.3.1.5 Drugi dodatki

V PVAc lepila za les dodajajo še razne druge dodatke, da lepilni mešanici spremenijo lastnosti. Sredstva za zgoščevanje (karboksimetil celuloza in natrijev poliakrilat) dodajajo v manjših količinah, da bi dosegli ustrezno viskoznost. Sredstva na osnovi celuloze zmanjšajo odpornost lepilnega spoja proti vodi in povečajo nevarnost okužbe z mikrobi, zato jih je treba dodajati v manjših količinah (do 5 %). Pigmente ali barvila dodajajo za barvno usklajenost lepilnega spoja z lesom, kar je posebno pomembno pri luženju. PVAc emulzijam dodajajo tudi sredstva proti penjenju, če obstaja problem penjenja lepila. Sredstva za povečanje omočenja dodajajo za doseganje boljše adhezije in za izboljšanje penetracije lepila v oljnato ali neprepustno površino. Sredstva za izboljšanje lepljivosti dodajajo v PVAc lepila v primeru, ko ena od površin ne nudi zadostne adhezije za nemodificirano lepilo (npr. lepljenje dekorativne PVC folije na les ali lesne plošče). PVAc lepilom lahko dodajajo različna zaščitna sredstva, posebno, če sta bila v emulzijo vključena škrob in celuloza. Za izboljšanje odpornosti proti vodi in toploti se vodni disperziji PVAc dodajajo različni monomeri, kot je N-hidroksimetilakrilamid v različnih količinah. Dodajanje enega ali več monomerov vinilacetatu med polimerizacijo omogoča tvorjenje številnih PVAc lepil, primernih za najrazličnejše namene. Za povečanje stopnje utrjenosti modificirajo PVAc lepila s kopolimerizacijo vinilacetata s hidrofobnimi monomeri (npr. etilen, butilakrilat, metilmetakrilat) ali s kopolimerizacijo vinilacetata s funkcionalnimi monomeri (npr. hidroksietilakrilat). Pogosto izdelujejo tudi zmesi PVAc disperzije z drugimi lepili ali utrjevalci (npr. MUF smole, lateks, poliizocianati) z namenom povečanja odpornosti proti vodi in povišani temperaturi. Tipična količina dodatka je do 5 % glede na osnovno emulzijo (Šernek in Kutnar, 2008).

2.3.2 Lastnosti PVAc lepilnega spoja

Zaradi termoplastnosti lepila pomeni že daljša izpostavljenost spoja temperaturi 40 °C njegovo delno omehčanje. To lastnost lepila popravljajo z dodajanjem snovi, ki zavirajo mehčanje. To so npr. kalcijev karbonat ter razne termoplastne smole. Ob teh dodatkih pa lepilo izgubi nekatere svoje prednosti. Ultravijolična svetloba ne vpliva na lastnosti PVAc spoja, možno pa je, da na to svetlobo niso odporni nekateri dodatki. Ta problem rešujejo z dodajanjem UV absorbentov. Voda in topila povzročajo ob daljšem delovanju razkroj lepilnega spoja. PVAc lepilo je posebno neodporno proti topilom za polimere (ketoni, estri in aromatski ogljikovodiki). To lastnost je mogoče nekoliko popraviti z dodajanjem posebnih kemikalij (kromov nitrat) ali termoneplastnih smol (fenol-, melamin- ali resorcinol-formaldehidnih). PVAc lepila so občutljiva tudi na povišano vlago. Mikroorganizmi v osnovi ne uničujejo PVAc lepilnega spoja. Mogoče pa je, da niso odporni proti mikroorganizmom nekateri dodatki v lepilu. Razpad lepilnega spoja pomeni

tudi odpiranje poti mikroorganizmom v proizvod sam. Odpornost spoja povečajo z dodajanjem ustreznih zaščitnih sredstev (Resnik, 1997).

2.3.3 Uporaba PVAc lepil

PVAc lepila uporabljajo za najrazličnejše namene v lesni industriji, vendar je treba pri izbiri lepila upoštevati številne dejavnike, ki vplivajo na trajnost lepilnih spojev. V grobem lahko vplivne dejavnike razdelimo v tri razrede: dejavnike okolja (vremenski vplivi, temperatura, vlaga), dejavnike materiala (les in lepilo) in napetosti (obremenitve med nastajanjem lepilnega spoja in med uporabo izdelka). PVAc lepila so plastomerna lepila in so namenjena za nekonstrukcijsko rabo (Šernek in Kutnar, 2008).

Različno pripravljena in modificirana PVAc lepila lahko uporabljamo za najrazličnejša lepljenja masivnega lesa, lesnih kompozitov in drugih materialov. Največ se PVAc lepila uporabljajo za širinsko, debelinsko (blokovo) in dolžinsko lepljenje masivnega lesa za notranje in stavbno pohištvo; za izdelavo sredic in masivnih lesnih plošč; za robno in ploskovno lepljenje ter montažo. S posebnimi PVAc lepili je moč lepiti tudi lakirane površine in les z drugimi materiali. Primerna so tako za klasično kot za visokofrekvenčno tehnologijo lepljenja (Šernek in Kutnar, 2008).

PVAc lepilom lahko razširimo spekter uporabe z dodajanjem zamreževal, s čemer jim izboljšamo odpornost proti vlagi in temperaturi. Taka lepila so med drugim primerna za proizvodnjo slojnatega furniranega lesa (laminated veneer lumber, LVL), vendar za nekonstrukcijske namene uporabe. Kvalitetni PVAc lepilni spoji so doseženi tudi na kompozitih obdelanih s plazmo. Znanstveniki so dokazali, da se PVAc lepilo lahko uspešno uporabi tudi kot dodatek k melamin-formaldehidnim lepilom z namenom zniževanja emisij prostega formaldehida (Šernek in Kutnar, 2008).

2.3.4 Tehnologija lepljenja s PVAc lepili

Lepljenje s PVAc lepili je enostavno, saj so lepila navadno že v pripravljeni obliki in jih je treba pred uporabo zgolj premešati oziroma homogenizirati. PVAc lepila so primerna za hladna, topla in vroča lepljenja. Ker so na vodni osnovi, čiščenje madežev, orodja in naprav ni problematično. Kvaliteta lepilnega spoja oziroma trdnost PVAc lepilnih spojev je odvisna od kvalitete mehanske obdelave lesnih površin pred lepljenjem, ki morajo biti ravne in gladke, ter od starosti površine. Najkvalitetnejši spoj dosežemo, če les lepimo takoj po pripravi površine. Priporočena vlažnost lesa znaša od 5 % do 12 %, možna so manjša odstopanja za posebej pripravljena lepila (Resnik, 1997). Raziskave so pokazale, da povišana vlažnost z 12 % na 15 % oslabi trdnost spoja za 15 %, medtem ko lepljenje pri

8% vlažnosti okrepi spoj za 6 %. Povišana vlažnost lesa podaljša tudi čas utrjevanja lepila, saj PVAc lepila utrjujejo pretežno na fizikalen način z oddajanjem disperzijskega sredstva. Disperzijsko sredstvo v PVAc lepilih je voda, ki v vlažen les penetrira in difundira počasneje kot v suh les (Šernek in Kutnar, 2008).

Nanos PVAc lepila je zadosten na eno lepljeno površino, in sicer v količini od 150 g/m² do 200 g/m², ki lahko v posebnih primerih variira od 100 g/m² do 300 g/m². Pri zahtevnejših lepljenjih lahko lepilo nanesemo na obe lepilni površini. Vmesni čas pri lepljenju je odvisen od sestave lepila, temperature prostora, relativne zračne vlažnosti, vrste lesa in vlažnosti lesa, ter običajno znaša od 5 min do 30 min. Pri predolgem odprtem času obstaja nevarnost formiranja tanke »kožice« na sloju lepila, kar prepreči kvalitetno lepljenje. Zaprti vmesni čas oziroma čas prileganja lepljencev pred stiskanjem ni potreben. Pri hladnem lepljenju je potreben čas stiskanja od 10 min do 20 min, medtem ko se pri temperaturi 80 °C ta čas zniža na vsega 2 min. Tlak stiskanja znaša od 2 bara do 15 barov, odvisno od vrste lesa in značilnosti lepljenca. Po toplem stiskanju morajo biti obdelovanci izpostavljeni tlačni sili, dokler ne dosežejo sobne temperature (Šernek in Kutnar, 2008).

2.3.5 Lepljenje termično modificiranega lesa s PVAc lepili

Termično modificiran les ima drugačne lastnosti kot naraven les, zato je lepljenje takega lesa običajno zahtevnejše. Lastnosti termično modificiranega lesa, ki vplivajo na kakovost lepljenja, so navedene v nadaljevanju.

2.3.5.1 Kristaličnost

S stopnjo termične modifikacije stopnja kristaličnosti celuloznih molekul raste, saj je na obdelavo pri višjih temperaturah bolj občutljiv amorfni del celuloznih molekul, zato najprej razpadejo amorfni deli in hemiceluloze. Posledica cepitve dolgih molekul celuloze je tudi zmanjšanje elastičnosti in povečanje krhkosti lesa (Šernek in Kutnar, 2008).

2.3.5.2 Barva in morfologija površine

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

2.3.5.3 Ravnovesna vlažnost

Termično modificiran les ima precej nižjo ravnovesno vlažnost kot nemodificiran les. Nižja ravnovesna vlažnost lesa vpliva na hitrost adsorpcije vode iz lepila in s tem na hitrost utrjevanja. Posledica manjše higroskopsnosti modificiranega lesa je precej manjše krčenje in nabrekanje ob spreminjanju vlažnosti okolice, s tem je tudi manjša obremenjenost lepilnih spojev z napetostmi, ki nastanejo zaradi delovanja lesa. Po drugi strani je lahko nizka ravnovesna vlažnost modificiranega lesa problem pri utrjevanju lepila, saj je zaradi slabše adsorpcije vode v les utrjevanje počasnejše, spoji pa so slabši. Ena od možnih rešitev je uporaba lepil z manjšim deležem vode. Lahko se pojavijo tudi problemi pri lepljenju z lepili, ki za reakcijo utrjevanja potrebujejo vodo. Enokomponentna poliuretanska lepila pri nizkih vlažnostih lesa dajejo spoje z nižjo trdnostjo in manjšim deležem loma po lesu. To lahko izboljšamo z navlaževanjem površine lepljencev pred stiskanjem (Šernek in Kutnar, 2008).

2.3.5.4 Izguba mase

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

2.3.5.5 Toplotna prevodnost

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

2.3.5.6 Migracija snovi

V procesu segrevanja pri termični modifikaciji prihaja do podobnih procesov kot pri sušenju lesa ali furnirja pri povišani temperaturi. Sušenje povzroči prehod ekstraktivov na površino in reorientacijo molekul na površini, kar zmanjša omočitev in število mest za kemično vezavo lepila ter zapre pore v celičnih stenah. Veliki depoziti na površini

povečujejo možnost onesnaženja in zmanjšujejo kohezijo lepila. Ekstraktivi lahko blokirajo reaktivna mesta na površini lesa in zmanjšujejo adhezijo med lepilom in lesom, oksidacija ekstraktivov povečuje kislost lesa in pospešuje degradacijo. Pri segrevanju delno razpade tudi lignin, pri tem pa se sproščajo aldehidi in kisline, ki prav tako prehajajo na površino lesa. Pri obdelavi lesa med 100 in 160 °C na površino migrirajo voski, maščobe, smolne kisline ter smola iz smolnih kanalov, vendar naj bi se pri višjih temperaturah razgradili in izpareli, zato jih s FTIR analizo ne zaznamo več. Nekateri raziskovalci menijo, da ekstraktivi nimajo velikega vpliva na lepljenje, oziroma, da je le-to odvisno od vrste lepila (Šernek in Kutnar, 2008).

2.3.5.7 Reaktivnost

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

2.3.5.8 Vrednost pH

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

2.3.5.9 Omočitev površine

Termična obdelava lesa povzroči, da postane površina manj polarna in s tem bolj hidrofobna, zato odbija vodo bolj kot netretiran les. Hidrofobnost narašča s stopnjo modifikacije. Taka površina je sicer zaželena pri zunanji uporabi lesa, ker manj vpija vodo, vendar se težave pojavijo pri lepljenju. Hidrofobna površina povzroča slabšo omočitev in razlivanje lepila ter počasnejšo penetracijo, zato je treba prilagoditi proces lepljenja (Šernek in Kutnar, 2008).

2.3.5.10 Mehanske lastnosti

Les s termično obdelavo pridobi odpornost proti glivam in insektom, vendar se mu hkrati poslabšajo določene mehanske lastnosti. Masiven les že po 30 minutah segrevanja pri 200 °C izgubi približno 10 % porušitvene trdnosti in približno 1 % mase. Proces je počasnejši pri zmanjšanem kisiku in hitrejši pri povišani temperaturi, višji relativni zračni vlažnosti ter višji vlažnosti lesa. Termična obdelava rdečemu boru (*Pinus sylvestris* L.) zmanjša tlačno trdnost, upogibno trdnost, modul elastičnosti, trdoto, udarno žilavost in natezno trdnost pravokotno na vlakna. Trdnost lepilnih spojev termično modificiranega lesa je zato nižja tudi zaradi nižje trdnosti samega lesa, medtem ko se delež loma po lesu poveča. Termično modificiran les zaradi nižje trdnosti in večje krhkosti lepimo pri nižjih tlakih (Šernek in Kutnar, 2008).

2.3.5.11 Razpoke

Iglavci z ozkimi branikami in/ali hitrim preходом med ranim in kasnim lesom so nagnjeni k nastanku tangencialnih razpok v kasnem lesu. Radialne razpoke se pojavijo pri manj permeabilnih vrstah zaradi velikih napetosti med postopkom termične modifikacije. Te poškodbe vplivajo na trdnost lepilnih spojev. Manjše poškodbe se lahko pojavijo tudi v parenhimskih celicah v trakovih in epitelnih celicah okrog smolnih kanalov (Šernek in Kutnar, 2008).

2.4 RAZVRŠČANJE PVAC LEPIL V TRAJNOSTNE RAZREDE

Standard SIST EN 204:2002 razvršča plastomerna lepila za les za nekonstrukcijsko uporabo v štiri razrede od D1 do D4 (preglednica 1).

Razvrščanje plastomernih lepil za nekonstrukcijsko uporabo v trajnostne razrede temelji na preizkušanju strižne trdnosti lepilnega spoja. Strižne preizkušance izdelajo v skladu z navodili standarda SIST EN 205:2003 in jih pred preizkušanjem ustrezno pripravijo. Način priprave preizkušancev in trdnostne zahteve za posamezni trajnostni razred so prikazane v preglednici 2.

Nemodificirana PVAc lepila iz razreda D1 so namenjena za uporabo v notranjih prostorih s suho klimo. Lepila iz razreda D2 in D3 so delno modificirana z dodatnimi monomeri in imajo nekoliko izboljšano odpornost proti povišani vlažnosti in vodi. Lepila iz D4 razreda so dvokomponentna in posebej modificirana, tako da so bistveno bolj odporna proti povišani vlažnosti in temperaturi, proti izlitju vode in zunanjim vremenskim vplivom (Šernek, 2008).

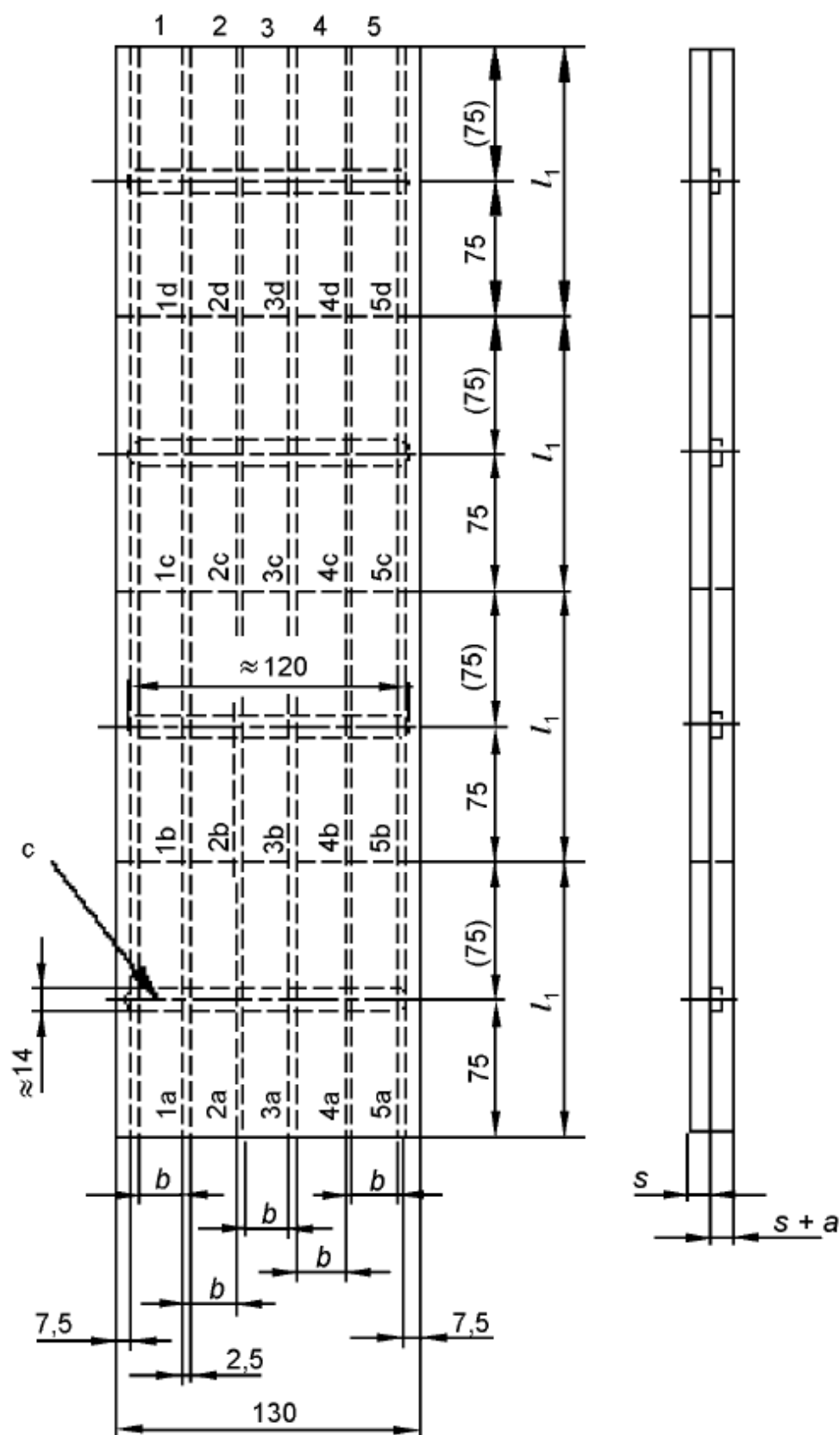
Preglednica 1: Razvrstitev plastomernih lepil za les za nekonstrukcijsko uporabo

Trajnostni razred	Področje uporabe in primer klimatskih pogojev
D1	Notranja uporaba , kjer je ravnovesna vlažnost lesa (u_r) < 15 %.
D2	Notranja uporaba , z občasnimi kratkotrajnimi izpostavitvami kondenzirani vodi in/ali občasni visoki RZV, kjer je u_r < 18 %.
D3	Notranja uporaba , s pogostimi kratkotrajnimi izpostavitvami tekoči ali kondenzirani vodi in/ali visoki RZV. Zunanja uporaba v pokritih prostorih.
D4	Notranja uporaba , s pogostimi dolgotrajnimi izpostavitvami tekoči ali kondenzirani vodi. Zunanja uporaba , kjer so izdelki izpostavljeni neposrednim vremenskim vplivom, vendar morajo biti površinsko zaščiteni.

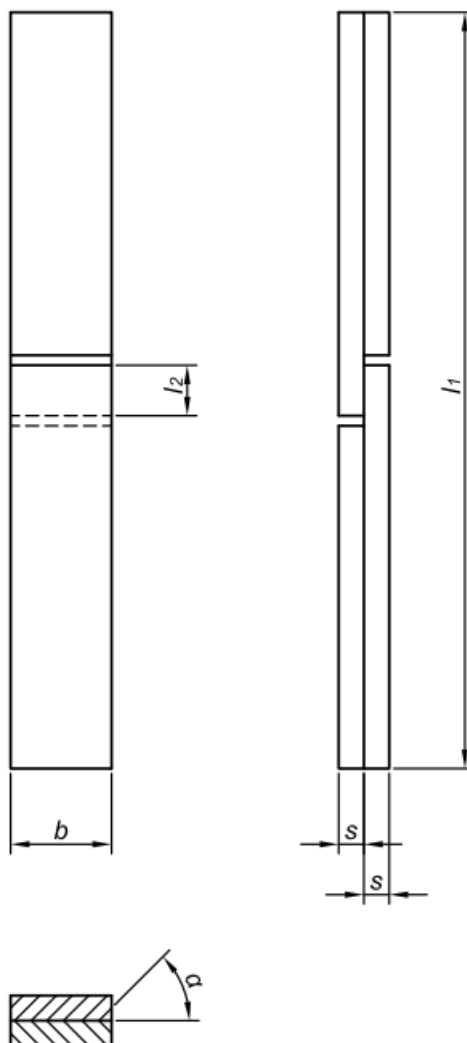
Preglednica 2: Način priprave preizkušancev in trdnostne zahteve za posamezni trajnostni razred po SIST EN 204:2002

Način priprave		Trajnostni razred Trdnost lepilnega spoja (N/mm²)			
Št.	Trajanje in pogoji	D1	D2	D3	D4
1	7 dni v standardni klimi	≥10	≥10	≥10	≥10
2	7 dni v standardni klimi 3 h v vodi 20 ± 5 °C 7 dni v standardni klimi	-	≥8	-	-
3	7 dni v standardni klimi 4 dni v vodi 20 ± 5 °C	-	-	≥2	≥4
4	7 dni v standardni klimi 4 dni v vodi 20 ± 5 °C 7 dni v standardni klimi	-	-	≥8	-
5	7 dni v standardni klimi 6 h v vreli vodi 2 h v vodi 20 ± 5 °C	-	-	-	≥4

Za preizkušanje po standardu SIST EN 204:2002 je potrebno najprej zlepiti dve lameli dimenzij 600 x 130 x 5 mm in nato po standardu SIST EN 205:2003 iz leplencev izžagati 20 preizkušancev (slika 5) dimenzij 150 x 20 x 10 mm (slika 6).



Slika 5. Načrt razžagovanja leplencev po standardu SIST EN 205:2003



Slika 6. Dimenzije preizkušanca za ugotavljanje strižne trdnosti lepljenih spojev po standardu SIST EN 205:2003

- $l_1 = 150 \text{ mm}$ – celotna dolžina preizkušanca
- $b = 20 \text{ mm}$ – širina preizkušanca (širina strižne površine)
- $l_2 = 10 \text{ mm}$ – dolžina preklopa (dolžina strižne površine)
- $s = 5 \text{ mm}$ – debelina lamel
- $\alpha = 30^\circ \text{ do } 90^\circ$ – kot med braniko in lepilno površino

3 MATERIAL IN METODE

3.1 MATERIAL

3.1.1 Les

Uporabili smo navadno bukovino (*Fagus sylvatica* L.), ki je imela v klimatiziranem prostoru s temperaturo 20 °C in RZV 65 % povprečno gostoto 678 kg/m³ in povprečno vlažnost 11,2 % ter les termično modificirane (TM) bukovine, ki je imel pri enakih klimatskih pogojih povprečno gostoto 570 kg/m³ in povprečno vlažnost 6,3 % (Priloga A).



Slika 7. Les navadne (levo) in termično modificirane (desno) bukovine

3.1.2 Polivinilacetatna lepila

Pri izdelavi lepljencev smo uporabili šest različnih polivinilacetatnih lepil, ki spadajo v skupino vlagoodpornih lepil D3 razreda. Izbrali smo lepila, ki imajo podobne parametre lepljenja, kot so: nanos, pritisk in čas stiskanja.

3.1.2.1 Lepilo FALCO-LIT D3 W91

Je belo mizarsko lepilo z odličnimi lepilnimi lastnostmi. Je vodoodporno lepilo D3 skupine vodoodpornosti, nestrupeno, uporablja se za lepljenje moznikov, lečastih peres, lesenih nalepk, hladno (do 70 °C) furniranje (lepilo ne prebija), lepljenje lesenih plošč in visokofrekvenčno lepljenje.

Lastnosti lepila:

viskoznost pri 20 °C

(Brookfield, Sp. 6, 20 obr.min⁻¹)

suha snov

gostota

odprti čas (150 g/m²)

12000 ± 2000 mPas

cca 51 %

cca 1,08 g/m³

max 8 – 12 min

- enostransko nanašanje
- pri trdih lesovih se priporoča dvostranski nanos

Tlak pri stiskanju: 0,7 – 1 N/mm²

Čas stiskanja:

spajanje elementov	pri 20 °C 15 min
spajanje elementov (predogreti)	pri 50 °C 5 min
spajanje elementov	pri 80 °C 2 min
površinsko lepljenje (HPL plošče)	pri 20 °C 15 – 20 min
površinsko lepljenje (HPL plošče)	pri 50 °C 5 min
površinsko lepljenje	pri 80 °C 1 – 2 min

Pri uporabi dvokomponentnega lepila je potrebno navedene čase podaljšati za 50 %.

3.1.2.3 Lepilo MEKOL 1130

Lepilo za širinska in debelinska lepljenja. Je na osnovi vodne disperzije za lepljenje vseh drevesnih vrst, kjer se zahteva vodoodporen spoj tip D3 po standardu EN 204 in visoka temperaturna odpornost po standardu DIN EN 14275, WATT 91: strižna trdnost pri 80 °C > 7 N/mm².

Lepilo se uporablja za lepljenje:

- ki so stalno izpostavljeni visoki relativni zračni vlagi;
- ki so pogosto izpostavljeni kondenzu ali kratkotrajnemu izlitju vode: vrata, okna, pohištvo za vlažne prostore, kuhinjski pulti, stopnice, pri polaganju parketnega laminata (pero - utor);
- kjer se zahteva visoka trdnost spoja ter kratek čas stiskanja.

Primerno je za lepljenje na hladnih, ogrevanih in visokofrekvenčnih stiskalnicah. Za toplo kaširanje dekorativnih papirnih folij na iverne in vlaknene plošče ter za 3D kaširanje furnirja na membranskih in vakuumskih stiskalnicah. Kot dvokomponentno lepilo z dodatkom trdilca Mekol B10 izpolnjuje zahteve za vodoodpornost tip D4 po standardu EN 204.

Lastnosti lepila:

kemijska osnova	vodna disperzija polivinilacetatnega polimera
barva	bela, suh film je prosojen
hitrost vezanja	visoka, hitro lepilo
viskoznost pri 20 °C	
(Brookfield RVT, vreteno 5, 20 obr.min ⁻¹)	8000 – 11000 mPas
pH vrednost (ISO 976)	ca. 3,0
kredna točka	ca. 4 °C
odprti čas pri 20 °C, 65 % relativne zračne vlage, na bukovem lesu z vlago 10 %:	
- pri nanosu 100 g/m ²	ca. 2 min
- pri nanosu lepila 200 g/m ²	ca. 7 min
označevanje	ni potrebno, lepilo ni razvrščeno kot nevarna snov

Komponenta B – trdilec MEKOL B10

kemijska osnova	poliizocianat
barva	rahlo rumenkast
označevanje	Xn zdravju škodljivo, vsebuje izocianate

Mešanica:

mešalno razmerje lepilo : trdilec (utežni deli)	100 : 5 – 7 (odvisno od pogojev, katerim bo izpostavljen lepljenec in vrste lesa)
obstočnost mešanice pri 20 °C	približno 8 ur

Končna vodoodpornost lepilnega spoja je dosežena po sedmih dneh.

Optimalni pogoji dela so:

temperatura lepila, lepljencev in okolice	18 – 20 °C
relativna zračna vlaga	60 – 70 %
vlažnost lesa	8 – 10 % za notranje pohištvo 12 – 15 % za stavbno pohištvo

Nanos lepila:

- pri širinskem in montažnem lepljenju	120 – 180 g/m ²
- pri furniranju	100 – 150 g/m ²

Tlak pri stiskanju:

- pri spojih in površinskem lepljenju laminata	min. 0,5 N/mm ²
- pri furniranju	min. 0,2 N/mm ²

Čas stiskanja:

Je odvisen od temperature okolja, lepila in lepljencev, vlažnosti in vrste lesa, pritiska pri stiskanju in količine nanešenega lepila. Ob upoštevanju navedenih optimalnih pogojev dela je priporočen čas stiskanja:

	minimalno
širinsko lepljenje (mehki/trdi les)	pri 20 °C 15 / 30 min pri 50 °C 3 / 5 min
furniranje (debeline 0,6 – 0,8 mm)	pri 20 °C 10 – 15 min pri 50 °C 6 – 8 min pri 70 °C 4 – 6 min
površinsko lepljenje (laminat)	pri 20 °C 15 – 20 min pri 50 °C 6 – 8 min pri 70 °C 4 – 6 min

3.1.2.4 Lepilo MULTIBOND EZ-1

Je stabilno enokomponentno, že katalizirano, polivinilacetatno lepilo, ki izpolnjuje pogoje B3 (evropsko D3). Klasifikacija glede na DIN 68. 602 – D3. Ne potrebuje trdilca. Lepilo se uporablja za:

- vroče in hladno visokofrekvenčno lepljenje,
- lepljenje spojev,
- ploskovno lepljenje,
- mnogostranska, na vlago odporna lepljenja, kot so kopalnice, kuhinje in vlažni prostori,
- montažno lepljenje pohištva in drugih delov, ki so predvideni za tropsko podnebje.

Lastnosti lepila:

osnova	polivinilacetatna disperzija (PVAc)
barva	rumenkasta, suho do prosojno svetlo bež
viskoznost pri 20 °C	
(Brookfield HBT, vreteno 3, 20 obr.min ⁻¹)	3000 – 4000 mPas
pH vrednost	cca. 7,0
kredna točka	cca. 15 °C

Optimalni pogoji dela so:

temperatura lepila, lepljencev in okolice	18 – 25 °C
relativna zračna vlaga	50 – 70 %
vlažnost lesa	6 – 12 %

Nanos lepila:	150 – 200 g/m ²
odprti čas pri 180 g/m ² in 20 °C	5 – 7 min

Tlak pri stiskanju:

- v stiskalnici za obdelovance brez napetosti	0,1 – 0,5 N/mm ²
- za mehek les	0,7 N/mm ²
- za trdi les	1,5 N/mm ²

Čas stiskanja:

Je odvisen od delovne temperature, vlage v lesu in prostoru, smole v lesu in specifične teže lesa.

montažna lepljenja	30 min
blok lepljenja	30 – 40 min
spoji iz mehkega lesa in iverne plošče	20 – 30 min

3.1.2.5 Lepilo PATEX WOOD D3

Je vodoodporno belo disperzijsko enokomponentno lepilo, pripravljeno za uporabo, za lepljenje lesa in podobnih materialov, izpostavljenih visoki ravni vlage ali kratkim

omočenjem z vodo (zaprti in odprti prostori, npr.: vrata, okna, kuhinjske mize, ipd.). Primerno za izdelavo raznih izdelkov, lepljenje vezi s čepi, mozniki, vzdolžnih in širinskih spojev, lepljenje lesa in površin (furnirja, lesnih plošč, dekorativnih plošč, ipd.). Spoji so tipa D3 po standardu EN 204. Temperaturna odpornost po standardu DIN EN 14275, $WATT\ 91 > N/mm^2$.

Lastnosti lepila:

kemijska osnova	vodna disperzija polivinilacetatnega polimera
hitrost vezanja	visoka , hitro lepilo
viskoznost pri 20 °C	
(Brookfield RVT, vreteno 6, 20 obr.min ⁻¹	8000 – 18 000 mPas
pH vrednost (ISO 976)	ca. 3,0
suha snov	50 ± 2 %
kredna točka	ca. 6 °C
odprti čas pri 20 °C	10 – 12 min
čas strjevanja do začetnega vezanja	3 – 5 ur
nadaljnja obdelava	po 24 urah

Optimalni pogoji dela so:

temperatura okolice	nad 14 °C
---------------------	-----------

Nanos lepila:

odvisno od vpojnosti podlage	150 – 200 g/m ²
pri trdih lesovih je potreben obojestranski nanos	

Tlak pri stiskanju:	0,2 – 0,5 N/mm ²
----------------------------	-----------------------------

Čas stiskanja:

lepljenje lesa	pri 10 °C	25 – 30 min
	pri 20 °C	15 – 20 min
lepljenje laminata (HPL plošče)	pri 20 °C	40 min
	pri 40 °C	25 min
	pri 60 °C	15 min

3.1.2.6 Lepilo RAKOLL GLX-3

Je enokomponentno vlagooodporno lepilo D3 skupine. Z dodatkom trdilca doseže normo D4 vodooodpornosti. Pri vročem lepljenju je čas stiskanja zelo kratek. Spoji imajo dobro temperaturno odpornost.

Lepilo se uporablja za:

- vgraditev delov v kopalnicah, kuhinjah in vlažnih prostorih,
- montažno lepljenje pohištva in drugih delov, ki so predvideni za tropsko podnebje,
- za notranje lepljenje kratkotrajno izpostavljenega pohištva kondenzirani vodi ali stalno izpostavljeni visoki vlažnosti,
- za zunanje lepljenje brez vremenskega izpostavljanja,
- visokofrekvenčno lepljenje,
- površinsko lepljenje HPL/CPL.

Lastnosti lepila:

kemijska osnova	polivinil acetatna disperzija (PVAc), trdilec poliizocianat
barva	bela, trdilec brezbarven, mešanica bela
viskoznost pri 23 °C	
(Brookfield HBT, vreteno 3, 20 obr.min ⁻¹)	16 000 mPas, mešanica cca. 15 000 mPas
pH vrednost	cca. 3,0
kredna točka	cca. 7 °C

Optimalni pogoji dela so:

temperatura lepila, lepljencev in okolice	18 – 20 °C
relativna zračna vlaga	60 – 70 %
vlažnost lesa	8 – 10 %
vlažnost lesa za okenske profile	
(minimalna temperatura prostora 15 °C)	13 ± 2 %
Obstojnost mešanice pri 20 °C	24 ur
odprti čas pri 150 g/m ²	8 – 10 min

Nanos lepila:

- pri montažnem lepljenju	160 – 180 g/m ²
- pri površinskem lepljenju	80 – 140 g/m ²
Tlak pri stiskanju	0,1 – 0,8 N/mm ² :

Čas stiskanja:

površinsko lepljenje dekor folij v	
kratkocikličnih stiskalnicah	5 – 10 s
visokofrekvenčno lepljenje z	
dolgotrajnim gretjem	od 15 s
površinsko lepljenje HPL/CPL plošč v	
kratkocikličnih stiskalnicah nad 70 °C	od 45 s
montažno lepljenje	8 – 15 min
lepljenje desk in blok lepljenja	10 – 15 min

3.2 METODE

3.2.1 Termična modifikacija bukovine

Les navadne bukovine smo termično modificirali v komori za termično modifikacijo v podjetju Silvaproduct d. d. (slika 8 in 9). Bukovina je bila termično modificirana v interni atmosferi z intaktnim vakuumom. Modifikacija je potekala 3 ure, pri temperaturi 215 °C, in tlaku 1 bar.



Slika 8. Komora za vakuumsko termično modifikacijo lesa (Rep, 2016)



Slika 9. Zložaj termično modificiranega lesa (Rep, 2016)

3.2.2 Priprava lesa in izdelava lamel za lepljenje lepljencev s PVAc lepili

Iz lesa navadne bukovine (*Fagus sylvatica* L.) z gostoto $(670 \pm 20) \text{ kg/m}^3$ in lesa termično modificirane bukovine z gostoto $(560 \pm 20) \text{ kg/m}^3$ smo izdelali lamele dimenzij $650 \text{ mm} \times 145 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$. Lamele navadne bukovine so imele vlažnost $11,2 \pm 0,2 \%$, lamele termično modificirane bukovine $6,3 \pm 0,2 \%$. Najprej smo les debelinsko razžagali na tračnem žagalnem stroju z mizo na debelino 10 mm. Lamele smo nato tik pred lepljenjem poskobljali z debelinskim skobeljnim strojem. Tako so bile lamele pred nanosom lepila sveže poskobljanje, in na ta način smo zagotovili čisto in gladko lepilno površino. Kot med branikami je bil med 30° in 90° .

3.2.3 Lepljenje navadne in TM bukovine s PVAc lepili v klasični stiskalnici

3.2.3.1 Nanos lepila

Nanos na lamele je bil enostranski in je znašal 200 g/m^2 . Količino potrebnega lepila za naš lepljenec smo najprej izračunali po formuli za nanos lepila (1). Lamele dimenzij $650 \text{ mm} \times 145 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ smo najprej položili na tehtnico, stehali njihovo maso, nanje nanesli 19 g lepila in ga z nanašalnim glavnikom enakomerno enostransko raznesli (slika 10). Po nanosu lepila smo na namazano lamelo položili drugo lamelo, pri čemer smo pazili, da so bile branike obrnjene v nasprotno stran, tako kot zahteva standard.

$$d = \frac{m}{S} \longrightarrow m = d \cdot S$$

$$m = \frac{200 \text{ g}}{\text{m}^2} \cdot \left(\frac{650 \cdot 145}{10^6} \right) \text{ m}^2 \quad (1)$$

$$m = 18,85 \text{ g}$$

d = količina nanosa lepila [g/m^2]

m = masa lepila [g]

S = lepilna površina [m^2]



Slika 10. Nanešeno PVAc lepilo na lamelo iz TM bukovine

3.2.3.2 Stiskanje

Stiskanje je potekalo v klasični hidravlični stiskalnici, ki je imela štiri bate premera 70 mm. Takoj po nanosu lepila smo v stiskalnico nad vsakim batom položili sestavljene lamele (slika 11) in stiskalnico zaprli s specifičnim tlakom $0,4 \text{ N/mm}^2$. Da je bil dosežen takšen tlak, smo morali najprej nastaviti tlak olja (98 bar), ki smo ga izračunali s formulo (2). Stiskali smo pri sobni temperaturi, ki je bila v stiskalnici $20 - 22 \text{ }^\circ\text{C}$. Čas stiskanja je bil pri vseh lepljenjih enak in je znašal 30 minut.

$$S_b \cdot p_o = S_l \cdot p_l \qquad p_o = \frac{S_l \cdot p_l}{S_b} \qquad (2)$$

$$p_o = \frac{4 \cdot 650\text{mm} \cdot 145\text{mm} \cdot 0,4 \text{ N/mm}^2}{4 \cdot \frac{\pi \cdot (70\text{mm})^2}{4}} \qquad p_o = 9,8 \text{ N/mm}^2 = 98 \text{ bar}$$

S_l = površina lepljencev [mm^2]

S_b = površina batov [mm^2]

p_l = specifični tlak [N/mm^2]

p_o = tlak olja [N/mm^2]

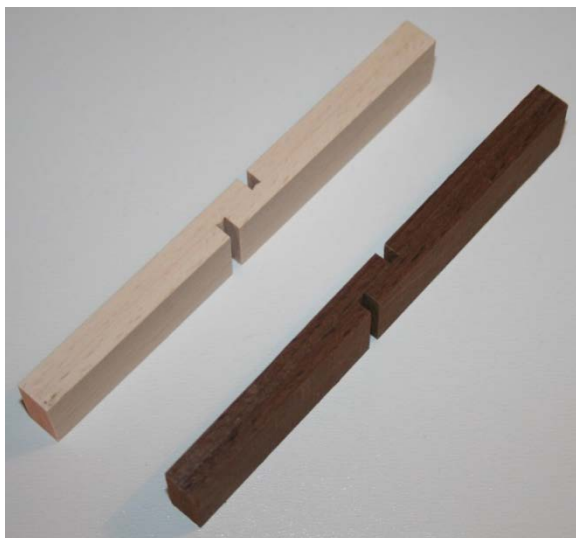
$1 \text{ N/mm}^2 = 10 \text{ bar}$



Slika 11. Klasična stiskalnica in lepljenci

3.2.4 Priprava preizkušancev za ugotavljanje strižne trdnosti spojev

Iz zlepljenih lamel dimenzije 650 mm x 145 mm x 10 mm, smo na mizarskem krožnem žagalnem stroju izžagali preizkušance, dolge 150 mm in široke $20 \pm 0,1$ mm. V preizkušance smo zažagali na vsako stran po en utor širine 2,5 mm tako globoko, da smo ravno prežagali lepilni spoj. Dolžina preklopa oziroma strižne površine je bila $10 \pm 0,1$ mm (slika 6 in 12). Za vsako testiranje je bilo potrebno pripraviti 12 preizkušancev. Za dva različna lesova, od katerih je vsak zlepljen s šestimi lepili različnih proizvajalcev, smo pripravili 144 preizkušancev. Za tri različne načine priprav smo skupno izdelali 432 preizkušancev.



Slika 12. Izdelani preizkušanci za ugotavljanje natezno strižne trdnosti

3.2.4.1 Priprava preizkušancev v skladu s 1. načinom priprave

Za testiranje po 1. načinu priprave smo preizkušance dali za 7 dni v klimatizirano komoro s temperaturo 20 °C in RZV 65 %. Po pretečenem obdobju smo opravili strižne teste.

3.2.4.2 Priprava preizkušancev v skladu s 3. načinom priprave

Za testiranje po 3. načinu priprave smo preizkušance dali za 7 dni v klimatizirano komoro s temperaturo 20 °C in RZV 65 %. Nato smo preizkušance za 4 dni potopili v vodo (slika 13) s temperaturo 20 ± 5 °C. Po pretečenem obdobju smo preizkušance dali iz vode in takoj opravili strižne teste.

3.2.4.3 Priprava preizkušancev v skladu s 4. načinom priprave

Za testiranje po 4. načinu priprave smo preizkušance dali za 7 dni v klimatizirano komoro s temperaturo 20 °C in RZV 65 %. Nato smo preizkušance za 4 dni potopili v vodo (slika 13) s temperaturo 20 ± 5 °C. Po namakanju v vodi smo jih za 7 dni dali ponovno v klimatizirano komoro s temperaturo 20 °C in RZV 65 %. Po pretečenem obdobju smo preizkušance testirali.



Slika 13. Preizkušanci, potopljani v vodo

3.2.5 Ugotavljanje strižne trdnosti lepilnih spojev

Ugotavljanje strižne trdnosti preizkušancev je potekalo na univerzalnem testirnem stroju ZWICK/ROELL Z005 (slika 14 in 15) v skladu s standardom SIST EN 204:2002. Delovanje stroja je podprto s programsko računalniško opremo. Preden smo preizkušanec vpeli v vpenjalo testirnega stroja, smo z digitalnim kljunastim merilom izmerili dolžino in širino strižne ploskve ter podatke vnesli v računalniški program. Nato smo s programsko opremo vklopili delovanje testirnega stroja, ki je strižno obremenil lepilni spoj do njegove porušitve. Obremenitev je potekala s hitrostjo 6 mm/min. Po končanem testiranju smo vse rezultate zbrali in jih statistično uredili ter izločili osamelce, katerih vrednosti kasneje nismo več upoštevali.



Slika 14. Univerzalni testirni stroj ZWICK/ROELL Z005



Slika 15. Vpenjalna naprava s preizkušancem na univerzalnem testirnem stroju ZWICK/ROELL Z005

Strižno trdnost smo izračunali po enačbi:

$$T = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{F_{\max}}{l_2 \cdot b} \quad (3)$$

$F_{\max}$ = maksimalna izmerjena sila [N]

A = površina strižne ploskve [mm²]

l_2 = dolžina strižne ploskve [mm]

b = širina strižne ploskve [mm]

Po končanem testiranju smo vizualno določili delež loma po lesu v porušenem lepilnem spoju z oceno od 0 do 100 %.

4 REZULTATI

V raziskavi smo proučevali vpliv termične modifikacije lesa na kakovost lepljenja. Pri raziskavi smo uporabili navadno in termično modificirano bukovino ter šest PVAc lepil D3 razreda od različnih proizvajalcev.

4.1 STRIŽNA TRDNOST SPOJEV

Zlepljene preizkušance navadne in termično modificirane bukovine smo strižno testirali na univerzalnem testirnem stroju ZWICK/ROELL Z005 v skladu s standardom SIST EN 204:2002.

4.1.1 Strižna trdnost spojev pripravljenih po 1. načinu priprave

Na osnovi rezultatov strižne trdnosti lepilnih spojev preizkušancev iz navadne in termično modificirane bukovine je razvidno, da so največje vrednosti ob porušitvi dosegli preizkušanci iz navadne bukovine.

Pri navadni bukovini so vrednosti strižne trdnosti od $12,8 \text{ N/mm}^2$ pri lepilu Multibond EZ1 do $15,6 \text{ N/mm}^2$ pri lepilu Pattex Wood D3. Razlika vrednosti med obema lepiloma je $2,8 \text{ N/mm}^2$ oz. 22 % Vsa lepila so dosegla zahtevano strižno trdnost min. 10 N/mm^2 , ki jo zahteva standard (preglednica 3).

Pri TM bukovini je najnižja vrednost strižne trdnosti $5,8 \text{ N/mm}^2$ pri lepilu Mekol 1130 in najvišja $11,7 \text{ N/mm}^2$ pri lepilu Falco-lit D3 W91. Razlika vrednosti med obema lepiloma je $5,9 \text{ N/mm}^2$ oz. 102 % in je večja kot pri navadni bukovini. Lepila Falco-lit D3 W91, Pattex Wood D3 in Rakoll GLX3 so dosegla zahtevano strižno trdnost 10 N/mm^2 , medtem ko ostala lepila Kleiberit 303, Mekol 1130 in Multibond EZ-1 niso dosegla zahtevane vrednosti (preglednica 4).

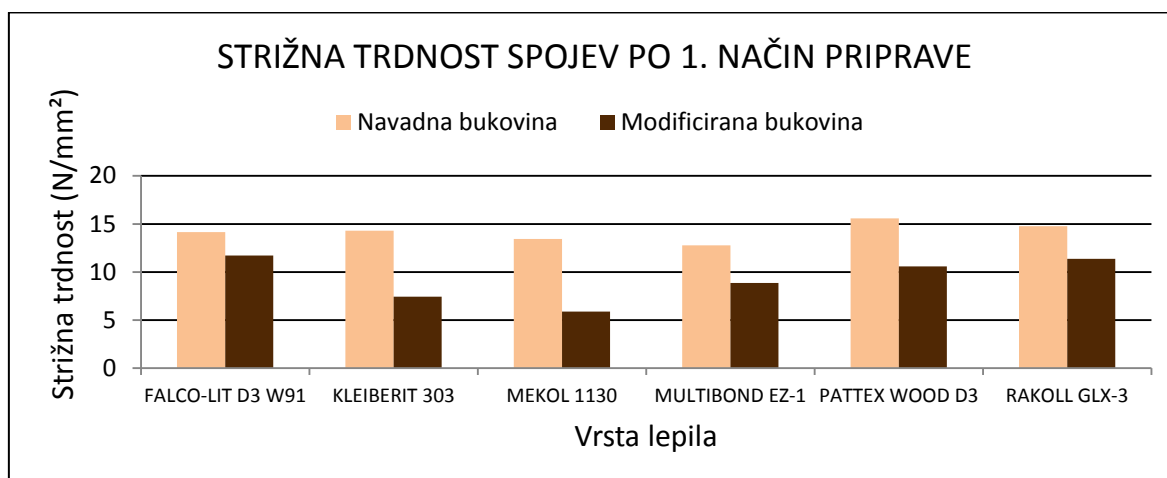
Pri deležu loma po lesu so bili tudi povprečni rezultati pri navadni bukovini boljši kot pri TM bukovini. Delež 100 % loma po lesu je pri navadni bukovini doseglo samo lepilo Rakoll GLX 3, pri TM bukovini pa dve lepili Kleiberit 303 in Mekol 1130 (preglednica 3 in 4), čeprav so njune strižne trdnostne vrednosti med najnižjimi (preglednica 4).

Preglednica 3: Strižna trdnost spoja bukovine in delež loma za preizkušance testirane po 1. načinu priprave

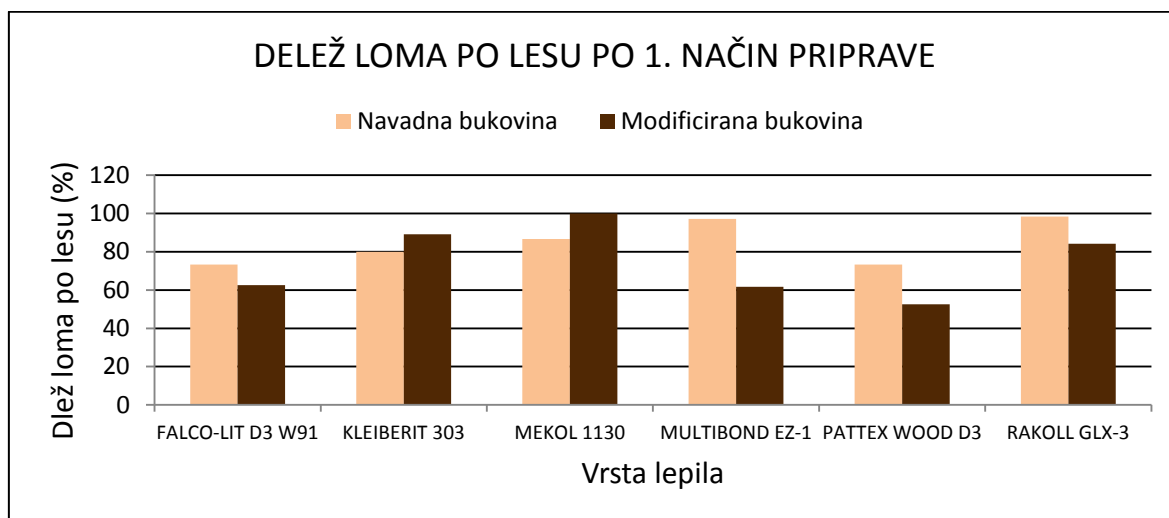
NAVADNA BUKOVINA 1. NAČIN PRIPRAVE			
zap. šte.	vrsta lepila	strižna trdnost (N/mm ²)	delež loma po lesu (%)
1	FALCO-LIT D3 W91	13,6	86
2	KLEIBERIT 303	14,4	78
3	MEKOL 1130	13,3	86
4	MULTIBOND EZ-1	12,8	97
5	PATTEX WOOD D3	15,6	74
6	RAKOLL GLX-3	14,6	100

Preglednica 4: Strižna trdnost spoja TM bukovine in delež loma za preizkušance testirane po 1. načinu priprave

TERMIČNO MODIFICIRANA BUKOVINA 1. NAČIN PRIPRAVE			
zap. šte.	vrsta lepila	strižna trdnost (N/mm ²)	delež loma po lesu (%)
1	FALCO-LIT D3 W91	11,7	68
2	KLEIBERIT 303	7,5	100
3	MEKOL 1130	5,8	100
4	MULTIBOND EZ-1	8,7	56
5	PATTEX WOOD D3	10,8	62
6	RAKOLL GLX-3	11,4	93



Slika 16. Strižna trdnost spojev po 1. načinu priprave



Slika 17. Delež loma po lesu po 1. načinu priprave

4.1.2 Strižna trdnost spojev pripravljenih po 3. načinu priprave

Na osnovi rezultatov strižnih trdnosti navadne in termično modificirane bukovine je razvidno, da so največje vrednosti ob porušitvi dosegli tudi pri 3. načinu priprave preizkušanci iz navadne bukovine.

Pri navadni bukovini so vrednosti strižne trdnosti od $0,6 \text{ N/mm}^2$ pri lepilu Kleiberit 303 do $2,7 \text{ N/mm}^2$ pri lepilu Patex Wood D3. Razlika vrednosti med obema lepiloma je $2,1 \text{ N/mm}^2$ oz. 350 %. Zahtevano strižno trdnost 2 N/mm^2 sta dosegli samo lepili Patex Wood D3 in Rakoll GLX-3 (preglednica 5).

Pri termično modificirani bukovini je najnižja vrednost strižne trdnosti $0,4 \text{ N/mm}^2$ pri lepilu Kleiberit 303 in najvišja $2,4 \text{ N/mm}^2$ pri lepilu Pattex Wood D3. Razlika vrednosti med obema lepiloma je 2 N/mm^2 oz. 500 %. Zahtevano strižno trdnost 2 N/mm^2 sta tudi tu dosegli samo lepili Pattex Wood D3 in Rakoll GLX-3 (preglednica 6).

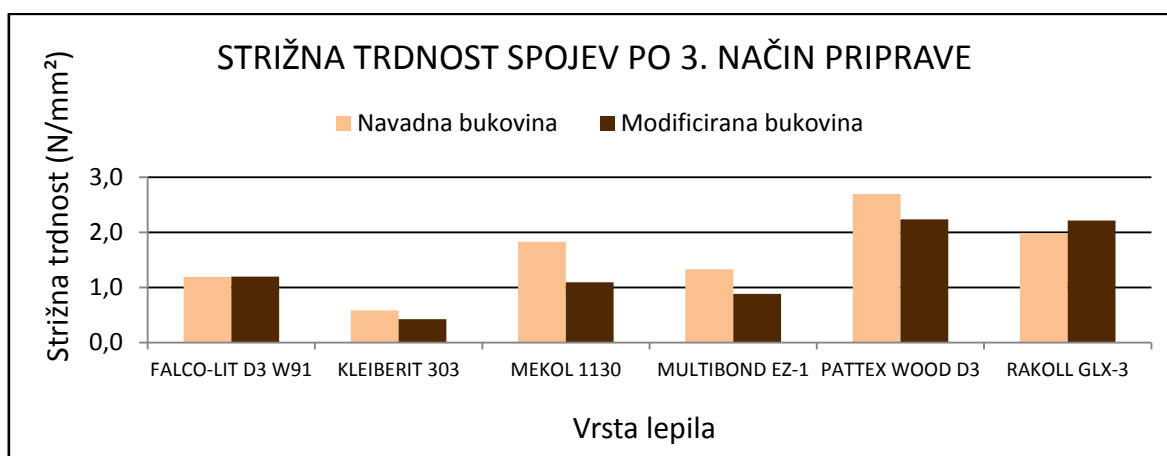
Pri deležu loma po lesu je rezultat 0 % pri obeh lesovih enak, tako da ni bilo razlike. Rezultat 0 % pomeni, da je bil lom preizkušanca po lepilu (preglednica 5 in 6).

Preglednica 5: Strižna trdnost spoja bukovine in delež loma za preizkušance testirane po 3. načinu priprave

NAVADNA BUKOVINA 3. NAČIN PRIPRAVE			
zap. šte.	vrsta lepila	strižna trdnost (N/mm ²)	delež loma po lesu (%)
1	FALCO-LIT D3 W91	1,2	0
2	KLEIBERIT 303	0,6	0
3	MEKOL 1130	1,8	0
4	MULTIBOND EZ-1	1,4	0
5	PATTEX WOOD D3	2,7	0
6	RAKOLL GLX-3	2,0	0

Preglednica 6: Strižna trdnost spoja TM bukovine in delež loma za preizkušance testirane po 3. načinu priprave

TERMIČNO MODIFICIRANA BUKOVINA 3. NAČIN PRIPRAVE			
zap. šte.	vrsta lepila	strižna trdnost (N/mm ²)	delež loma po lesu (%)
1	FALCO-LIT D3 W91	1,2	0
2	KLEIBERIT 303	0,4	0
3	MEKOL 1130	1,1	0
4	MULTIBOND EZ-1	0,9	0
5	PATTEX WOOD D3	2,4	0
6	RAKOLL GLX-3	2,2	0



Slika 18. Strižna trdnost spojev po 3. načinu priprave

4.1.3 Strižna trdnost spojev pripravljenih po 4. načinu priprave

Na osnovi rezultatov strižnih trdnosti navadne in termično modificirane bukovine je razvidno, da so preizkušanci iz navadne bukovine dosegali boljše rezultate, čeprav ne za vsa lepila.

Pri navadni bukovini so vrednosti strižne trdnosti od $5,9 \text{ N/mm}^2$ pri lepilu Rakoll GLX-3 do $11,1 \text{ N/mm}^2$ pri lepilu Multibond EZ-1. Razlika vrednosti med obema lepiloma znaša $5,2 \text{ N/mm}^2$ oz. 88 %. Samo lepila Mekol 1130, Multibond EZ-1 in Pattex Wood D3 so dosegla zahtevano strižno trdnost min. 8 N/mm^2 , medtem ko so imela ostala lepila strižno trdnost pod to mejo (preglednica 7).

Pri termično modificirani bukovini je najnižja vrednost strižne trdnosti 2 N/mm^2 pri lepilu Kleiberit 303 in najvišja 8 N/mm^2 pri lepilu Falco-lit D3 W91. Razlika med obema lepiloma je 6 N/mm^2 oz. 300 %, kar je precej več kot razlika pri navadni bukovini. Samo lepila Falco-lit D3 W91 in Rakoll GLX-3 sta dosegli zahtevano minimalno strižno trdnost 8 N/mm^2 in sta imeli višjo vrednost pri TM bukovini kot pri navadni bukovini (preglednica 8).

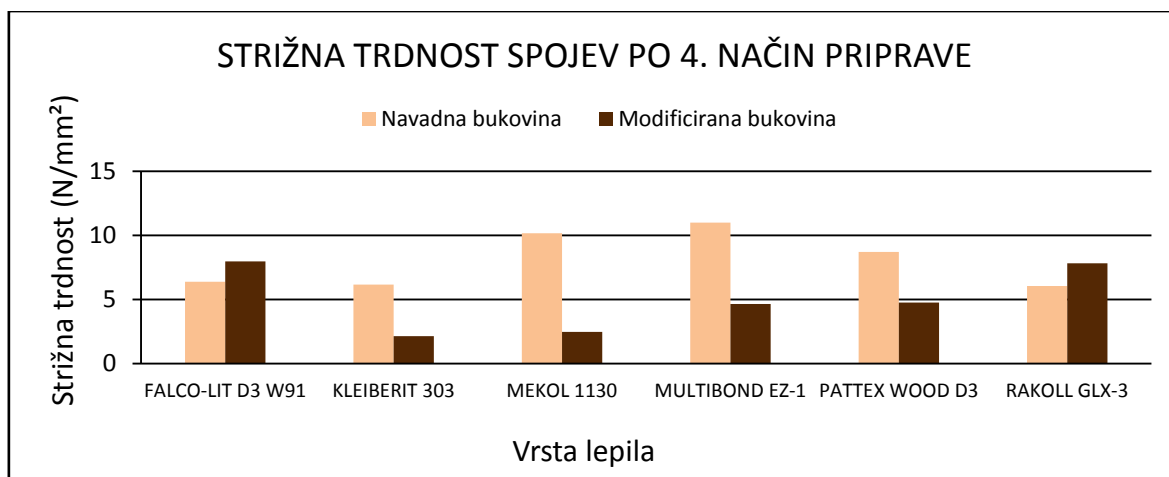
Pri deležu loma po lesu so preizkušanci iz navadne bukovine, zlepljeni z lepili Kleiberit 303, Mekol 1130, Multibond EZ-1 in Pattex Wood D3, imeli boljše rezultate kot preizkušanci, zlepljeni iz TM bukovine. Izjema so preizkušanci iz TM bukovine, zlepljeni z lepili Falco-lit D3 W91 in Rakoll GLX-3, ki so imeli boljše rezultate deleža loma po lesu kot tisti, ki so bili zlepljeni iz navadne bukovine (preglednica 7 in 8).

Preglednica 7: Strižna trdnost spoja bukovine in delež loma za preizkušance testirane po 4. načinu priprave

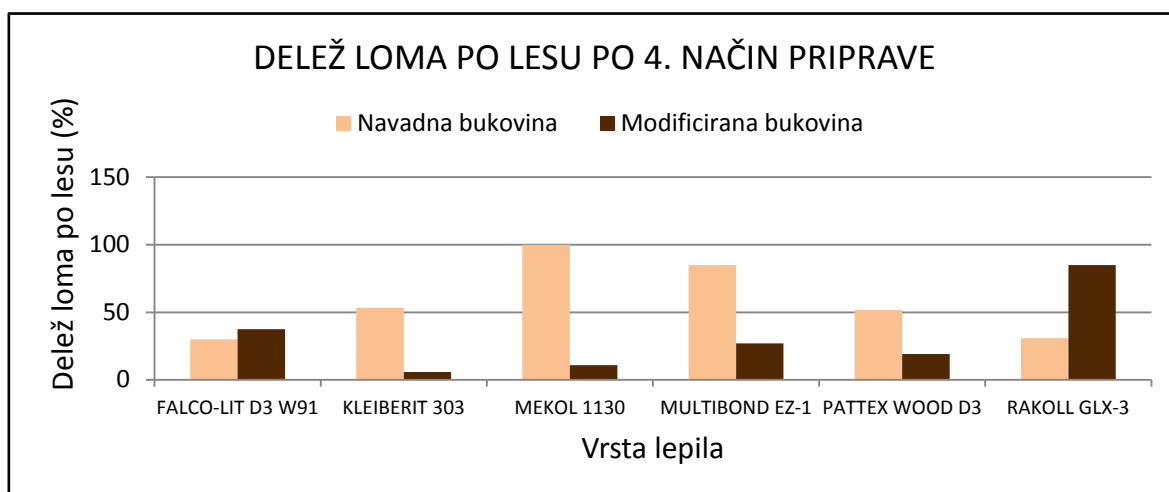
NAVADNA BUKOVINA			
4. NAČIN PRIPRAVE			
zap. šte.	vrsta lepila	strižna trdnost (N/mm^2)	delež loma po lesu (%)
1	FALCO-LIT D3 W91	6,3	28
2	KLEIBERIT 303	6,1	54
3	MEKOL 1130	10,2	100
4	MULTIBOND EZ-1	11,1	85
5	PATTEX WOOD D3	8,7	55
6	RAKOLL GLX-3	5,9	26

Preglednica 8: Strižna trdnost spoja TM bukovine in delež loma za preizkušance testirane po 4. načinu priprave

TERMIČNO MODIFICIRANA BUKOVINA 4. NAČIN PRIPRAVE			
zap. šte.	vrsta lepila	strižna trdnost (N/mm ²)	delež loma po lesu (%)
1	FALCO-LIT D3 W91	8,0	38
2	KLEIBERIT 303	2,0	3
3	MEKOL 1130	2,1	5
4	MULTIBOND EZ-1	4,6	32
5	PATTEX WOOD D3	4,8	22
6	RAKOLL GLX-3	7,8	89



Slika 19. Strižna trdnost spojev po 4. načinu priprave



Slika 20. Delež loma po lesu po 4. načinu priprave

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

Namen raziskave je bil, ugotoviti vpliv termične modifikacije bukovine na kakovost lepljenja s PVAc lepili.

Zaradi velike uporabe navadne in termično modificirane bukovine pri izdelavi različnih izdelkov smo se odločili, da v raziskavi uporabimo ta dva lesova. Za termično modificirano bukovino je v primerjavi z navadno bukovino značilna večja dimenzijska stabilnost in manjša možnost sprejemanja vlage oziroma navlaževanja.

Bukovina, ki je bila obdelana v komori za vakuumsko termično modifikacijo lesa, je imela v klimatiziranem prostoru s temperaturo 20 °C in RZV 65 % ravnovesno vlažnost 6,3 %, to je za 44 % manj od ravnovesne vlažnosti navadne bukovine 11,2 %, ki ni bila termično modificirana.

V gostoti med lesovoma je razlika v odstotkih manjša kot razlika v odstotkih pri ravnovesni vlažnosti. Pri navadni bukovini je bila povprečna gostota 678 kg/m^3 , medtem ko je imela termično modificirana bukovina v povprečju gostoto 570 kg/m^3 , kar je za 15,9% manj.

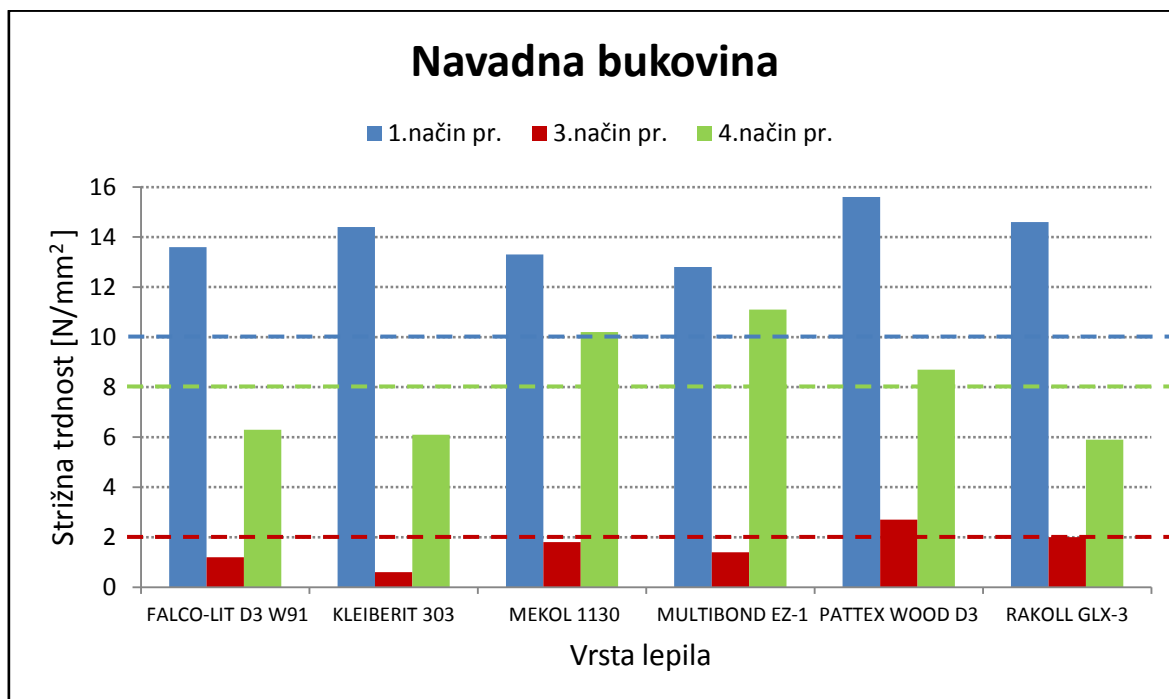
Uporabljeno navadno in termično modificirano bukovino smo zlepili s šestimi PVAc lepili trajnostnega razreda D3 različnih proizvajalcev lepil. Pri vseh lepljenjih so bili parametri lepljenja enaki. Po lepljenju lamel smo iz lepljencev izdelali preizkušance in jih nato pripravili v skladu s standardom SIST EN 204:2002 za lepila trajnostnega razreda D3. Ko je bil posamezni način priprave zaključen, smo preizkušance testirali na strižno trdnost lepilnih spojev.

Največji padec strižne trdnosti je bil pri 3. načinu priprave preizkušancev (preglednica 5 in 6; slika 18). Daljši čas namakanja v vodi in takojšnje testiranje sta zelo vplivala na strižne trdnosti spojev, ki so bile pri termično modificirani bukovini pri štirih lepilih nižje, pri lepilu Falco-lit D3 W91 enake in pri lepilu Rakoll GLX-3 celo višje kot pri navadni bukovini.

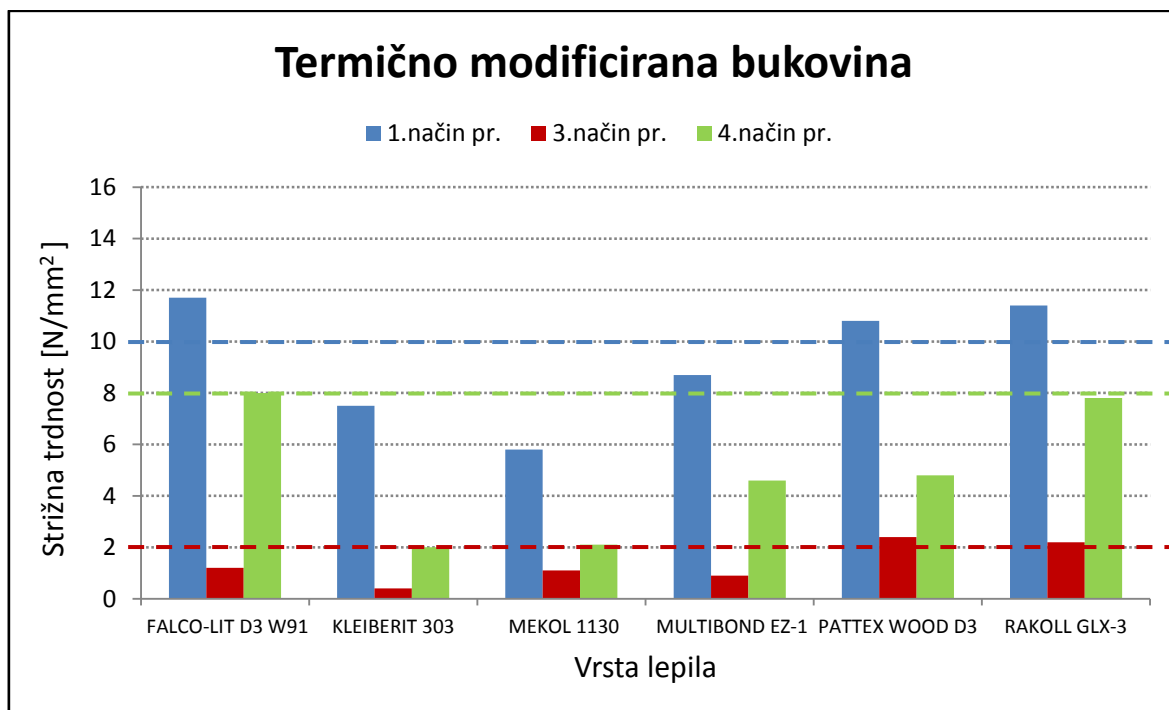
Pri 4. načinu priprave preizkušancev je razlika v strižni trdnosti v primerjavi s 1. načinom priprave manjša, kot je bila pri 3. načinu priprave. Štiri lepila so dosegla večjo strižno trdnost pri lepljenju navadne bukovine, medtem ko sta lepila Falco-lit D3 W91 in Rakoll GLX3 imeli večjo strižno trdnost pri lepljenju termično modificirane bukovine (preglednica 9; slika 21 in 22).

Preglednica 9: Strižna trdnost spoja in delež loma za vse preizkušance

REZULTATI PREIZKUŠANJ						
zap. šte.	vrsta lepila	način priprave preizkušancev	BUKOVINA		TM BUKOVINA	
			strižna trdnost (N/mm ²)	delež loma po lesu (%)	strižna trdnost (N/mm ²)	delež loma po lesu (%)
1.	FALCO-LIT D3 W91	1.	13,6	86	11,7	68
		3.	1,2	0	1,2	0
		4.	6,3	28	8,0	38
2.	KLEIBERIT 303	1.	14,4	78	7,5	100
		3.	0,6	0	0,4	0
		4.	6,1	54	2,0	3
3.	MEKOL 1130	1.	13,3	86	5,8	100
		3.	1,8	0	1,1	0
		4.	10,2	100	2,1	5
4.	MULTIBOND EZ-1	1.	12,8	97	8,7	56
		3.	1,4	0	0,9	0
		4.	11,1	85	4,6	32
5.	PATTEX WOOD D3	1.	15,6	74	10,8	62
		3.	2,7	0	2,4	0
		4.	8,7	55	4,8	22
6.	RAKOLL GLX-3	1.	14,6	100	11,4	93
		3.	2,0	0	2,2	0
		4.	5,9	26	7,8	89



Slika 21. Primerjava strižne trdnosti preizkušancev iz navadne bukovine glede na posamezen način priprave (črtkana črta predstavlja minimalno trdnost za posamezni način priprave)



Slika 22. Primerjava strižne trdnosti preizkušancev iz TM bukovine glede na posamezen način priprave (črtkana črta predstavlja minimalno trdnost za posamezni način priprave)

5.2 SKLEPI

V diplomski nalogi smo primerjali strižno trdnost zlepljenih spojev pri navadni in termično modificirani bukovini. Zlepili smo jih pri enakih pogojih s šestimi PVAc lepili D3 razreda različnih proizvajalcev. Iz zlepljenih lamel smo izdelali preizkušance in ji nato testirali po standardu SIST EN 204:2002 in ugotovili strižno trdnost spojev.

Glede na dobljene rezultate pri opravljeni raziskavi lahko zapišemo naslednje sklepe:

- Termična modifikacija bukovine zmanjša njeno gostoto in ravnovesno vlažnost.
- Preizkušanci iz termično modificirane bukovine, lepljeni s PVAc lepili, imajo pri večini uporabljenih lepil nižjo strižno trdnost spojev kot preizkušanci iz navadne bukovine.
- Razlika med lepili je velika predvsem pri lepljenju termično modificirane bukovine, pri lepljenju navadne bukovine pa ne.

Glede na rezultate raziskave lahko samo lepilo Pattex Wood D3 uvrstimo v trajnostni razred D3.

Rezultati raziskave so nam pokazali, da je lepljenje modificirane bukovine s PVAc lepili dobro, toda odstopanja med različnimi PVAc lepili so velika. Vsak proizvajalec lepila bi moral v tehničnem listu podati tudi podatke (parametre), pod katerimi se kvalitetno lepi termično modificiran les.

V nadaljevanju raziskav bi bilo smiselno pri lepljenju termično modificirane bukovine in ostalih lesov podaljšati čas stiskanja s 30 min na 1, 2 ali 4 ure.

6 POVZETEK

Modificiran les se zadnje čase vedno bolj uporablja v različne namene. Pri izdelavi izdelkov je potrebno modificiran les velikokrat tudi zlepiti z lepili za les. V lesarstvu se veliko uporabljajo PVAc lepila, a proizvajalci teh lepil v tehničnih navodilih ne navajajo podatkov, kako modificiran les zlepiti, da bodo lepilni spoji dovolj trdni. Zato smo v diplomski nalogi uporabili šest PVAc lepil iz D3 trajnostnega razreda različnih proizvajalcev in z njimi pod istimi pogoji zlepili les navadne in termično modificirane bukovine.

Najprej smo izmerili ravnovesno vlažnost in gostoto obeh lesov. Ugotovili smo, da je imela TM bukovina ravnovesno vlažnost 6,3 %, navadna bukovina pa 11,2 %. Razlika med njima je 4,9 % ravnovesne vlažnosti oziroma 44 %.

Pri ugotavljanju gostote smo ugotovili, da je pri navadni bukovini gostota večja kot pri TM bukovini. Povprečna razlika je bila 108 kg/ m³ oz. 15,9 %.

Zaradi termične modifikacije bukovine sta se zmanjšali tako njena ravnovesna vlažnost kot gostota.

V raziskavi smo uporabili šest PVAc lepil D3 trajnostnega razreda različnih proizvajalcev lepil. Pri izbiri lepil smo pozornost posvetili temu, da so imela izbrana lepila v tehničnih navodilih podobne lastnosti in čim bolj enake parametre za lepljenje. Uporabljena so bila PVAc lepila Falco-lit D3 W91, Kleiberit 303, Mekol 1130, Multibond EZ-1, Patex Wood D3 in Rakoll GLX-3.

Parametri pri lepljenju bukovih in TM bukovih lamel so bili naslednji:

- nanos lepila 200 g/m²
- sobna temperatura 20 – 22 °C
- pritisk 0,4 N/mm²
- čas stiskanja 30 min

Po končanem lepljenju lamel s šestimi PVAc lepili smo iz lepljencev izdelali 432 preizkušancev dimenzij 150 mm x 20 mm x 10 mm in jih nato po standardu SIST EN 204:2002 pripravili na tri različne načine. Takoj po pripravi smo preizkušance testirali na strižno trdnost.

S pridobljenimi rezultati smo ugotovili, da po naših parametrih lepljenja nekatera PVAc lepila ne izpolnjujejo zahtevane minimalne strižne trdnosti pri lepljenju navadne in TM bukovine, ki jo zahteva standard za lepila v D3 trajnostnem razredu.

Ugotovljeno je bilo, da ima termična modifikacija velik vpliv na lepljenje s PVAc lepili in da niso vsa lepila primerna, da pod enakimi parametri lepimo navadno bukovino in TM bukovino.

7 VIRI

Estevens B.M., Pereira H.M. 2009. Wood modification by heat treatment: a review. *Bioresources*, 4, 1: 370-404

Hill C.A.S. 2006. Wood modification. Chemical, thermal and other processes. John Wiley & Sons, Chichester, England, 239

Homan W. in sod. 2000. Structural and other properties of modified wood. World Conference on Timber Engineering, Whistler Resort, British Columbia, Canada. <http://timber.ce.wsu.edu/Resources/papers/3-5-1.pdf>

Kariž M., Šernek M. 2008. Lepljenje termično modificiranega lesa. *Les*, 60, 7/8: 275-282

Kariž M., Šernek M. 2012. Utrjevanje PVAc lepila pri lepljenju termično modificiranega lesa. *Les*, 64: 57-62

Pohleven F., Rep G. 2004. Postopek termične modifikacije lesa v vakuumu. Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino, Ljubljana, patentna prijava št. P- 200400064: 6 str.

Rep G., Pohleven F. 2009. Komora za termično modifikacijo lesa z začetnim vakuumom. *Les*, 62, 9: 413-414

Resnik J. 1997. Lepila in lepljenje lesa. 1. ponatis. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 105 str.

SIST EN 204. 2002. Razvrstitev plastomernih lepil za les za nekonstrukcijsko uporabo (prevod)

SIST EN 205. 2003. Lepila – Lepila za les za nekonstrukcijsko uporabo – Ugotavljanje natezno strižne trdnosti spojev s preklopom (prevod)

Šega Bogdan. 2005. Osnove lepljenja (študijsko gradivo). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 62 str.

Šega B. 2005. Preizkušanje in razvrščanje lepil za les. *Les* 57, 4: 101-105

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

Šernek M., 2002. Termično inaktiviranje lesne površine. *Les* 54, 9: 276-280

Šernek M. 2005. Lepila za les (študijsko gradivo). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 78 str.

Šernek M. 2011. Lamelirani lepljenci iz termično modificiranega lesa. Strokovni posvet. Les iz preteklosti za prihodnost. Cankarjev dom: 6 str.

Šernek M., Kutnar A. 2008. Polivinilacetatna lepila za les. Les 60, 10: 364-369

Yildiz S. in sod. 2006. Mechanical and chemical behaviour of spruce wood modified by heat. Building and Environment, 41: 1762-1766

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem :

- prof. dr. Milanu Šerneku za mentorstvo, pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge,
- viš. pred. mag. Bogdanu Šegi za strokovno recenzijo diplomskega dela in za nasvete pri laboratorijskem delu,
- strokovnemu sodelavcu Juretu Žigonu, mag. inž. les. z Oddelka za lesarstvo za pomoč pri laboratorijskemu delu,
- ŠC Ljubljana Srednji lesarski šoli, ki mi je omogočila obdelavo materiala,
- Gregorju Repu, univ. dipl. ing. kem. iz podjetja Silvaproduct d. o. o. za termično modifikacijo bukovine,
- podjetju KLP d. o. o. iz Mengša za podarjena PVAc lepila,
- Tilnu Kokelju, univ. dipl. ing. les. iz trgovine PTK za podarjena PVAc lepila,
- hčerki Anji, staršem, prijateljem za spodbudo pri študiju in pisanju diplomske naloge.

PRILOGE

Priloga A:

Podatki meritve določanja vlažnosti in gostote navadne bukovine in termično modificirane bukovine

NAVADNA BUKOVINA								
štev. kosa	dolžina (mm)	širina (mm)	debelina (mm)	V (mm ³)	gostota (kg/m ³)	m _{vl} (g)	m _o (g)	vlažnost (%)
1	49,86	49,51	9,75	24069	672	16,170	14,568	11,0
2	49,82	49,67	9,95	24622	676	16,650	14,972	11,2
3	49,77	49,68	9,92	24528	677	16,610	14,930	11,3
4	49,71	49,55	9,92	24434	682	16,654	14,969	11,3
5	49,69	49,62	9,84	24262	683	16,570	14,913	11,1
povprečje	49,77	49,61	9,88	24383	678	16,531	14,870	11,2

TERMIČNO MODIFICIRANA BUKOVINA								
štev. kosa	dolžina (mm)	širina (mm)	debelina (mm)	V (mm ³)	gostota (kg/m ³)	m _{vl} (g)	m _o (g)	vlažnost (%)
1	49,87	49,46	9,92	24468	566	13,853	13,045	6,2
2	49,69	49,62	9,98	24607	565	13,899	13,072	6,3
3	49,64	49,50	9,98	24523	578	14,174	13,345	6,2
4	49,69	49,38	9,60	23555	568	13,379	12,566	6,5
5	49,63	49,43	9,88	24238	571	13,843	13,042	6,1
povprečje	49,70	49,48	9,87	24278	570	13,830	13,014	6,3

Priloga B:

Podatki meritev in statistika strižnih trdnosti spojev ter deleža loma po lesu preizkušancev po 1. načinu priprave

NAVADNA BUKOVINA 1. NAČIN PRIPRAVE LEPILO FALCO-LIT D3 W91							
šte v. preizk.	oznaka preizk.	š irina strižne površine (mm)	dolž ina strižne površine (mm)	ve likost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	FA-1	20,02	10,47	210	2570	12,3	100
2	FA-2	19,93	10,39	207	2860	13,8	100
3	FA-3	20,80	10,26	213	1890	8,9	100
4	FA-4	20,05	10,16	204	2960	14,5	100
5	FA-5	20,10	10,18	205	2410	11,8	100
6	FA-7	19,92	10,32	206	2680	13,0	50
7	FA-8	19,98	10,15	203	3180	15,7	80
8	FA-10	19,97	10,28	205	3330	16,2	50
9	FA-11	20,02	10,29	206	3150	15,3	90
10	FA-12	19,95	10,26	205	3010	14,7	90
					minimum	8,9	50
					maksimum	16,2	100
					povprečje	13,6	86
					st. odklon	2,2	20

MODIFICIRANA BUKOVINA 1. NAČIN PRIPRAVE LEPILO FALCO-LIT D3 W91							
šte v. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	FA-1	20,07	10,38	208	3100	14,9	20
2	FA-3	20,01	10,56	211	2690	12,7	90
3	FA-4	20,06	10,36	208	3270	15,7	10
4	FA-5	20,00	10,29	206	2110	10,2	90
5	FA-6	20,06	10,30	207	2830	13,7	20
6	FA-8	20,09	10,38	209	1610	7,7	70
7	FA-9	20,14	10,32	208	1850	8,9	100
8	FA-10	20,11	10,56	212	2670	12,6	100
9	FA-11	20,07	10,58	212	2090	9,9	100
10	FA-12	20,06	10,33	207	2290	11,1	80
					minimum	7,7	10
					maksimum	15,7	100
					povprečje	11,7	68
					st. odklon	2,6	37

NAVADNA BUKOVINA 1. NAČIN PRIPRAVE LEPILO KLEIBERIT 303							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	KL-1	20,03	10,03	201	2880	14,3	80
2	KL-2	20,07	10,10	203	2410	11,9	60
3	KL-3	19,94	10,09	201	2860	14,2	80
4	KL-4	19,87	10,24	203	3420	16,8	100
5	KL-5	19,93	10,15	202	3120	15,4	50
6	KL-7	19,80	10,09	200	2920	14,6	80
7	KL-8	19,92	10,16	202	2420	12,0	90
8	KL-9	20,03	10,23	205	3320	16,2	70
9	KL-10	20,09	10,10	203	2430	12,0	90
10	KL-12	19,98	10,12	202	3380	16,7	80
					minimum	11,9	50
					maksimum	16,8	100
					povprečje	14,4	78
					st. odklon	1,9	15

MODIFICIRANA BUKOVINA 1. NAČIN PRIPRAVE LEPILO KLEIBERIT 303							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	KL-1	20,05	9,97	200	1430	7,2	100
2	KL-2	20,05	10,18	204	1290	6,3	100
3	KL-3	20,02	10,56	211	1650	7,8	100
4	KL-4	20,13	9,87	199	1330	6,7	100
5	KL-5	20,15	9,87	199	1420	7,1	100
6	KL-6	20,06	10,33	207	1310	6,3	100
7	KL-9	20,00	9,98	200	1800	9,0	100
8	KL-10	20,11	9,97	200	1130	5,6	100
9	KL-11	19,94	10,06	201	2010	10,0	100
10	KL-12	20,08	10,06	202	1700	8,4	100
					minimum	5,6	100
					maksimum	10,0	100
					povprečje	7,5	100
					st. odklon	1,4	0

NAVADNA BUKOVINA 1. NAČIN PRIPRAVE LEPILO MEKOL 1130							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	ME-1	19,98	10,02	200	2950	14,7	100
2	ME-2	19,97	9,90	198	2930	14,8	100
3	ME-3	19,91	10,03	200	2550	12,8	100
4	ME-4	20,04	9,67	194	2730	14,1	80
5	ME-6	20,22	9,94	201	2330	11,6	80
6	ME-7	19,92	10,14	202	2630	13,0	70
7	ME-8	19,98	9,91	198	2700	13,6	85
8	ME-10	19,99	9,75	195	2730	14,0	80
9	ME-11	19,96	9,68	193	2280	11,8	80
10	ME-12	20,04	9,89	198	2440	12,3	85
					minimum	11,6	70
					maksimum	14,8	100
					povprečje	13,3	86
					st. odklon	1,2	10

MODIFICIRANA BUKOVINA 1. NAČIN PRIPRAVE LEPILO MEKOL 1130							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	ME-1	19,96	10,00	200	984	4,9	100
2	ME-2	20,06	9,79	196	986	5,0	100
3	ME-3	19,98	9,99	200	1210	6,1	100
4	ME-4	19,99	9,63	193	1160	6,0	100
5	ME-5	20,00	9,78	196	841	4,3	100
6	ME-6	20,01	9,93	199	1320	6,6	100
7	ME-9	19,90	10,07	200	1100	5,5	100
8	ME-10	20,01	9,76	195	1390	7,1	100
9	ME-11	20,05	9,83	197	1120	5,7	100
10	ME-12	19,97	9,74	195	1390	7,1	100
					minimum	4,3	100
					maksimum	7,1	100
					povprečje	5,8	100
					st. odklon	0,9	0

NAVADNA BUKOVINA 1. NAČIN PRIPRAVE LEPILO MULTIBOND - EZ 1							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	MU-1	20,21	9,78	198	2920	14,8	100
2	MU-2	20,17	9,82	198	2430	12,3	100
3	MU-3	19,98	9,87	197	3130	15,9	90
4	MU-4	19,97	9,86	197	2070	10,5	90
5	MU-6	19,98	10,01	200	2560	12,8	95
6	MU-8	19,96	10,01	200	2460	12,3	100
7	MU-9	19,84	9,82	195	2100	10,8	100
8	MU-10	19,97	9,97	199	2640	13,3	100
9	MU-11	19,97	9,79	196	2440	12,5	90
10	MU-12	20,01	9,93	199	2500	12,6	100
					minimum	10,5	90
					maksimum	15,9	100
					povprečje	12,8	97
					st. odklon	1,6	5

MODIFICIRANA BUKOVINA 1. NAČIN PRIPRAVE LEPILO MULTIBOND EZ-1							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	MU-1	20,05	10,21	205	1830	8,9	90
2	MU-2	20,22	10,16	205	2160	10,5	20
3	MU-3	20,18	9,84	199	2300	11,6	10
4	MU-4	20,05	10,12	203	1860	9,2	10
5	MU-6	20,05	10,10	203	1980	9,8	10
6	MU-7	19,98	9,98	199	1290	6,5	100
7	MU-8	20,17	10,45	211	1640	7,8	80
8	MU-9	19,93	10,12	202	1630	8,1	90
9	MU-10	19,98	10,13	202	1820	9,0	50
10	MU-12	19,96	9,91	198	1160	5,9	100
					minimum	5,9	10
					maksimum	11,6	100
					povprečje	8,7	56
					st. odklon	1,7	40

NAVADNA BUKOVINA 1. NAČIN PRIPRAVE LEPILO PATTEX WOOD D3							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	PA-2	19,94	10,03	200	3260	16,3	90
2	PA-3	20,02	9,90	198	2850	14,4	60
3	PA-4	19,94	10,12	202	3240	16,1	90
4	PA-5	20,11	9,98	201	3340	16,6	50
5	PA-6	20,04	10,14	203	2910	14,3	100
6	PA-7	19,98	10,11	202	3450	17,1	80
7	PA-8	20,00	10,11	202	2820	13,9	80
8	PA-10	19,94	10,33	206	3500	17,0	80
9	PA-11	20,02	9,83	197	3010	15,3	50
10	PA-12	19,95	9,89	197	2980	15,1	60
					minimum	13,9	50
					maksimum	17,1	100
					povprečje	15,6	74
					st. odklon	1,2	18

MODIFICIRANA BUKOVINA 1. NAČIN PRIPRAVE LEPILO PATTEX WOOD D3							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	PA-1	20,03	10,11	203	2690	13,3	100
2	PA-2	20,14	10,35	208	2400	11,5	80
3	PA-3	19,94	9,75	194	1300	6,7	40
4	PA-4	20,11	9,93	200	2190	11,0	10
5	PA-5	20,09	9,76	196	2130	10,9	90
6	PA-6	20,06	9,83	197	2170	11,0	90
7	PA-7	20,07	9,98	200	1750	8,7	80
8	PA-8	20,11	9,87	198	2380	12,0	50
9	PA-10	20,08	9,95	200	2280	11,4	10
10	PA-11	20,00	10,13	203	2260	11,2	70
					minimum	6,7	10
					maksimum	13,3	100
					povprečje	10,8	62
					st. odklon	1,8	33

NAVADNA BUKOVINA 1. NAČIN PRIPRAVE LEPILO RAKOLL GLX-3							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	RA-2	20,19	9,75	197	2820	14,3	100
2	RA-3	20,08	10,07	202	3200	15,8	100
3	RA-4	20,14	9,94	200	2640	13,2	100
4	RA-5	20,10	10,03	202	3120	15,5	100
5	RA-6	20,17	10,10	204	3010	14,8	100
6	RA-7	19,84	9,83	195	2730	14,0	100
7	RA-8	20,02	9,74	195	2400	12,3	100
8	RA-10	20,10	9,83	198	2990	15,1	100
9	RA-11	19,98	9,95	199	2960	14,9	100
10	RA-12	20,01	10,05	201	3260	16,2	100
					minimum	12,3	100
					maksimum	16,2	100
					povprečje	14,6	100
					st. odklon	1,2	0

MODIFICIRANA BUKOVINA 1. NAČIN PRIPRAVE LEPILO RAKOLL GLX-3							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	RA-2	19,96	9,84	196	2440	12,4	90
2	RA-3	20,12	10,09	203	2030	10,0	90
3	RA-4	20,11	9,97	200	2410	12,0	100
4	RA-5	20,06	9,50	191	2210	11,6	100
5	RA-6	20,32	10,14	206	2320	11,3	100
6	RA-7	20,18	10,08	203	2310	11,4	90
7	RA-8	19,98	9,89	198	2210	11,2	70
8	RA-9	19,95	9,83	196	2500	12,7	90
9	RA-10	20,10	9,90	199	2100	10,6	100
10	RA-12	20,04	10,03	201	2210	11,0	100
					minimum	10,0	70
					maksimum	12,7	100
					povprečje	11,4	93
					st. odklon	0,8	9

Priloga C:

Podatki meritev in statistika strižnih trdnosti spojev ter deleža loma po lesu preizkušancev po 3. načinu priprave

NAVADNA BUKOVINA 3. NAČIN PRIPRAVE LEPILO FALCO-LIT D3 W91							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm ²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm ²)	delež loma po lesu (%)
1	FA-14	20,97	10,20	214	37,4	0,2	0
2	FA-15	20,86	10,27	214	301	1,4	0
3	FA-17	20,79	10,55	219	308	1,4	0
4	FA-18	21,32	10,19	217	119	0,5	0
5	FA-19	20,90	9,95	208	350	1,7	0
6	FA-20	21,03	10,70	225	333	1,5	0
7	FA-21	20,92	10,15	212	255	1,2	0
8	FA-22	21,20	10,31	219	229	1,0	0
9	FA-23	20,85	10,84	226	349	1,5	0
10	FA-24	20,76	10,87	226	348	1,5	0
minimum						0,2	0
maksimum						1,7	0
povprečje						1,2	0
st. odklon						0,5	0

MODIFICIRANA BUKOVINA 3. NAČIN PRIPRAVE LEPILO FALCO-LIT D3 W91							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm ²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm ²)	delež loma po lesu (%)
1	FA-14	21,04	10,41	219	169	0,8	0
2	FA-15	21,13	10,40	220	224	1,0	0
3	FA-16	21,15	10,38	220	368	1,7	0
4	FA-17	21,33	10,41	222	115	0,5	0
5	FA-18	21,10	10,40	219	267	1,2	0
6	FA-19	21,10	10,40	219	280	1,3	0
7	FA-20	21,11	10,78	228	279	1,2	0
8	FA-21	21,26	10,55	224	260	1,2	0
9	FA-22	21,28	10,66	227	197	0,9	0
10	FA-23	21,21	10,46	222	454	2,0	0
minimum						0,5	0
maksimum						2,0	0
povprečje						1,2	0
st. odklon						0,4	0

NAVADNA BUKOVINA 3. NAČIN PRIPRAVE LEPILO KLEIBERIT 303							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm ²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm ²)	delež loma po lesu (%)
1	KL-14	21,86	10,64	233	131	0,6	0
2	KL-15	21,88	10,63	233	122	0,5	0
3	KL-16	21,29	10,28	219	47	0,2	0
4	KL-17	21,85	10,03	219	134	0,6	0
5	KL-18	21,54	10,19	219	234	1,1	0
6	KL-19	21,56	10,27	221	324	1,5	0
7	KL-21	22,21	10,22	227	37,4	0,2	0
8	KL-22	22,01	10,23	225	38,3	0,2	0
9	KL-23	22,11	10,28	227	37,4	0,2	0
10	KL-24	21,95	10,13	222	137	0,6	0
					minimum	0,2	0
					maksimum	1,5	0
					povprečje	0,6	0
					st. odklon	0,4	0

MODIFICIRANA BUKOVINA 3. NAČIN PRIPRAVE LEPILO KLEIBERIT 303							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm ²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm ²)	delež loma po lesu (%)
1	KL-13	21,01	9,85	207	244	1,2	0
2	KL-14	20,88	10,19	213	40,2	0,2	0
3	KL-15	21,17	10,05	213	38,2	0,2	0
4	KL-17	20,94	9,98	209	37,8	0,2	0
5	KL-18	20,95	10,75	225	37,9	0,2	0
6	KL-19	20,96	10,14	213	245	1,2	0
7	KL-20	21,12	9,98	211	37,9	0,2	0
8	KL-21	21,06	10,08	212	38	0,2	0
9	KL-22	21,06	9,99	210	37,9	0,2	0
10	KL-23	20,77	9,97	207	38,1	0,2	0
					minimum	0,2	0
					maksimum	1,2	0
					povprečje	0,4	0
					st. odklon	0,4	0

NAVADNA BUKOVINA 3. NAČIN PRIPRAVE LEPILO MEKOL 1130							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	ME-14	21,04	9,93	209	413	2,0	0
2	ME-15	21,02	10,39	218	595	2,7	0
3	ME-16	20,90	9,98	209	306	1,5	0
4	ME-17	21,22	10,18	216	379	1,8	0
5	ME-18	20,96	10,17	213	324	1,5	0
6	ME-19	21,27	9,94	211	400	1,9	0
7	ME-20	20,84	10,24	213	352	1,6	0
8	ME-21	21,15	10,03	212	337	1,6	0
9	ME-22	20,88	9,88	206	441	2,1	0
10	ME-23	21,40	9,92	212	276	1,3	0
					minimum	1,3	0
					maksimum	2,7	0
					povprečje	1,8	0
					st. odklon	0,4	0

MODIFICIRANA BUKOVINA 3. NAČIN PRIPRAVE LEPILO MEKOL 1130							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	ME-13	21,07	9,76	206	229	1,1	0
2	ME-14	20,97	9,74	204	252	1,2	0
3	ME-15	21,05	9,81	207	204	1,0	0
4	ME-16	20,94	10,03	210	237	1,1	0
5	ME-17	20,92	10,09	211	300	1,4	0
6	ME-19	21,11	10,02	212	185	0,9	0
7	ME-20	21,14	9,89	209	266	1,3	0
8	ME-22	21,01	9,69	204	154	0,8	0
9	ME-23	20,75	9,74	202	306	1,5	0
10	ME-24	20,67	10,36	214	199	0,9	0
					minimum	0,8	0
					maksimum	1,5	0
					povprečje	1,1	0
					st. odklon	0,2	0

NAVADNA BUKOVINA 3. NAČIN PRIPRAVE LEPILO MULTIBOND EZ-1							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	MU-13	20,99	10,46	220	131	0,6	0
2	MU-14	20,86	10,26	214	325	1,5	0
3	MU-15	21,03	9,99	210	176	0,8	0
4	MU-16	20,90	10,44	218	266	1,2	0
5	MU-17	20,97	10,32	216	342	1,6	0
6	MU-19	20,82	10,28	214	334	1,6	0
7	MU-20	20,89	9,95	208	407	2,0	0
8	MU-21	21,00	10,55	222	395	1,8	0
9	MU-22	20,84	10,26	214	152	0,7	0
10	MU-23	20,95	10,27	215	377	1,8	0
					minimum	0,6	0
					maksimum	2,0	0
					povprečje	1,4	0
					st. odklon	0,5	0

MODIFICIRANA BUKOVINA 3. NAČIN PRIPRAVE LEPILO MULTIBOND EZ-1							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	MU-13	21,26	10,20	217	285	1,3	0
2	MU-14	21,45	10,32	221	111	0,5	0
3	MU-16	20,98	10,17	213	261	1,2	0
4	MU-17	20,91	9,96	208	378	1,8	0
5	MU-18	20,90	9,83	205	93	0,5	0
6	MU-19	20,90	9,83	205	37,7	0,2	0
7	MU-20	20,90	9,83	205	37,7	0,2	0
8	MU-21	21,26	10,10	215	203	0,9	0
9	MU-22	21,08	10,26	216	276	1,3	0
10	MU-24	21,52	10,17	219	133	0,6	0
					minimum	0,2	0
					maksimum	1,8	0
					povprečje	0,9	0
					st. odklon	0,5	0

NAVADNA BUKOVINA 3. NAČIN PRIPRAVE LEPILO PATTEX WOOD D3							
šte v. preizk.	oznaka preizk.	š irina strižne površine (mm)	dolž ina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	PA-13	21,11	10,11	213	767	3,6	0
2	PA-14	21,32	10,29	219	678	3,1	0
3	PA-15	21,22	9,98	212	383	1,8	0
4	PA-16	21,04	10,05	211	601	2,8	0
5	PA-17	21,36	10,09	216	615	2,9	0
6	PA-18	20,82	9,95	207	479	2,3	0
7	PA-19	20,92	9,97	209	543	2,6	0
8	PA-20	21,21	10,01	212	634	3,0	0
9	PA-21	21,15	10,23	216	424	2,0	0
10	PA-24	20,84	10,16	212	586	2,8	0
					minimum	1,8	0
					maksimum	3,6	0
					povprečje	2,7	0
					st. odklon	0,5	0

MODIFICIRANA BUKOVINA 3. NAČIN PRIPRAVE LEPILO PATTEX WOOD D3							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	PA-13	21,12	10,02	212	408	1,9	0
2	PA-14	21,24	10,08	214	268	1,3	0
3	PA-15	21,08	10,08	212	659	3,1	0
4	PA-16	21,22	10,08	214	575	2,7	0
5	PA-17	21,02	10,36	218	590	2,7	0
6	PA-19	21,00	10,10	212	532	2,5	0
7	PA-20	21,16	10,13	214	470	2,2	0
8	PA-21	20,85	10,53	220	652	3,0	0
9	PA-22	20,86	10,21	213	440	2,1	0
10	PA-23	20,98	10,52	221	488	2,2	0
					minimum	1,3	0
					maksimum	3,1	0
					povprečje	2,4	0
					st. odklon	0,6	0

NAVADNA BUKOVINA 3. NAČIN PRIPRAVE LEPILO RAKOLL GLX-3							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	RA-14	20,73	10,09	209	328	1,6	0
2	RA-15	21,16	10,30	218	633	2,9	0
3	RA-16	20,68	10,04	208	394	1,9	0
4	RA-18	21,21	10,15	215	433	2,0	0
5	RA-19	21,02	10,22	215	407	1,9	0
6	RA-20	21,02	10,22	215	340	1,6	0
7	RA-21	20,89	10,15	212	476	2,2	0
8	RA-22	20,97	10,15	213	449	2,1	0
9	RA-23	20,94	10,67	223	303	1,4	0
10	RA-24	20,78	10,15	211	424	2,0	0
					minimum	1,4	0
					maksimum	2,9	0
					povprečje	2,0	0
					st. odklon	0,4	0

MODIFICIRANA BUKOVINA 3. NAČIN PRIPRAVE LEPILO RAKOLL GLX-3							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	RA-13	20,86	9,91	207	437	2,1	0
2	RA-14	20,88	10,04	210	641	3,1	0
3	RA-15	20,81	10,07	210	588	2,8	0
4	RA-16	20,93	10,20	213	398	1,9	0
5	RA-17	20,83	10,31	215	417	1,9	0
6	RA-18	20,96	9,98	209	414	2,0	0
7	RA-20	20,82	10,15	211	399	1,9	0
8	RA-21	20,72	10,50	218	470	2,2	0
9	RA-22	20,95	9,99	209	397	1,9	0
10	RA-23	20,98	10,38	218	400	1,8	0
					minimum	1,8	0
					maksimum	3,1	0
					povprečje	2,2	0
					st. odklon	0,4	0

Priloga D:

Podatki meritev in statistika strižnih trdnosti spojev ter deleža loma po lesu preizkušancev po 4. načinu priprave

NAVADNA BUKOVINA 4. NAČIN PRIPRAVE LEPILO FALCO-LIT D3 W91							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	FA-25	20,60	10,37	214	1450	6,8	50
2	FA-26	20,47	10,56	216	1680	7,8	50
3	FA-27	20,85	10,37	216	1090	5,0	10
4	FA-28	20,85	10,30	215	493	2,3	0
5	FA-29	20,53	10,22	210	1450	6,9	70
6	FA-30	20,36	10,19	207	1840	8,9	60
7	FA-31	20,39	10,28	210	1080	5,2	0
8	FA-32	20,62	10,44	215	1660	7,7	20
9	FA-33	20,56	10,45	215	1470	6,8	20
10	FA-34	20,59	10,56	217	1220	5,6	0
					minimum	2,3	0
					maksimum	8,9	70
					povprečje	6,3	28
					st. odklon	1,9	27

MODIFICIRANA BUKOVINA 4. NAČIN PRIPRAVE LEPILO FALCO-LIT D3 W91							
števil. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	FA-25	20,07	10,44	210	2100	10,0	80
2	FA-26	20,14	10,41	210	2110	10,1	80
3	FA-27	20,24	10,43	211	1340	6,3	40
4	FA-28	20,22	10,24	207	1390	6,7	30
5	FA-30	19,90	10,22	203	1650	8,1	50
6	FA-31	20,23	10,14	205	1370	6,7	0
7	FA-32	19,81	10,59	210	2050	9,8	20
8	FA-33	20,06	10,53	211	1870	8,9	40
9	FA-34	20,27	10,10	205	1250	6,1	10
10	FA-36	20,26	10,25	208	1470	7,1	30
					minimum	6,1	0
					maksimum	10,1	80
					povprečje	8,0	38
					st. odklon	1,6	27

NAVADNA BUKOVINA 4. NAČIN PRIPRAVE LEPILO KLEIBERIT 303							
števil. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm ²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm ²)	delež loma po lesu (%)
1	KL-25	20,65	9,90	204	2240	11,0	100
2	KL-26	20,64	10,33	213	2270	10,6	100
3	KL-28	20,63	10,11	209	739	3,5	20
4	KL-30	20,80	10,16	211	49,8	0,2	0
5	KL-31	20,60	9,84	203	1220	6,0	50
6	KL-32	20,34	10,19	207	0	0,0	0
7	KL-33	20,18	10,14	205	1650	8,1	100
8	KL-34	20,72	10,20	211	592	2,8	10
9	KL-35	20,72	10,20	211	2200	10,4	100
10	KL-36	20,67	10,19	211	1840	8,7	60
					minimum	0,0	0
					maksimum	11,0	100
					povprečje	6,1	54
					st. odklon	4,3	44

MODIFICIRANA BUKOVINA 4. NAČIN PRIPRAVE LEPILO KLEIBERIT 303							
števil. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm ²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm ²)	delež loma po lesu (%)
1	KL-25	20,89	9,90	207	448	2,2	0
2	KL-26	20,86	9,97	208	330	1,6	0
3	KL-29	20,75	10,41	216	279	1,3	0
4	KL-30	21,02	10,29	216	308	1,4	0
5	KL-31	20,87	10,33	216	420	1,9	0
6	KL-32	20,82	10,02	209	324	1,6	0
7	KL-33	20,73	10,44	216	656	3,0	30
8	KL-34	20,86	10,28	214	490	2,3	0
9	KL-35	20,71	10,05	208	671	3,2	0
10	KL-36	20,76	10,07	209	415	2,0	0
					minimum	1,3	0
					maksimum	3,2	30
					povprečje	2,0	3
					st. odklon	0,7	9

NAVADNA BUKOVINA 4. NAČIN PRIPRAVE LEPILO MEKOL 1130							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	ME-25	20,17	9,94	200	2360	11,8	100
2	ME-26	20,53	9,83	202	1800	8,9	100
3	ME-27	20,33	9,75	198	1830	9,2	100
4	ME-28	20,31	9,93	202	2280	11,3	100
5	ME-29	20,35	9,91	202	1940	9,6	100
6	ME-30	20,28	9,87	200	2110	10,5	100
7	ME-31	20,28	9,87	200	2290	11,4	100
8	ME-33	20,40	10,15	207	1910	9,2	100
9	ME-34	20,27	9,91	201	1900	9,5	100
10	ME-35	20,47	9,95	204	2060	10,1	100
					minimum	8,9	100
					maksimum	11,8	100
					povprečje	10,2	100
					st. odklon	1,0	0

MODIFICIRANA BUKOVINA 4. NAČIN PRIPRAVE LEPILO MEKOL 1130							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	ME-25	20,78	9,88	205	602	2,9	0
2	ME-26	20,55	9,64	198	329	1,7	0
3	ME-27	20,82	10,09	210	250	1,2	0
4	ME-28	20,63	10,33	213	332	1,6	5
5	ME-29	20,62	10,13	209	382	1,8	5
6	ME-31	20,85	10,24	214	276	1,3	0
7	ME-32	20,75	10,04	208	440	2,1	0
8	ME-33	20,65	10,34	214	285	1,3	0
9	ME-34	20,68	10,22	211	625	3,0	0
10	ME-36	20,83	9,73	203	830	4,1	40
					minimum	1,2	0
					maksimum	4,1	40
					povprečje	2,1	5
					st. odklon	0,9	12

NAVADNA BUKOVINA 4. NAČIN PRIPRAVE LEPILO MULTIBOND EZ-1							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm ²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm ²)	delež loma po lesu (%)
1	MU-25	20,39	10,09	206	2420	11,8	100
2	MU-26	20,31	10,20	207	2840	13,7	90
3	MU-28	20,61	9,88	204	1700	8,3	100
4	MU-29	20,36	9,92	202	1760	8,7	80
5	MU-30	20,05	9,99	200	2590	12,9	100
6	MU-31	20,42	10,10	206	2390	11,6	90
7	MU-33	20,44	9,90	202	2480	12,3	100
8	MU-34	20,30	9,98	203	2400	11,8	90
9	MU-35	20,58	9,84	203	2010	9,9	90
10	MU-36	20,35	10,17	207	2150	10,4	10
					minimum	8,3	10
					maksimum	13,7	100
					povprečje	11,1	85
					st. odklon	1,8	27

MODIFICIRANA BUKOVINA 4. NAČIN PRIPRAVE LEPILO MULTIBOND EZ-1							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm ²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm ²)	delež loma po lesu (%)
1	MU-25	21,12	9,97	211	1110	5,3	50
2	MU-27	21,10	10,13	214	1280	6,0	30
3	MU-28	21,01	10,13	213	776	3,6	30
4	MU-29	20,85	9,77	204	645	3,2	40
5	MU-30	21,02	9,84	207	548	2,6	5
6	MU-31	20,66	9,99	206	1040	5,0	50
7	MU-32	21,04	9,96	210	1550	7,4	50
8	MU-33	20,96	10,37	217	663	3,1	20
9	MU-34	20,95	10,23	214	1310	6,1	30
10	MU-35	21,15	9,85	208	689	3,3	10
					minimum	2,6	5
					maksimum	7,4	50
					povprečje	4,6	32
					st. odklon	1,6	16

NAVADNA BUKOVINA 4. NAČIN PRIPRAVE LEPILO PATTEX WOOD D3							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm ²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm ²)	delež loma po lesu (%)
1	PA-25	20,42	10,01	204	1690	8,3	30
2	PA-26	20,55	10,07	207	1980	9,6	50
3	PA-27	20,69	10,19	211	1410	6,7	50
4	PA-28	20,53	9,88	203	1640	8,1	70
5	PA-30	20,38	10,06	205	2230	10,9	80
6	PA-32	20,27	9,94	201	1940	9,6	50
7	PA-33	20,56	10,07	207	1770	8,5	30
8	PA-34	20,76	9,96	207	1440	7,0	100
9	PA-35	20,45	10,05	206	1760	8,6	20
10	PA-36	20,46	9,96	204	2070	10,2	70
					minimum	6,7	20
					maksimum	10,9	100
					povprečje	8,7	55
					st. odklon	1,3	25

MODIFICIRANA BUKOVINA 4. NAČIN PRIPRAVE LEPILO PATTEX WOOD D3							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm ²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm ²)	delež loma po lesu (%)
1	PA-25	20,40	10,05	205	996	4,9	10
2	PA-26	20,15	10,10	204	898	4,4	0
3	PA-28	20,31	10,06	204	698	3,4	0
4	PA-29	20,21	10,23	207	127	0,6	0
5	PA-31	20,40	10,15	207	515	2,5	100
6	PA-32	20,39	10,22	208	1300	6,2	30
7	PA-33	20,24	10,41	211	1620	7,7	20
8	PA-34	20,29	10,14	206	1600	7,8	20
9	PA-35	20,39	10,20	208	869	4,2	30
10	PA-36	20,32	10,25	208	1310	6,3	10
					minimum	0,6	0
					maksimum	7,8	100
					povprečje	4,8	22
					st. odklon	2,3	30

NAVADNA BUKOVINA 4. NAČIN PRIPRAVE LEPILO RAKOLL GLX-3							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	RA-25	20,40	10,06	205	1830	8,9	40
2	RA-26	20,57	10,13	208	794	3,8	10
3	RA-27	20,56	10,04	206	410	2,0	10
4	RA-29	20,31	10,14	206	2230	10,8	40
5	RA-30	20,51	10,16	208	1720	8,3	80
6	RA-31	20,72	10,14	210	509	2,4	0
7	RA-32	20,29	10,23	208	1810	8,7	40
8	RA-33	20,56	10,14	208	1540	7,4	30
9	RA-34	20,57	10,08	207	763	3,7	0
10	RA-36	20,47	10,13	207	687	3,3	10
					minimum	2,0	0
					maksimum	10,8	80
					povprečje	5,9	26
					st. odklon	3,2	25

MODIFICIRANA BUKOVINA 4. NAČIN PRIPRAVE LEPILO RAKOLL GLX-3							
štev. preizk.	oznaka preizk.	širina strižne površine (mm)	dolžina strižne površine (mm)	velikost strižne površine (mm²)	maksimalna sila loma (N)	strižna trdnost (N/mm²)	delež loma po lesu (%)
1	RA-25	20,36	10,24	208	1960	9,4	100
2	RA-26	20,13	10,30	207	1460	7,0	100
3	RA-27	20,26	9,97	202	1470	7,3	100
4	RA-28	20,34	9,97	203	1600	7,9	100
5	RA-29	20,26	10,59	215	1500	7,0	100
6	RA-30	20,56	10,20	210	1770	8,4	70
7	RA-31	20,43	10,10	206	1790	8,7	60
8	RA-32	20,31	10,12	206	1420	6,9	100
9	RA-35	20,31	10,40	211	1500	7,1	60
10	RA-36	20,29	10,05	204	1660	8,1	100
					minimum	6,9	60
					maksimum	9,4	100
					povprečje	7,8	89
					st. odklon	0,9	18

