

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Jožko NASTAV

**LEPLJENJE LESA Z MEŠANICAMI IZ POLIESTRA
NA OSNOVI UTEKOČINJENEGA LESA IN MUF
LEPILA Z VISOKOFREKVENČNIM
SEGREVANJEM**

DIPLOMSKI PROJEKT
Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

Ljubljana, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Joško NASTAV

**LEPLJENJE LESA Z MEŠANICAMI IZ POLIESTRA NA OSNOVI
UTEKOČINJENEGA LESA IN MUF LEPILA Z
VISOKOFREKVENČNIM SEGREVANJEM**

DIPLOMSKI PROJEKT
Visokošolski strokovni študij – 1. Stopnja

**WOOD BONDING USING HIGH FREQUENCY HEATED
MIXTURES BASED ON POLYESTER FROM LIQUEFIED WOOD
AND MELAMINE UREA FORMALDEHYDE ADHESIVES**

B. SC. THESIS

Ljubljana, 2015

Diplomski projekt je zaključek visokošolskega strokovnega študija Tehnologije lesa in vlaknatih kompozitov prve stopnje. Opravljen je bil v Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer so bile opravljene vse laboratorijske analize.

Senat oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega projekta imenoval prof. dr. Milana Šerneka, za somentorja izr. prof. dr. Matjaža Kunaverja, za recenzenta pa viš. pred. mag. Bogdana Šego.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svojega dela na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je delo, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identično tiskani verziji.

Jožko NASTAV

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dv 1
DK	UDK 678.029.5
KG	lepilni spoj/poliester/utekočinjen les/strižna trdnost/dielektrične lastnosti
AV	NASTAV, Jožko
SA	ŠERNEK, Milan (mentor)/KUNAVER, Matjaž (somentor)/ŠEGA, Bogdan (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2015
IN	LEPLJENJE LESA Z MEŠANICAMI NA OSNOVI POLIESTRA IZ UTEKOČINJENEGA LESA IN MELAMIN UREA FORMALDEHIDNEGA LEPILA Z VISOKOFREKVENČNIM SEGREVANJEM
TD	Diplomski projekt (Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja)
OP	X, 43str., 11 pregl., 9 sl., 10 pril., 13 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Z dodajanjem različnih deležev poliestra iz utekočinjenega lesa (PUL) melamin-urea-formaldehidnemu (MUF) lepilu smo želeli raziskati, koliko PUL lahko dodamo lepilu, da le to še izpolnjuje zahteve standarda EN 12765. Po tem standardu so lepila za nekonstrukcijsko uporabo razvrščena v 4 trajnostne razrede (C1, C2, C3, C4). MUF lepilu smo dodali 0, 10, 20, 30, 40, 50 % PUL. S pomočjo visoke frekvence smo zlepili bukove lamele, ki smo jih po lepljenju razžagali v strižne preizkušance, kot to predpisuje standard EN 205. Testiranje smo opravili na univerzalnem testirnem stroju ZWICK/Z005. Lepilnim mešanicam smo izmerili tudi dielektrične lastnosti. Ugotovili smo, da najvišje strižne trdnosti dosegajo tisti preizkušanci, ki so bili 7 dni po lepljenju izpostavljeni standardni klimi. Vrednosti pri teh preizkušancih so se gibale nad 10 N/mm^2 . Pri ocenjevanju loma po lesu smo zasledili, da manjše količine dodanega PUL lahko prispevajo k boljši trdnosti lepilnega spoja. Preizkušanci, ki smo jih tekom raziskave izpostavili vodi, so dosegali nižje strižne trdnosti. Preizkušanci, zlepiljeni z lepilnimi mešanicami z več dodanega PUL ter za 3 ure izpostavljeni vodi ($100 \pm 2^\circ\text{C}$) pa so razpadli.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- ND Dv1
- DC UDC 678.029.5
- CX adhesive bond/polyester/liquefied wood/shear strength/dielectric properties
- AU NASTAV, Jožko
- AA ŠERNEK, Milan (supervisor)/KUNAVER, Matjaž (co-advisor)/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 2015
- TY WOOD BONDING USING HIGH FREQUENCY HEATED MIXTURES
BASED ON POLYESTER FROM LIQUEFIED WOOD
AND MELAMINE UREA FORMALDEHYDE ADHESIVES
- DT B. Sc. Thesis (Professional Study Programmes)
- NO X, 43 p., 11 tab., 9 fig., 10 ann., 13ref.
- LA sl
- Al sl/en
- AB By adding different shares of liquefied wood (PUL) to melamine-urea formaldehyde (MUF) adhesive we researched the quantity of PUL to be added to the MUF glue to meet the requirements of standard EN 12765. Under this standard, adhesives for non-structural application are grouped into 4 durability classes (C1, C2, C3, C4). 0, 10, 20, 30, 40 and 50 % of the PUL was added to the MUF adhesive. Using high frequency two beech lamellas were bonded together with mixtures of MUF adhesive and PUL. Then the specimens were sawn according to the standard EN 205, and tested on the universal testing machine ZWICK Z005. Before gluing the dielectric properties of the mixtures were measured. The higher shear strength was reached in the specimens exposed to standard atmosphere for 7 days after bonding; it ranged above 10 N/mm². We observed that a small quantity of added PUL could contribute to higher strength adhesive bond. The specimens exposed to water achieved lower shear strength. The specimens glued together with adhesive mixture, having higher quantity of PUL, and exposed to water for 3 hours (100 ± 2°C) collapsed.

KAZALO VSEBINE

Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key words documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VI
Kazalo slik	VIII
Kazalo prilog	IX
Okrajšave in simboli	X
1 UVOD	1
1.1 Opredelitev problema.....	1
1.2 Namen dela	1
1.3 Hipoteze	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 Splošno o VF segrevanju in lepljenju lesa.....	2
2.2 Električne lastnosti lesa.....	2
2.2.1 Dielektrična vrednost snovi	2
2.2.2 Dielektrična vrednost lesa	3
2.2.3 Faktor izgub v dielektriku	4
2.2.4 Faktor intenzivnosti segrevanja	4
2.3 UTEKOČINJEN LES	5
2.3.1 Utekočinjanje s polihidričnimi alkoholi	5
2.3.2 Utekočinjanje s fenolom	6
2.4 UPORABA UTEKOČINJENEGA LESA.....	6
2.4.1 Fenol-formaldehidne smole	6
2.4.2 Epoksi smole	6
2.4.3 Poliuretanska lepila na osnovi utekočinjenega lesa	6
2.5 IZDELAVA MEŠANIC UL S KOMERCIALNIMI SINTETIČNIMI LEPILI.....	7
2.5.1 Mešanica z FF lepilom	7
2.5.2 Mešanica z MUF lepilom	7

2.6	UTEKOČINJEN LES KOT SAMOSTOJNA KOMPONENTA ZA LEPLJENJE	7
2.7	MELAMIN-UREA FORMALDEHIDNA LEPILA.....	8
3	MATERIALI IN METODE	9
3.1	MATERIALI	10
3.1.1	LEPILO MELDUR H97	10
3.1.2	POLIESTER IZ UTEKOČINJENEGA LESA.....	11
3.1.3	BUKEV (Fagus Sylvatica L.).....	11
3.2	METODE.....	12
3.2.1	Izdelava lepilnih mešanic	12
3.2.2	Merjenje dielektričnih lastnosti lepilnih mešanic.....	12
3.2.3	Lepljenje lamel z izdelanimi mešanicami.....	13
3.2.4	Preizkušanje strižne trdnosti lepilnih spojev	13
4	REZULTATI	16
4.1	DIELEKTRIČNA VREDNOST IN FAKTOR IZGUB LEPILNIH MEŠANIC .	16
4.2	STRIŽNA TRDNOST LEPILNEGA SPOJA IN OCENA LOMA PO LESU	18
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	22
5.1	RAZPRAVA.....	22
5.2	SKLEPI.....	23
6	VIRI	24

ZAHVALA

PRILOGE

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Dielektrične vrednosti nekaterih snovi (Resnik in sod., 1995).....	4
Preglednica 2: Fizikalno kemične lastnosti lepila Meldur H97 (Meldur H97, tehnična dokumentacija, 2004)	10
Preglednica 3: Način uporabe lepila Meldur H97 (Meldur H97, tehnična dokumentacija, 2004).....	10
Preglednica 4: Pogoji za utrjevanje lepila Meldur H97 (Meldur H97, tehnična dokumentacija, 2004)	10
Preglednica 5: Lepilne mešanice za lepljenje bukovih lamel.....	12
Preglednica 6: Trajnostni razredi za nekonstrukcijska duromerna lepila.....	14
Preglednica 7: Načini priprave preskušancev in minimalne strižne trdnosti lepil za nekonstrukcijsko uporabo.....	15
Preglednica 8: Strižna trdnost in ocena loma po lesu preizkušancev po načinu priprave št. 1	18
Preglednica 9: Strižna trdnost in ocena loma po lesu preizkušancev po načinu priprave št. 2	19
Preglednica 10: Strižna trdnost in ocena loma po lesu preizkušancev po načinu priprave št. 3	20
Preglednica 11: Strižna trdnost in ocena loma po lesu preizkušancev po načinu priprave št. 4	21

KAZALO SLIK

Slika 1: Vpliv dodatka melamina UF lepilu na strižno trdnost (Šernek, 2012:)	8
Slika 2: Univerzalni testirni stroj ZWICK Z005	9
Slika 3: Merilna sonda Agilent 16452A (Kranjec, 2006: 17)	13
Slika 3: Shematski prikaz preizkušanca	14
Slika 4: Povprečna dielektrična vrednost lepilnih mešanic v odvisnosti od frekvence	16
Slika 5: Povprečni izgubni faktor lepilnih mešanic v odvisnosti od frekvence	17
Slika 6: Strižna trdnost preizkušancev po načinu priprave št. 1 in minimalna meja strižne trdnosti	18
Slika 7: Strižna trdnost preizkušancev po načinu priprave št. 2 in minimalna meja strižne trdnosti	19
Slika 8: Strižna trdnost preizkušancev po načinu priprave št. 3 in minimalna meja strižne trdnosti	20
Slika 9: Strižna trdnost preizkušancev po načinu priprave št. 4 in minimalna meja strižne trdnosti	21

KAZALO PRILOG

- PRILOGA A: Dielektrične vrednosti, faktor izgub in dielektrični faktorji izgub – MUF lepilo
- PRILOGA B: Dielektrične vrednosti, faktor izgub in dielektrični faktorji izgub – dodatek 10 % PUL
- PRILOGA C: Dielektrične vrednosti, faktor izgub in dielektrični faktorji izgub – dodatek 20% PUL
- PRILOGA D: Dielektrične vrednosti, faktor izgub in dielektrični faktorji izgub – dodatek 30 % PUL
- PRILOGA E: Dielektrične vrednosti, faktor izgub in dielektrični faktorji izgub – dodatek 40 % PUL
- PRILOGA F: Dielektrične vrednosti, faktor izgub in dielektrični faktorji izgub – dodatek 50 % PUL
- PRILOGA G: Strižna trdnost in lom po lesu v načinu priprave št. 1
- PRILOGA H: Strižna trdnost in lom po lesu v načinu priprave št. 2
- PRILOGA I: Strižna trdnost in lom po lesu v načinu priprave št. 3
- PRILOGA J: Strižna trdnost in lom po lesu v načinu priprave št. 4

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

MUF – melamin-urea formaldehidno lepilo

PUL – poliester iz utekočinjenega lesa

UL – utekočinjen les

VF – visoka frekvenca

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Poliester iz utekočinjenega lesa (PUL) bi lahko uporabljali kot lepilo za les, ali pa bi ga kot dodatek dodajali drugim lepilom za nekonstrukcijsko uporabo ter tako ustvarili kakovostne lepilne spoje. S pomočjo melamin-urea-formaldehidnega (MUF) lepila in poliestra iz utekočinjenega lesa smo izdelali več mešanic, s katerimi smo zlepili strižne preizkušance, jih testirali ter skušali ugotoviti kolikšen delež PUL še zagotavlja zadostne strižne trdnosti. Za lepljenje smo uporabili visokofrekvenčno (VF) stiskalnico.

1.2 NAMEN DELA

Ugotoviti želimo, kakšna mešanica poliestra na osnovi utekočinjenega lesa in MUF lepila, bi zadostila lepljenju lesa za nekonstrukcijsko uporabo, po standardu SIST EN 12765. Lepili smo z uporabo visoke frekvence. Lepilnim mešanicam smo merili tudi dielektrične lastnosti.

1.3 HIPOTEZE

Predvidevamo, da bo dodatek poliestra pri nekem višjem deležu lahko vplival na samo trdnost ter vodoodpornost lepilnih spojev. Pri dodajanju nižjih deležev poliestra le ta naj ne bi bistveno vplival na vodoodpornost in trdnost lepilnih spojev.

2 PREGLED OBJAV

2.1 SPLOŠNO O VF SEGREVANJU IN LEPLJENJU LESA

V postopku predelave in obdelave lesa je tehnologija segrevanja zelo zastopana, saj je potrebna pri umetnem sušenju lesa, hidrotermični obdelavi, lepljenju, lakiranju, krivljenju. Ker klasično segrevanje lepljenca običajno pomeni prekomerno porabo energije, se v tehnologiji obdelave lesa vse pogosteje uporablja visokofrekvenčna tehnologija. V procesu lepljenja lesa ta tehnologija omogoča, da se zaradi različnih dielektričnih lastnosti lepila in lesa, lepilo hitreje segreje ter utrdi. Osnova za tako segrevanje je kondenzator, pri katerem med elektrode vstavimo dielektrik, ki ga predstavlja les, voda in lepilna mešanica.

Segrevanje lesa lahko opravljamo posredno ali neposredno. Posredno segrevanje pomeni, da se toplota, ki je potrebna za segrevanje lesa, tvori izven predmeta, ki ga lepimo in se nato nanj prenaša s prevajanjem ali sevanjem.

Drugi način segrevanja v lesarstvu pa je neposredno segrevanje. Ta način je zastopan predvsem z dielektričnim in kapacitivnim segrevanjem, oziroma segrevanjem z VF. Poznamo še induktivno segrevanje, vendar je to segrevanje primerno za dobre prevodnike električnega toka, kar pa les ni. Kapacitivno segrevanje, ki je primerno za dielektrike, se pojavi, če med dve vzporedni kovinski plošči, oziroma elektrodi, s površino (S), postavimo dielektrik (les) z dielektrično vrednostjo (ϵ), s faktorjem izgub ($\tan\delta$) in debelino (d). S priključitvijo na VF napetost lahko sistem elektrod in lesa obravnavamo kot kondenzator. Frekvence, ki jih uporabljamo za VF segrevanje, delimo v 3 skupine:

- Nizka: 50 Hz
- Srednja: 500 Hz – 20 KHz
- Visoka: 100 KHz - 100 MHz

Frekvenčno območje VF generatorjev, namenjenih segrevanju in lepljenju lesa, sega od 4 do 30 MHz. Glavni problem pri VF segrevanju lesa pa je nehomogenost in variabilnost lesa (Resnik in sod., 1995).

2.2 ELEKTRIČNE LASTNOSTI LESA

2.2.1 Dielektrična vrednost snovi

Dielektrično vrednost snovi lahko definiramo kot število za katero se poveča kapaciteta nekega kondenzatorja, če vakuum med njegovima elektrodama nadomestimo s to snovjo. Dielektrična vrednost je tudi mera za električno energijo, ki se absorbira in shrani v obliki električne polarizacije v materialu, ko se ta nahaja v električnem polju (Resnik in sod., 1995).

$$E = \frac{E_0}{\varepsilon} \quad \dots(1)$$

E_0 = prvotna električna poljska jakost (N/As)

E = električna poljska jakost v snovi (N/As)

ε = dielektrična vrednost

2.2.2 Dielektrična vrednost lesa

Dielektrična vrednost lesa je odvisna od: gostote lesa, vlažnosti lesa, smeri vlaken glede na smer električnih silnic, uporabljene frekvence, temperature lesa, kemijske zgradbe lesa in ekstraktivnih snovi v lesu. Narašča z naraščajočo vlažnostjo lesa, to pa zato, ker ima voda dielektrično vrednost okoli 80, les pa okoli 2. Na dielektrično vrednost lesa pa vpliva tudi vrsta in gostota lesa, tako imajo gostejši lesovi, zaradi večje vsebnosti trde snovi, višjo dielektrično vrednost in izgubni faktor. Razlike v vsebnosti vlage v lesu imajo bistveno večji pomen, kot pa razlike v gostoti lesa. Dielektrična vrednost lesa se razlikuje v treh smereh, vzdolžni, radialni in tangencialni (Resnik in sod., 1995).

Preglednica 1: Dielektrične vrednosti nekaterih snovi (Resnik in sod., 1995)

Snov	Dielektrična vrednost
Zrak 0°C, 1 bar	1,00059
Papir	2
Petrolej	2,1
Benzol	2,3
Led 0°C	2,8
Les	2-8
Pleksi steklo	3-3,6
Celuloid	3-4
Eter	4,1
Kremen	4,3
Bakelit	4-4,6
Sljuda	4-8
Elektroporcelan	6,5
Steklo	6-8
Amoniak	15
Etilni alkohol 20°C	21
Aceton 20°C	21,4
Metilni alkohol 20°C	33,1
Glicerin 20°C	56
Voda 0°C	88
10°C	84,1
20°C	80,4
30°C	76,8
40°C	73,3
50°C	69,9

2.2.3 Faktor izgub v dielektriku

V visokofrekvenčnem polju poznamo še en faktor, ki mu pravimo faktor izgub dielektrika ($\tan\delta$). To je mera za del, v dielektriku absorbirane energije, ki se bo pretvorila v toploto. V primeru idealnega dielektrika ne prihaja do izgub, vendar pa se v praksi srečujemo z nepopolnimi dielektriki, pri katerih prihaja do izgub. Ta faktor ima direkten sorazmeren vpliv na intenzivnost gretja dielektrika in na količino porabljene energije.

2.2.4 Faktor intenzivnosti segrevanja

To je produkt dielektrične vrednosti in faktorja izgub. Z naraščanjem faktorja, narašča intenzivnost segrevanja dielektrika, kar v primeru VF segrevanja lesa pomeni koristne izgube električne energije, ki se pretvarja v toploto v segrevanem materialu. Na dielektrično segrevanje lesa vpliva mnogo dejavnikov, od katerih sta odvisna dielektrična vrednost in kot izgub.

2.3 UTEKOČINJEN LES

Ostanke lesa lahko s pomočjo topil, povišane temperature in katalizatorja tudi utekočinimo. Za ta postopek se uporabljajo topila, kot so: fenol, polihidrični alkoholi, dvobazni estri, ionske tekočine, etilen karbonat, resorcinol, kot katalizator pa se uporabljajo kisline ali baze. Med najpomembnejša postopka sodita utekočinjanje s polihidričnimi alkoholi in fenolom. Če les v ustreznem topilu in vodikovi atmosferi segrejemo na 250°C – 400°C in tlaku 280 barov se ob uporabi katalizatorjev utekočini. Temperatura je odvisna od tipa katalizatorja in vrste uporabljenega topila. Pri tem dobimo nov produkt na naravni osnovi, ki se imenuje utekočinjen les, kateri poleg plinov vsebuje tudi olja, fenole in ogljikovodike. Uporabljamo ga lahko kot samostojno komponento za lepljenje, gorivo, poliuretanske pene, lahko izdelujemo mešanice z različnimi sintetičnimi lepili, lahko pa sintetiziramo lepila na osnovi utekočinjenega lesa (Tišler, 2002).

Poleg navedenih možnosti utekočinjanja poznamo tudi utekočinjanje lesa z uporabo mikrovalov. Pri tem lahko z uporabo enostavnih glikolov (propilen glikol, dietilen glikol, etilen glikol) in organskih kislinskih anhidridov (anhidrid maleinske kisline, anhidrid ftalne kisline) in fosforjeve kisline kot katalizatorja, les popolnoma utekočinimo že po 20 minutah. Če povečujemo delež fosforjeve kisline in povečujemo moč mikrovalovnega sevanja se učinkovitost utekočinjanja povečuje (Čuk, 2008).

Utekočinjanje lesa z uporabo ionskih tekočin, so raziskovalci prav tako proučevali. Pridobimo jih lahko iz anorganskih, organskih in polimernih snovi. Po končani reakciji jih lahko odstranimo iz utekočinjene mešanice, ter jih ponovno uporabimo. Po tem postopku so les popolnoma utekočinili v času 25 minut s pomočjo ionskih tekočin na osnovi imidazola pri temperaturi 120°C (Čuk, 2008).

2.3.1 Utekočinjanje s polihidričnimi alkoholi

Ker je fenol, ki ga uporabljajo za utekočinjanje lesa strupen, se vse pogosteje les utekočinja s polihidričnimi alkoholi. S tem postopkom lahko lesno moko utekočinimo pri temperaturi 150°C v 15 minutah. Reagent katerega uporabimo je polieten glikol, ki ima povprečno molsko maso 400 in glicerol, kot katalizator pa je uporabljena žveplova kislina. Utekočinjanje lesa je mogoče tudi pod drugimi pogoji, saj so raziskovalci pri 250°C, v časovnem intervalu 15 – 180 minut les utekočinili tudi z drugimi polihidričnimi alkoholi. Sem sodijo še dietilen glikol, polietilen glikol in etilen glikol, ki so poleg glicerola in polieten glikola najpogosteje uporabljani. Utekočinjanje lesa s polioli je enostaven postopek. Za izvedbo utekočinjanja ne potrebujemo visokih temperatur ter tlakov (Tišler, 2002; Šernek in Ugovšek, 2011).

2.3.2 Utekočinjanje s fenolom

Utekočinjanje s fenoli poteka v alkalnem mediju. Natrijev hidroksid se je pri tem postopku utekočinjanja izkazal kot najboljši katalizator. Pri tem postopku utekočinjanja so potrebni pogoji 250°C in čas utekočinjanja 1 uro. S tem postopkom je mogoče utekočiniti tudi celulozo, bombaž in juto. Raziskovalci so ugotovili, da je za uspešno utekočinjanje potrebno ugotoviti pravilno razmerje med lesno moko, fenolom in NaOH (Tišler, 2002).

2.4 UPORABA UTEKOČINJENEGA LESA

2.4.1 Fenol-formaldehidne smole

Največkrat zastopana je sinteza utekočinjenega lesa z FF lepili. Za uporabo FF lepil na osnovi utekočinjenega lesa, je potrebno les utekočiniti s fenoli in mu dodati formaldehid kot katalizator pa lahko uporabimo kisline ali baze da dobimo odlično novolak (kislo) smolo ali alkalno smolo. Lastnosti smol se spreminjajo, glede na razmerja med fenolom in vodno raztopino NaOH. Mehanske lastnosti, ki jih dosejajo produkti iz fenol-formaldehidnih smol prekašajo komercialne smole. Nekateri raziskovalci so ugotovili, da fenolna lepila izdelana iz petih delov lesnih sekancev in dveh delov fenola dosejajo enake lastnosti lepljenja, kot komercialna lepila. Pri lepljenju furnirja, debeline 1 mm in temperaturi 120 – 130°C je čas lepljenja znašal 30 sekund. Pri tem je bilo mogoče lepljenje s 15°C nižjimi temperaturami kot pri komercialnih lepilih. Lastnosti smol se spreminjajo. Če imajo dodanega več fenola imajo nižjo molsko maso in tališče, vendar boljše mehanske lastnosti (Tišler, 2002).

2.4.2 Epoksi smole

Za utekočinjanje lesa se v tem primeru uporabljajo polihidrični alkoholi, kot katalizator pa žveplova kislina. Za sintezo se je največkrat dodal eter bisfenol A, kot utrjevalec pa trietilen tetramin (TETA). Pri reakciji utekočinjenega lesa in epoksi smol dobimo čisto nove vrste lepilnih smol. Raziskovalci so za preučevanje lastnosti izbrali različne vrste epoksi komponent. Pod spremenljivimi pogoji, so dobili različne smole in ugotovili, da se njihove lastnosti izboljšujejo pri dodajanju večjih deležev utekočinjenega lesa (Tišler, 2002).

2.4.3 Poliuretanska lepila na osnovi utekočinjenega lesa

Pri poliuretanskih (PU) lepilih se za utekočinjanje najpogosteje uporabljajo polihidrični alkoholi. Utekočinjen les ima veliko število hidroksilnih skupin in je tako primeren za sintezo s PU lepili. Hidroksilne skupine reagirajo s prostimi skupinami dodanega izocianata in pri tem tvorijo uretanske vezi. Ta lepila so izkazala dobre lastnosti saj lepilni spoji dosejajo visoke trdnosti in vodoodpornost (Šernek, 2012).

2.5 IZDELAVA MEŠANIC UL S KOMERCIALNIMI SINTETIČNIMI LEPILI

Ta način predstavlja enostavno različico sintezi lepil, saj gre samo za dodajanje utekočinjenega lesa, v različnih razmerjih, že pripravljenim sintetičnim lepilom. Primerna so FF lepila, MUF lepila, UF lepila in MF lepila (Šernek, 2012).

2.5.1 Mešanica z FF lepilom

V raziskavah, kjer so izdelovali mešanice UL z FF lepilom, je bil uporabljen utekočinjen les v tekoči obliki. Pri mešanici z dodanim utekočinjenim lesom v tekoči obliki je bilo zaznano, da za doseganje standardnih zahtev za vezan les, količina dodanega utekočinjenega lesa ne sme presegati 25 % celotne lepilne mešanice (Šernek, 2012).

2.5.2 Mešanica z MUF lepilom

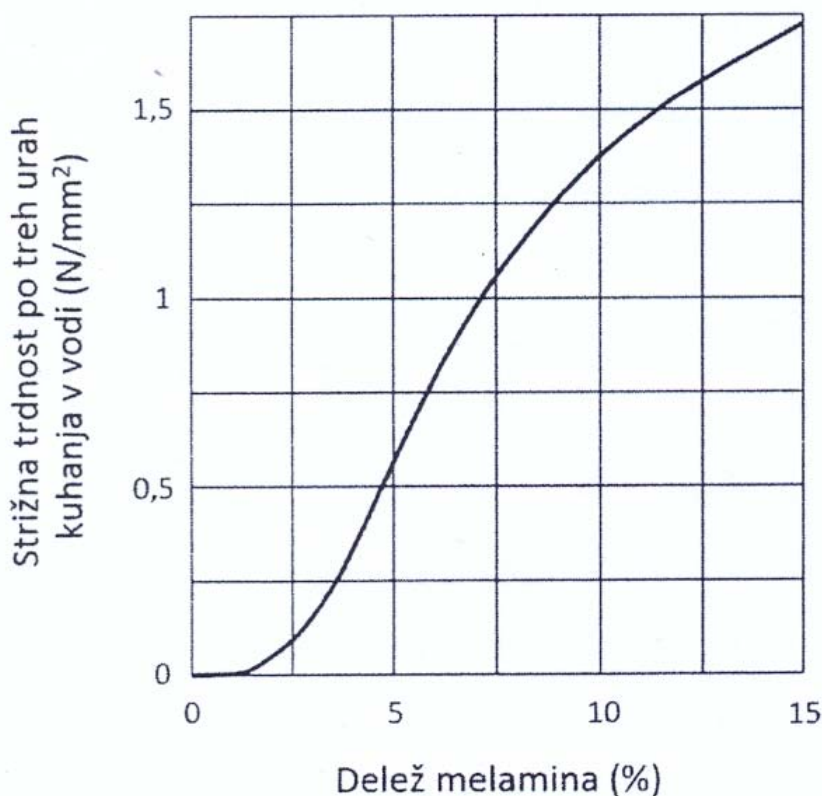
MUF lepilo se za mešanice uporablja pogosteje kot FF lepilo, vendar se je tudi pri tej mešanici po standardu za lepljen lameliran les, izkazalo, da je lahko utekočinjenega lesa največ 25 %. Pri izdelavi ivernih plošč pa je mogoče dodati tudi do 50% utekočinjenega lesa, da le te še dosegajo zadostne mehanske lastnosti. Z dodajanjem utekočinjenega lesa formaldehidnim lepilom tudi zmanjšamo emisije prostega formaldehida (Šernek, 2012).

2.6 UTEKOČINJEN LES KOT SAMOSTOJNA KOMPONENTA ZA LEPLJENJE

Zlepljeni so bili kompoziti z utekočinjenim lesom, ki je vseboval 50 % lesa. Po 12 minutnem lepljenju pri 180°C so v suhih pogojih sicer zagotovili trajne lepilne spoje vendar pa le ti niso zadostili zahtevam standardov. Ugotovili so, da je za nezadostno trdnost in vodoodpornost kriva nizka vrednost pH utekočinjenega lesa, ki degradira lesno tkivo. Utekočinjen les predstavlja alternativo sintetičnim lepilom, vendar so potrebne dodatne raziskave, ki bi rešile problem vodoodpornosti in predrago izdelavo utekočinjenega lesa (Šernek, 2012).

2.7 MELAMIN-UREA FORMALDEHIDNA LEPILA

Melamin-urea-formaldehidna (MUF) lepila spadajo med polikondenzacijska lepila, oziroma v podskupino aminoplastičnih lepil. To so polimerni produkti aldehydov s snovmi, ki vsebujejo NH_2 in NH skupine. Najpomembnejši aminoplastični lepili sta UF in MF lepilo. Zaradi cenovne ugodnosti je UF lepilo v lesni industriji najpogosteje uporabljeno pri proizvodnji ploskovnega pohištva. Z dodajanjem različnih komponent UF lepilom, le tem izboljšamo nizko odpornost pri hidrolizi, v našem primeru gre za komponento melamina. Melamina pri sintezi MUF lepila dodamo le toliko kot je potrebno oziroma kolikor je najmanj možno. Navadno vsebnost variira med nekaj odstotki in 25 odstotki. Že majhen odstotek dodanega melamina pa UF lepilom znatno izboljša strižno trdnost lepilnega spoja ter odpornost proti vodi.



Slika 1: Vpliv dodatka melamina UF lepilu na strižno trdnost (Šernek, 2012)

MUF lepilo lahko pridobivamo s ko-kondenzacijo melamina, uree in formaldehida v večstopenjski reakciji. Lahko pa tudi z mešanjem MF in UF lepil, pri čemer je količina posameznega lepila odvisna od tega kakšno sestavo lepila želimo imeti. Z dodajanjem melamina UF lepilom, dosežemo primernost lepil za lepljenje izdelkov za zunanjo uporabo, npr.: vodoodporne vezane in iverne plošče in lepljeni nosilci. UF in MF lepila se uporabljajo tudi za impregniranje papirja, ki se uporablja za oblaganje ivernih in vlaknenih plošč (Šernek, 2012).

3 MATERIALI IN METODE

V diplomskem projektu smo skušali ugotoviti, kakšen vpliv ima dodatek poliestra na osnovi utekočinjenega lesa v MUF lepilo na lepilni spoj pri različnih pogojih. Pri tem smo uporabili naslednje materiale: poliester iz utekočinjenega lesa, MUF lepilo ter bukove lamele, ki smo jih zlepili z uporabo visokofrekvenčne stiskalnice. Zlepljene lamele smo razžagali v strižne preizkušance, po standardu SIST EN 205 ter jih preizkušali po standardu SIST EN 12765 na trgalnem stroju, ZWICK Z005, s pomočjo katerega smo ugotavljali strižne trdnosti preizkušancev.



Slika 2: Univerzalni testirni stroj ZWICK Z005

3.1 MATERIALI

3.1.1 Lepilo Meldur H97

Meldur H97 je melamin-urea-formaldehidno lepilo, ki ga proizvaja MELAMIN kemična tovarna, d. d., iz Kočevja. Lepilo Meldur H97 se uporablja za termično lepljenje jelovega in bukovega lesa za vodoodporne izdelke E-1 emisijskega razreda. Prav tako je primerno v proizvodnem procesu, kjer imajo pred termičnim stiskanjem tudi hladno predstiskanje. (Meldur H97, tehnična dokumentacija, 2004).

Preglednica 2: Fizikalno kemične lastnosti lepila Meldur H97 (Meldur H97, tehnična dokumentacija, 2004)

Videz:	mlečno bela tekočina
Suha snov:	$63 \pm 2 \%$
Viskoznost (DIN EN ISO 2431 $\varnothing 4$, 20 °C):	80 – 200 sekund
Prosti formaldehid:	max. 0,5 %
pH:	9,2–9,5
Stabilnost pri 20 °C:	2 meseca

Preglednica 3: Način uporabe lepila Meldur H97 (Meldur H97, tehnična dokumentacija, 2004)

MELDUR H97:	100 delov
Ržena moka:	5–7 delov
Katalizator:	NH ₄ Cl 1 del ali (NH ₄) ₂ SO ₄ 2–3 dele

Preglednica 4: Pogoji za utrjevanje lepila Meldur H97 (Meldur H97, tehnična dokumentacija, 2004)

Temperatura:	125 – 135 °C
Pritisk:	1,8 – 2,5 N/mm ²
Odprti čas (pri 25 °C):	15 – 30 minut
Nanos lepila:	180 – 250 g/m ²
Vlaga lesa:	6 – 12 %
Čas:	odvisno od debeline

3.1.2 Poliester iz utekočinjenega lesa

Utekočinjen les lahko uporabimo tudi kot polihidroksi alkohol v sintezi različnih poliestrov. Ima tudi veliko število hidroksilnih (OH) skupin. Sintetiziran poliester ima bistveno višjo molsko maso kot sam utekočinjen les in s tem tudi boljše mehanske lastnosti. Lahko ga uporabimo za sintezo poliuretanov in zamreženih produktov z izboljšanimi lastnostmi. Višja molska masa je bila dosežena z zmanjšanjem hidroksilnih skupin. Utekočinjen les je v tem eksperimentu nadomestil do 23 % polihidroksi alkoholov za formulacijo poliestrov (Kunaver in sod., 2009).

Slovenski raziskovalci so prvi v Sloveniji, kot surovino, za sintezo poliestrov uporabili utekočinjen les. Prav tako pa so prvi uporabili mikrovalove za utekočinjanje lesa. Prvi izdelek iz utekočinjenega lesa, ki so ga naredili je bila nenasičena poliestrska smola, v nadaljevanju pa so sintetizirali različne poliestre, ki se jih uporablja za izdelavo poliuretanskih pen. Poliuretanska pena, ki je izdelana iz utekočinjenega lesa je izjemno hidrofilna, se pravi da lahko vpije veliko vode in je uporabna v agrotehnik in floristiki. Z modifikacijo sestave poliestrov lahko tudi vplivamo na lastnosti poliuretanskih pen (Kunaver in sod., 2008).

Poliester iz utekočinjenega lesa, ki smo ga uporabili za izdelavo lepilnih mešanic, je prispeval Kemijski inštitut Ljubljana.

3.1.3 Bukev (*Fagus Sylvatica L.*)

Bukev sodi med najpomembnejše domače listavce. V preteklosti so jo uporabljali izključno za kurjenje. Zraste do višine 30 metrov, izjemoma tudi 40 metrov in dosega premere od 100 – 150 cm. V sestojih raste kot drevo s polnolesnim in ravnim deblom. Skorja je gladka in je v starosti srebrnosive barve. Les je rdečkasto bele barve, v normalnih pogojih nima obarvane jedrovine, lahko pa se pojavlja diskoloriran les oziroma rdeče srce. Gostota je ρ_0 490...680...880 kg/m³. Bukovino sušimo počasi, ker je nagnjena k pokanju in zvijanju. Se dobro impregnira z izjemo rdečega srca. Les je trd z visoko gostoto, se zelo krči in nabreka. Bukovina se da zelo lepo oblikovati, lepo se tudi lušči in struži. Žebljanje, vijačenje in lepljenje ni oteženo. Dobro se krivi. Površinsko jo lahko obdelujemo z vsemi komercialnimi laki. Lahko se uporablja kot vezan, krivljen ali masiven les. Vezan in krivljen les se uporabljata predvsem za šolsko in pisarniško pohištvo. Bukovina je zelo primerna za izdelavo železniških pragov, vendar pa jo je potrebno prej impregnirati. Uporablja se tudi za držala orodij, za gospodinjne pripomočke, igrače, embalažo, za stružene izdelke, pridobivanje oglja ter tudi za pridobivanje celuloze (Čufar, 2006).

3.2 METODE

3.2.1 Izdelava lepilnih mešanic

Pred začetkom lepljenja smo pripravili lepilne mešanice, zato pa smo uporabili MUF lepilo, ki je sestavljeno iz lepila Meldur H97, amonformiata ter moke. MUF lepilu smo dodajali različne deleže poliestra iz utekočinjenega lesa. Deleži dodanega poliestra iz utekočinjenega lesa so bili 0, 10, 20, 30, 40 in 50 %.

Preglednica 5: Lepilne mešanice za lepljenje bukovih lamel

Lepilna mešanica	Delež MUF lepila	Delež UL
MUF-100/PUL-0	100	0
MUF-90/PUL-10	90	10
MUF-80/PUL-20	80	20
MUF-70/PUL-30	70	30
MUF-60/PUL-40	60	40
MUF-50/PUL-50	50	50

Pripravljenim lepilnim mešanici smo merili tudi dielektrične vrednosti.

3.2.2 Merjenje dielektričnih lastnosti lepilnih mešanic

Merjenje dielektričnih lastnosti smo opravili pred nanosom posameznih mešanic na lamele. Za merjenje le teh smo uporabili merilno napravo Agilent 4285A Precision LCR meter in sondo Agilent 16452A. Z napravo lahko merimo različne električne in dielektrične lastnosti. Naprava omogoča merjenje dielektričnih lastnosti v frekvenčnem območju od 75 kHz do 30 MHz. Merilna sonda je bila povezana z računalnikom preko katerega smo s pomočjo programa po meritvi lahko odčitali dielektrične vrednosti ter faktor izgub lepilnih mešanic.

Pridobljene podatke smo nato prenesli v program Microsoft Excel, kjer jih dokončno obdelamo.



Slika 3: Merilna sonda Agilent 16452A (Kranjec, 2006)

3.2.3 Lepljenje lamel z izdelanimi mešanici

Predhodno pripravljene lamele so bile klimatizirane v standardni klimi ($T=20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$; RZV: $65\% \pm 5\%$), ter pred lepljenjem skobljane na debelinskem skobeljnem stroju in sicer na debelino 5 mm. Z vsako lepilno mešanico smo z uporabo visokofrekvenčne stiskalnice zlepili dve bukovi lameli v dvoslojni lepljenec. Parametri za lepljenje lamel so bili naslednji:

$u = 12\%$

Nanos = 200 g/m^2

Specifični tlak = 10 bar

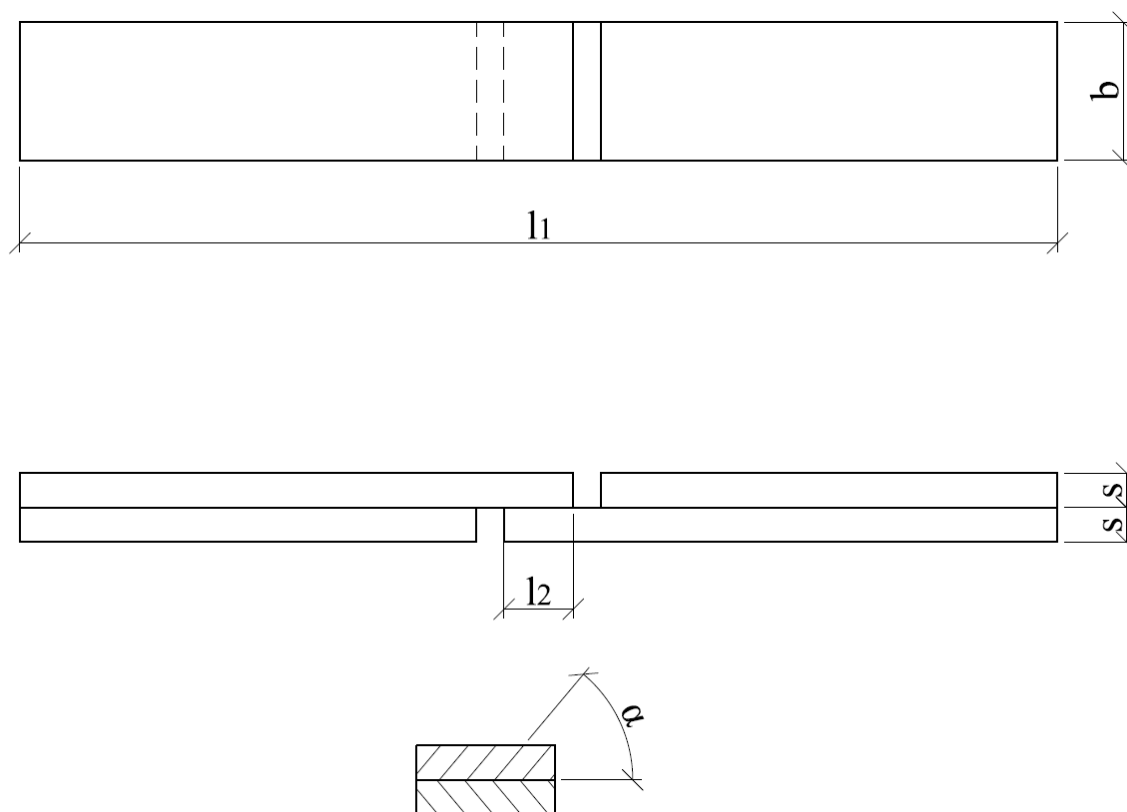
$T_{\text{stiskanja}} = 150^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$

$t_{\text{stiskanja}} = 10 \text{ minut}$

S temi podatki smo izračunali potrebne parametre za lepljenje, kot sta, nanos lepila na posamezno lamelo in tlak na stiskalnici. V tem primeru je bil nanos na lamelo 7,8 g in tlak stiskanja 97,5 bar. Lepljenje je potekalo v frekvenčnem območju 79 kHz in 30 MHz.

3.2.4 Preizkušanje strižne trdnosti lepilnih spojev

Po lepljenju smo lamele razžagali v strižne preizkušance po standardu EN 205. Preizkušanci so bili dolžine 150 mm in širine 20 mm. Na obeh straneh zažagamo utora. Razdalja med utoroma znaša 10 mm, površina med zažaganima utoroma pa služi kot strižna površina.



Slika 3: Shematski prikaz preizkušanca

Pred testiranjem preizkušance izpostavimo različnim klimatskim pogojem po standardu EN 12765, v katerem so duromerna lepila za nekonstrukcijsko uporabo kategorizirana v štiri trajnostne razrede (Preglednica 6).

Preglednica 6: Trajnostni razredi za nekonstrukcijska duromerna lepila

Trajnostni razred	Področje uporabe in primer klimatskih pogojev
C1	Notranja uporaba , kjer je ravnovesna vlažnost lesa $u_r < 15\%$.
C2	Notranja uporaba , z občasnimi kratkotrajnimi izpostavitvami kondenzirani vodi in/ali občasno visoki RZV, kjer je $u_r < 18\%$.
C3	Notranja uporaba , s pogostimi kratkotrajnimi izpostavitvami tekoči in kondenzirani vodi in/ali visoki RZV. Zunanja uporaba v pokritih prostorih.
C4	Notranja uporaba , s pogostimi dolgotrajnimi izpostavitvami tekoči ali kondenzirani vodi. Zunanja uporaba , kjer so izdelki izpostavljeni neposrednim vremenskim vplivom, so pa površinsko zaščiteni.

Načini in trajanje priprave preizkušancev ter zahteve trdnosti spojev za razvrstitev v trajnostne razrede so prav tako določene v tem standardu in prikazane v preglednici 7.

Preglednica 7: Načini priprave preskušancev in minimalne strižne trdnosti lepil za nekonstrukcijsko uporabo

Način priprave		Trdnost lepilnega spoja T (N/mm ²) Trajnostni razred			
Št.	Trajanje in pogoji	C1	C2	C3	C4
1	7 dni v standardni klimi*	≥10	≥10	≥10	≥10
2	7 dni v standardni klimi 1 dan v vodi (20±5)°C	-	≥7	≥7	≥7
3	7 dni v standardni klimi 3 ure v vodi (67±2)°C 2 ure v vodi (20±5)°C	-	-	≥4	-
4	7 dni v standardni klimi 3 ure v vreli vodi 2 ure v vodi (20±5)°C	-	-	-	≥4

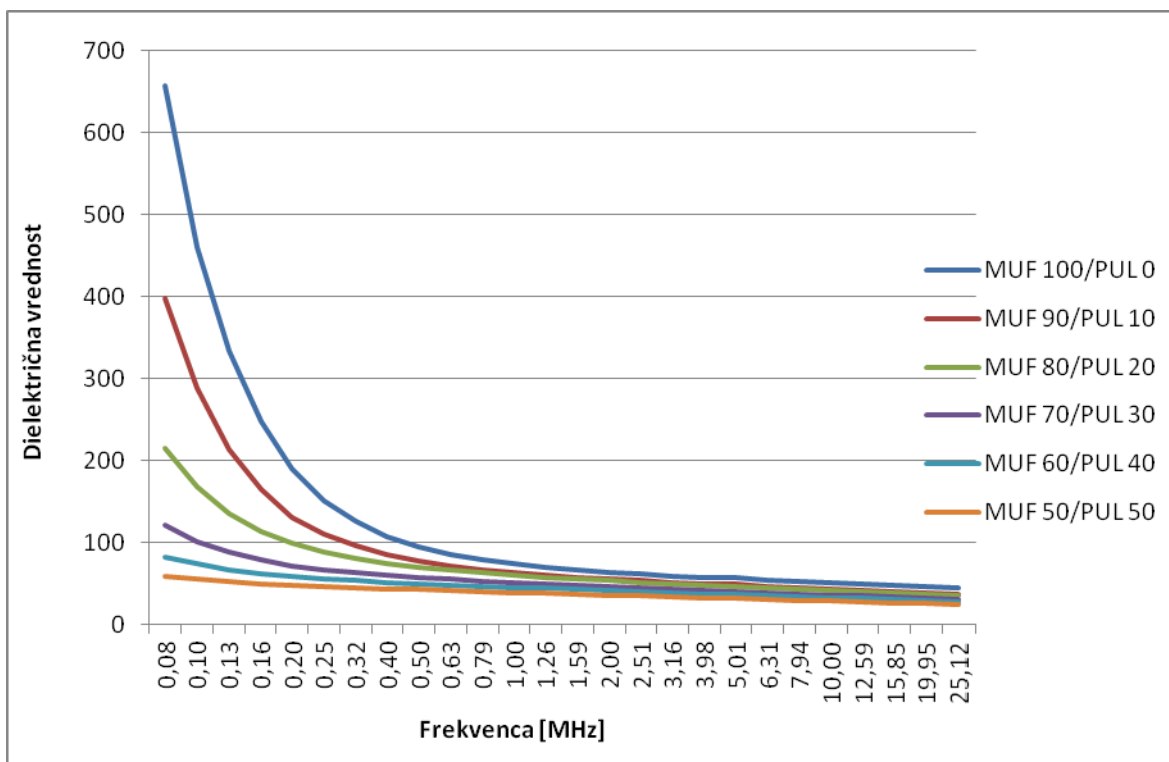
*Standardna klima RZV=65%, T= 20 ± 5°C

4 REZULTATI

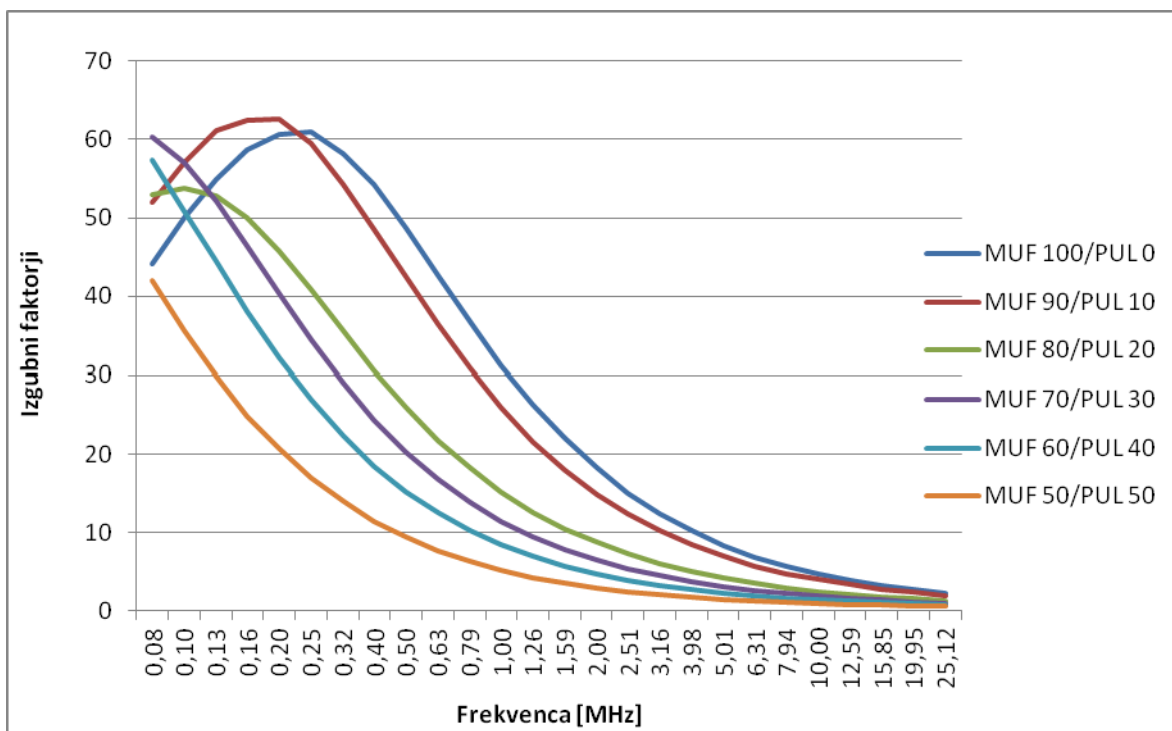
Rezultate meritev dielektričnih vrednosti in strižnih trdnosti smo s pomočjo programa Microsoft Excel uredili in grafično prikazali.

4.1 DIELEKTRIČNA VREDNOST IN FAKTOR IZGUB LEPILNIH MEŠANIC

V nadaljevanju so grafično prikazane povprečne dielektrične vrednosti ter faktorji izgub za posamezno lepilno mešanico. Lepilnim mešanicam smo pred lepljenjem izmerili dielektrične lastnosti, v frekvenčnem območju od 79 kHz do 30 MHz. Dielektrične vrednosti, v odvisnosti od frekvence, so prikazane na sliki 2, izgubni faktorji pa na sliki 3.



Slika 4: Povprečna dielektrična vrednost lepilnih mešanic v odvisnosti od frekvence



Slika 5: Povprečni izgubni faktor lepilnih mešanic v odvisnosti od frekvenca

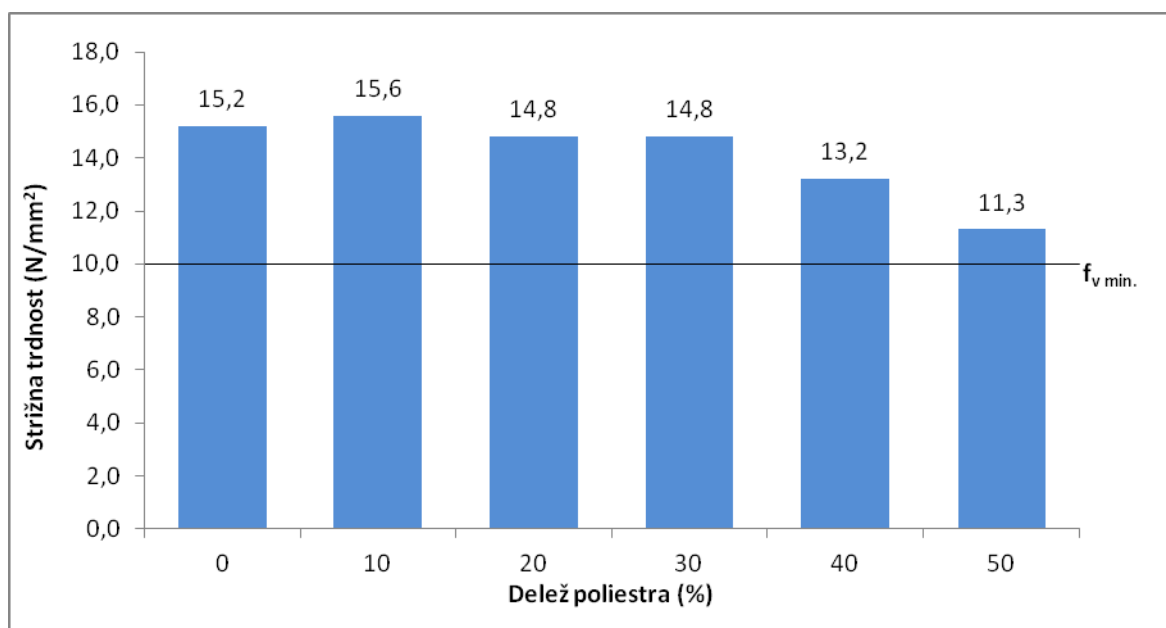
4.2 STRIŽNA TRDNOST LEPILNEGA SPOJA IN OCENA LOMA PO LESU

Vsi preizkušanci so bili po lepljenju najprej 7 dni izpostavljeni standardni klimi, nato pa smo jih testirali po zahtevah standarda EN 12765. Povprečne vrednosti, desetih meritev, strižnih trdnosti lepilnega spoja in ocene loma po lesu preizkušancev, ki so bili pripravljani po 1. načinu priprave, so prikazane v preglednici 8.

Preglednica 8: Strižna trdnost in ocena loma po lesu preizkušancev po načinu priprave št. 1

Lepilna mešanica	Delež poliestra (%)	f_v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
MUF-100/PUL-0	0	15,2	100
MUF-90/PUL-10	10	15,6	68
MUF-80/PUL-20	20	14,8	95
MUF-70/PUL-30	30	14,8	75
MUF-60/PUL-40	40	13,2	98
MUF-50/PUL-50	50	11,3	70

Po standardu EN 12765 morajo suhi preizkušanci dosegati strižne trdnosti višje od 10 N/mm², da lahko lepilno mešanico uvrstimo v trajnostni razred C1. Ugotovimo lahko, da so preizkušanci, zlepljeni z vsemi lepilnimi mešanici, in izpostavljeni suhim pogojem, dosegli in tudi preseglji to zahtevo. Pri lepilnih mešanicah, kjer je bil delež PUL 40 % ali več, je bil opazen trend zniževanja strižne trdnosti lepilnega spoja.

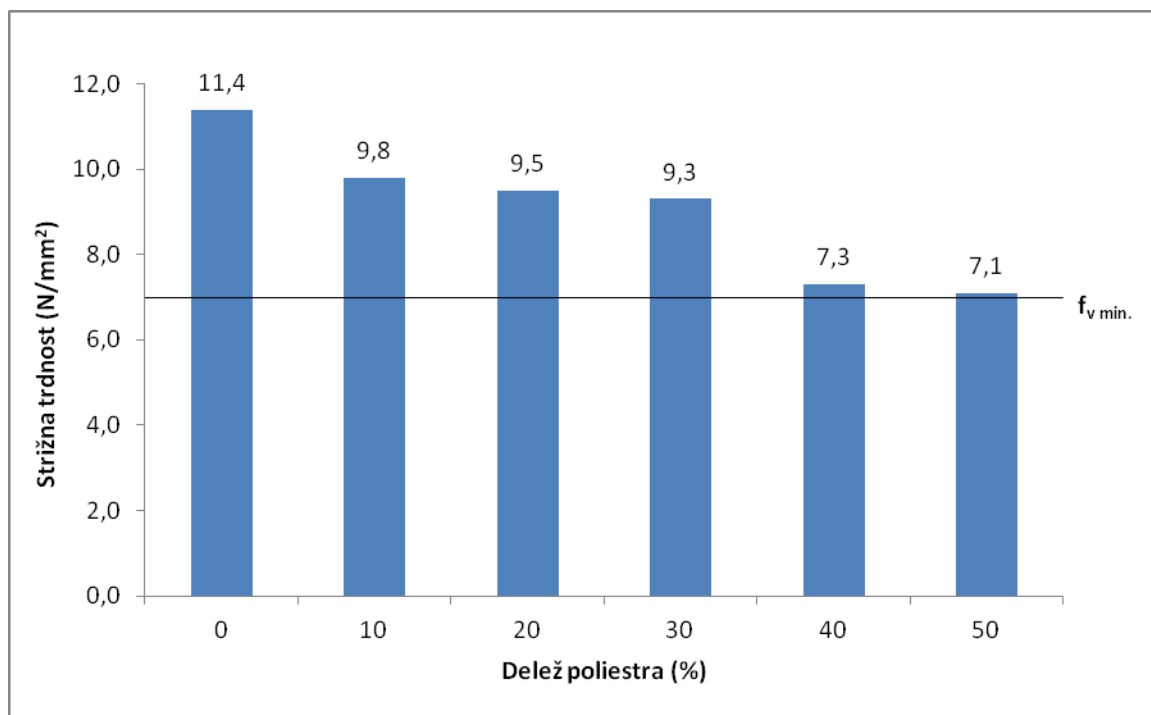


Slika 6: Strižna trdnost preizkušancev po načinu priprave št. 1 in minimalna meja strižne trdnosti

Preglednica 9: Strižna trdnost in ocena loma po lesu preizkušancev po načinu priprave št. 2

Lepilna mešanica	Delež poliestra (%)	f_v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
MUF-100/PUL-0	0	11,4	77
MUF-90/PUL-10	10	9,8	92
MUF-80/PUL-20	20	9,5	90
MUF-70/PUL-30	30	9,3	82
MUF-60/PUL-40	40	7,3	47
MUF-50/PUL-50	50	7,1	57

Preizkušance smo zlepili z istimi lepilnimi mešanici, le da so bili vzorci poleg tega, da so bili sedem dni izpostavljeni standardni klimi, en dan izpostavljeni tudi vodi s temperaturo (20 ± 5) °C. Preizkušanci, ki so zlepjeni samo z MUF lepilom, dosegajo trdnost nad 10 N/mm², preizkušanci zlepjeni z vsemi ostalimi mešanici pa nad 7 N/mm², kar pomeni, da lepilne mešanice dosegajo minimalne zahteve za razreda C1 in C2.

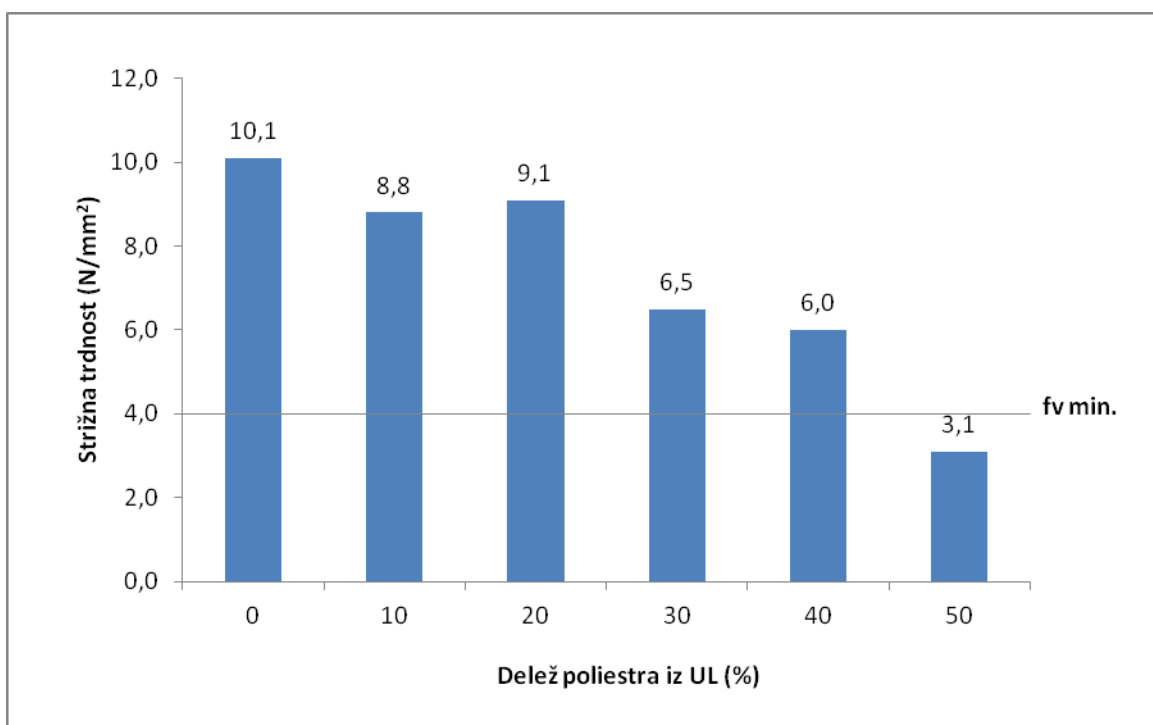


Slika 7: Strižna trdnost preizkušancev po načinu priprave št. 2 in minimalna meja strižne trdnosti

Preglednica 10: Strižna trdnost in ocena loma po lesu preizkušancev po načinu priprave št. 3

Lepilna mešanica	Delež poliestra (%)	f_v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
MUF-100/PUL-0	0	10,1	97
MUF-90/PUL-10	10	8,8	90
MUF-80/PUL-20	20	9,1	77
MUF-70/PUL-30	30	6,5	62
MUF-60/PUL-40	40	6,0	45
MUF-50/PUL-50	50	3,1	40

Preizkušanci so bili poleg standardne klime, 3 ure, izpostavljeni tudi kuhanju v vodi in sicer pri temperaturi (67 ± 2) °C ter ohlajanju v vodi s temperaturo (20 ± 5) °C. Iz preglednice 10 je razvidno, da preizkušanci, zlepljeni z vsemi lepilnimi mešanici, dosegajo trdnosti za razvrstitev v razrede C1, C2. Minimalna meja strižne trdnosti za uvrstitev v razred C3 je 4 N/mm², kar pa mešanica s 50 % PUL ne dosega.

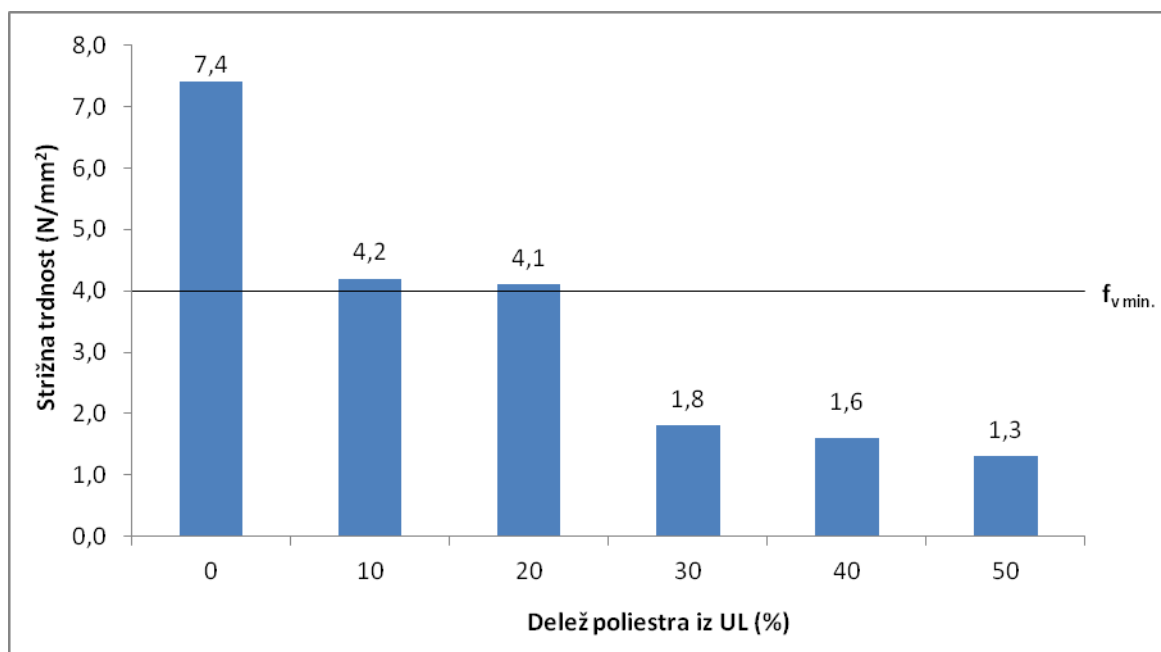


Slika 8: Strižna trdnost preizkušancev po načinu priprave št. 3 in minimalna meja strižne trdnosti

Preglednica 11: Strižna trdnost in ocena loma po lesu preizkušancev po načinu priprave št. 4

Lepilna mešanica	Delež poliestra (%)	f_v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
MUF-100/PUL-0	0	7,4	52
MUF-90/PUL-10	10	4,2	57
MUF-80/PUL-20	20	4,1	57
MUF-70/PUL-30	30	1,8	25
MUF-60/PUL-40	40	1,6	20
MUF-50/PUL-50	50	1,3	5

V tem načinu priprave so bili preizkušanci sedem dni izpostavljeni standardni klimi, prav tako pa so se tri ure kuhali v vreli vodi ter dve uri ohlajali v vodi pri temperaturi (20 ± 2) °C. Za uvrstitev v trajnostni razred C4, dosegajo zadostne trdnosti samo mešanice z 0 %, 10 % in 20 % dodatka PUL.



Slika 9: Strižna trdnost preizkušancev po načinu priprave št. 4 in minimalna meja strižne trdnosti

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

Namen raziskave je bil ugotoviti, kolikšen delež poliestra iz utekočinjenega lesa je mogoče dodati MUF lepilu, da le ta nima bistvenega vpliva na strižno trdnost lepilnega spoja.

V raziskavi smo s šestimi različnimi lepilnimi mešanici, ki so bile sestavljene iz MUF lepila z dodatki različnih deležev poliestra iz utekočinjenega lesa, zlepili bukove lamele. Te so bile predhodno nažagane na dimenzije (l x š x d), 300 mm x 130 mm x 5 mm ter uravnovešene v standardni klimi. Pred lepljenjem smo jih poskobljali. Sledilo je lepljenje, ki smo ga izvajali s pomočjo visokofrekvenčne stiskalnice, katera nam omogoča hitrejše čase stiskanja. Osnovnemu lepilu, ki je bilo Meldur H97 smo po recepturi dodali še potrebno količino moke ter amonformiata. Nato pa smo tej mešanici lepila dodajali različne deleže poliestra iz utekočinjenega lesa in sicer 0, 10, 20, 30, 40 in 50 odstotkov.

Lepilnim mešanici smo pred lepljenjem merili tudi dielektrične vrednosti, v odvisnosti od frekvence. Dielektrične vrednosti so bile pri nižjih frekvencah višje, ter so z naraščanjem frekvence upadale. Najvišje dielektrične vrednosti je imelo MUF lepilo brez dodanega poliestra iz utekočinjenega lesa, nato pa so vrednosti z dodajanjem višjih deležev poliestra začele upadati.

Faktorji izgub so pri MUF lepilu brez dodanega poliestra do frekvence 0,25 MHz naraščali, nato pa začeli upadati. To lahko opazimo tudi pri mešanici, kateri je bilo dodanega 10 % poliestra. Pri ostalih mešanicah povprečne vrednosti faktorja izgub upadajo, ter pri frekvenci 25 MHz dosežajo vrednosti nižje kot 2.

Po lepljenju lamel s pomočjo visoke frekvence, smo lamele razžagali v strižne preizkušance, kot to določa standard SIST EN 205. S pomočjo stroja za preizkušanje strižnih trdnosti smo vzorce posameznih lepilnih mešanic testirali ter jih glede na rezultate razvrstili v trajnostne razrede po standardu SIST EN 12765.

Preizkušance lahko po tem standardu razvrstimo v razrede od C1 do C4. V preglednici 6 so opisani posamezni trajnostni razredi, v preglednici 7 pa lahko razberemo minimalne predpisane vrednosti, ki jih morajo dosežati preizkušanci v posameznih razredih za vse štiri načine priprave preizkušancev.

V prvem načinu priprave standard SIST EN 12765 zahteva, da so preizkušanci po lepljenju 7 dni izpostavljeni standardni klimi in morajo dosežati strižne trdnosti vsaj 10 N/mm². Ugotovili smo, da v standardnih pogojih (RZV = 65 %, T= 20 ± 5°C) vse lepilne mešanice Zagotavljajo dovolj visoke trdnosti za uvrstitev v trajnostni razred C1.

V drugem načinu so bili preizkušanci poleg standardne klime, en dan izpostavljeni vodi, s temperaturo 20 ± 5 °C. V tem načinu priprave je predpisana trdnost vsaj 7 N/mm^2 , rezultati pa kažejo, da vse lepilne mešanice tudi v teh pogojih še zagotavljajo dovolj visoke trdnosti za uvrstitev v razreda C1 in C2.

V tretjem načinu priprave je predpisana trdnost vsaj 4 N/mm^2 . V tem primeru opazimo, da mešanica, kateri je bilo dodanega 50% PUL, več ne zagotavlja zadostne trdnosti za uvrstitev v trajnostni razred C3. Pri ostalih mešanicah pa so vrednosti močno presegle minimalno predpisano.

V četrtem načinu priprave so bili preizkušanci izpostavljeni vodi s temperaturo 100°C , tu pa se že močno opazi vpliv vode (hidroliza) na lepilne mešanice, predvsem tiste, katerim je dodan višji delež poliestra na osnovi utekočinjenega lesa. Predpisana je trdnost vsaj 4 N/mm^2 . Zadostno trdnost nudijo samo 3 mešanice z 0%, 10%, 20% dodanega PUL. Ostale tri dosegajo trdnosti pod 2 N/mm^2 , kar je krepko pod mejo. V trajnostni razred C4 lahko uvrstimo lepilne mešanice, kjer je bil dodatek PUL 20% ali manj. Slabše trdnostne lastnosti pri preizkušancih, ki so bili izpostavljeni vodi, lahko pripišemo poliestru iz utekočinjenega lesa, saj ta sam po sebi ne nudi vodoodpornih lepilnih spojev, medtem ko MUF lepilo to lastnost ima.

5.2 SKLEPI

Na osnovi rezultatov opravljene raziskave VF lepljenja lesa z mešanici poliestra iz UL in MUF lepila, smo ugotovili, da:

- Najvišje dielektrične vrednosti je dosegalo MUF lepilo brez dodanega PUL. S povečevanjem deleža PUL v lepilnih mešanicah pada njihova dielektrična vrednost.
- Z višanjem frekvence se dielektrične vrednosti lepilnih mešanic znižujejo.
- Najvišje strižne trdnosti so dosegli preizkušanci zlepljeni z MUF lepilom, z dodajanjem PUL pa so le te padale.
- Vse proučevane lepilne mešanice lahko uvrstimo v trajnostni razred C1 in C2. V trajnostni razred C3 lahko uvrstimo vse lepilne mešanice, razen tiste, ki vsebuje 50 % PUL, saj ta ne dosega minimalne predpisane strižne trdnosti. V trajnostni razred C4 pa lahko uvrstimo samo mešanice z 0 %, 10 %, 20 % PUL, ostale tri mešanice pa ne dosegajo minimalne strižne trdnosti, predpisane za ta trajnostni razred.
- Padanje strižnih trdnosti je še posebej izrazito pri preizkušancih, ki so bili pred testiranjem pripravljani po načinu št. 3 in št. 4, kjer so bili izpostavljeni vodi s temperaturo $67 \pm 2^\circ\text{C}$ oz. vreli vodi.

6 VIRI

- Čufar K. 2006. Anatomija lesa. Univerzitetni učbenik. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 142 str.
- Čuk N. 2008. Optimizacija utekočinjanja lesa različnih drevesnih vrst. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta Oddelek za lesarstvo: 65 str.
- EN 205. Lepila za les za nekonstrukcijsko uporabo – Ugotavljanje natezno strižne trdnosti spojev s preklopom. 2003: 13 str.
- EN 12765. Razvrstitev duromernih lepil za les za nekonstrukcijsko uporabo. 2002: 8 str.
- Kos J. 2013. Kakovost lepljenja z različnimi mešanicami utekočinjenega lesa in MUF lepila. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 57 str.
- Kunaver M., Jasiukaityte E. 2008. Utekočinjen les - nov način uporabe lesne biomase. Les 60, 1: 12 - 15
- Kunaver M., Jasiukaityte E., Čuk N., Guthrie T. J. 2009. Liquefaction of wood synthesis and characterization of liquefied wood polyester derivatives. Journal of Applied Polymer Science, 115, 3: 1265 - 1271.
<http://onlinelibrary.wiley.com/enhanced/doi/10.1002/app.31277/> (17.6.2015)
- Meldur H97. Tehnična dokumentacija. 2004
- Resnik J., Berčič S., Cikač B. 1995. Visokofrekvenčno segrevanje in lepljenje lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 109 str.
- Šernek M. 2012. Študijsko gradivo za predmet Lepila in Lepljenje lesa. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 118 str.
- Tišler V. 2002. Utekočinjen les in njegova uporaba. Les 54, 9: 281 – 284
- Ugovšek A., Šernek M. 2011. Kinetika in mehanizmi utekočinjanja lesa. Les 63, 11/12: 405-407
- Žakelj L. 2012. Vpliv časa stiskanja na trdnost lepilnega spoja iz utekočinjenega lesa. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 22 str.

ZAHVALA

Zahvaljujem se prof. dr. Milanu Šerneku za pomoč pri oblikovanju in nastajanju diplomskega projekta.

Zahvaljujem se tudi recenzentu viš. pred. mag. Bogdanu Šegi za pomoč pri opravljanju praktičnega dela diplomskega projekta ter recenzijo.

Zahvala gre tudi kemijskemu inštitutu in izr. prof. dr. Matjažu Kunaverju, ki je prispeval poliester iz utekočinjenega lesa in podjetju Melamin Kočevje d.d. za lepilo.

Hvala tudi družini za vzpodbudo in podporo v času študija.

PRILOGE:

Priloga A: Dielektrične vrednosti, faktor izgub in faktor intenzivnosti segrevanja – MUF
lepilo

MUF 100/PUL 0			
f [Mhz]	ϵ	$\tan\delta$	ϵ''
0,08	657,23	44,13	29006,26
0,10	460,71	50,02	23043,06
0,13	333,38	54,93	18312,86
0,16	248,51	58,59	14561,07
0,20	190,73	60,67	11570,81
0,25	150,87	60,96	9197,81
0,32	125,64	58,17	7308,12
0,40	107,07	54,27	5811,09
0,50	94,91	48,67	4619,14
0,63	85,97	42,72	3672,73
0,79	79,53	36,70	2919,23
1,00	74,47	31,18	2322,14
1,26	70,44	26,22	1846,71
1,59	66,89	21,97	1469,29
2,00	64,09	18,25	1169,66
2,51	62,13	14,99	931,61
3,16	59,61	12,45	742,45
3,98	57,73	10,26	592,23
5,01	56,77	8,32	472,34
6,31	54,90	6,88	377,51
7,94	53,17	5,68	302,15
10,00	51,43	4,71	242,33
12,59	49,79	3,91	194,84
15,85	48,20	3,26	157,08
19,95	46,56	2,73	126,98
25,12	44,93	2,30	103,18

Priloga B: Dielektrične vrednosti, faktor izgub in faktor intenzivnosti segrevanja – dodatek
10% PUL

MUF 90/PUL 10			
f [Mhz]	ϵ	$\tan\delta$	ϵ''
0,08	397,26	51,91	20621,02
0,10	287,81	56,97	16396,12
0,13	212,81	61,17	13018,05
0,16	165,94	62,40	10354,66
0,20	131,53	62,55	8227,21
0,25	110,00	59,45	6539,61
0,32	95,73	54,24	5192,06
0,40	85,06	48,50	4125,56
0,50	77,19	42,50	3280,49
0,63	71,66	36,39	2607,66
0,79	67,33	30,80	2073,79
1,00	63,67	25,91	1649,68
1,26	60,93	21,54	1312,47
1,59	58,11	17,98	1044,72
2,00	55,93	14,88	832,23
2,51	53,66	12,36	663,47
3,16	51,80	10,22	529,29
3,98	49,78	8,49	422,76
5,01	48,87	6,91	337,56
6,31	47,09	5,74	270,27
7,94	45,44	4,77	216,72
10,00	43,80	3,98	174,20
12,59	42,25	3,32	140,34
15,85	40,75	2,78	113,41
19,95	39,23	2,34	91,92
25,12	37,75	1,98	74,90

Priloga C: Dielektrične vrednosti, faktor izgub in faktor intenzivnosti segrevanja – dodatek
20% PUL

MUF 80/PUL 20			
f [Mhz]	ϵ	$\tan\delta$	ϵ''
0,08	214,92	52,93	11376,12
0,10	168,28	53,72	9040,47
0,13	136,18	52,80	7190,19
0,16	114,39	49,96	5715,26
0,20	99,21	45,81	4544,59
0,25	88,47	40,84	3613,58
0,32	80,69	35,63	2874,86
0,40	74,91	30,53	2286,98
0,50	70,20	25,93	1820,06
0,63	66,56	21,77	1449,08
0,79	63,40	18,20	1153,81
1,00	60,68	15,15	919,40
1,26	58,13	12,61	732,97
1,59	55,86	10,47	585,00
2,00	53,67	8,71	467,33
2,51	51,63	7,24	373,85
3,16	49,65	6,03	299,42
3,98	47,74	5,03	240,26
5,01	46,34	4,16	192,91
6,31	44,51	3,49	155,46
7,94	42,79	2,94	125,62
10,00	41,11	2,48	101,82
12,59	39,50	2,10	82,87
15,85	37,96	1,78	67,73
19,95	36,44	1,53	55,59
25,12	35,01	1,31	45,93

Priloga D: Dielektrične vrednosti, faktor izgub in faktor intenzivnosti segrevanja – dodatek
30% PUL

MUF 70/PUL 30			
f [Mhz]	ϵ	$\tan\delta$	ϵ''
0,08	120,90	60,30	7290,14
0,10	101,65	56,96	5790,50
0,13	88,29	52,11	4601,11
0,16	78,93	46,34	3657,75
0,20	72,03	40,37	2908,10
0,25	67,08	34,47	2311,81
0,32	63,18	29,10	1838,54
0,40	60,01	24,37	1462,51
0,50	57,52	20,23	1163,67
0,63	55,23	16,77	926,45
0,79	53,28	13,85	738,04
1,00	51,45	11,44	588,32
1,26	49,71	9,44	469,30
1,59	48,03	7,80	374,82
2,00	46,43	6,46	299,82
2,51	44,84	5,36	240,18
3,16	43,28	4,45	192,81
3,98	41,74	3,72	155,12
5,01	40,52	3,08	124,94
6,31	39,02	2,59	101,08
7,94	37,59	2,18	82,07
10,00	36,19	1,85	66,90
12,59	34,85	1,57	54,81
15,85	33,56	1,34	45,12
19,95	32,29	1,16	37,35
25,12	31,10	1,00	31,16

Priloga E: Dielektrične vrednosti, faktor izgub in faktor intenzivnosti segrevanja – dodatek
40% PUL

MUF 60/PUL 40			
f [Mhz]	ϵ	$\tan\delta$	ϵ''
0,08	82,96	57,28	4751,97
0,10	74,19	50,88	3775,15
0,13	67,47	44,47	3000,66
0,16	62,57	38,13	2385,59
0,20	58,99	32,16	1896,90
0,25	56,07	26,90	1508,34
0,32	53,82	22,29	1199,91
0,40	51,80	18,43	954,75
0,50	50,06	15,18	760,04
0,63	48,51	12,48	605,46
0,79	47,04	10,26	482,65
1,00	45,67	8,43	385,10
1,26	44,31	6,94	307,58
1,59	42,98	5,72	246,07
2,00	41,67	4,73	197,22
2,51	40,35	3,93	158,41
3,16	39,05	3,27	127,58
3,98	37,74	2,73	103,05
5,01	36,63	2,28	83,38
6,31	35,34	1,92	67,83
7,94	34,10	1,63	55,44
10,00	32,88	1,39	45,55
12,59	31,71	1,19	37,64
15,85	30,58	1,02	31,30
19,95	29,47	0,89	26,20
25,12	28,42	0,78	22,14

Priloga F: Dielektrične vrednosti, faktor izgub in faktor intenzivnosti segrevanja – dodatek
50% PUL

MUF 50/PUL 50			
f [Mhz]	ϵ	$\tan\delta$	ϵ''
0,08	59,39	41,91	2489,04
0,10	55,55	35,60	1977,55
0,13	52,47	29,96	1571,87
0,16	50,23	24,89	1250,01
0,20	48,15	20,65	994,43
0,25	46,57	16,99	791,13
0,32	45,11	13,97	629,90
0,40	43,81	11,45	501,69
0,50	42,64	9,38	399,87
0,63	41,49	7,69	319,08
0,79	40,42	6,31	254,88
1,00	39,33	5,19	203,92
1,26	38,24	4,27	163,46
1,59	37,13	3,54	131,33
2,00	36,04	2,94	105,83
2,51	34,92	2,45	85,55
3,16	33,81	2,05	69,43
3,98	32,70	1,73	56,58
5,01	31,70	1,46	46,23
6,31	30,63	1,24	38,06
7,94	29,60	1,06	31,52
10,00	28,59	0,92	26,29
12,59	27,62	0,80	22,09
15,85	26,70	0,70	18,73
19,95	25,79	0,62	16,01
25,12	24,93	0,56	13,85

Priloga G: Strižna trdnost in lom po lesu po načinu priprave št. 1

Dodatek 0% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
13	20,3	10,6	215	2870	13,3	100
14	20,3	10,6	215	3470	16,1	100
15	20,2	10,6	214	2440	11,4	100
16	20,3	10,7	217	3020	13,9	100
17	20,3	10,7	217	3230	14,8	100
18	20,3	10,7	217	3110	14,3	100
19	20,2	10,7	216	3890	18	100
20	20,2	10,5	212	3410	16,1	100
21	20,3	10,7	217	4210	19,4	100
22	20,3	10,7	217	3160	14,5	100
				Min.	11,4	100
				Maks.	19,4	100
				Povprečje	15,2	100
				St. odklon	2,3	0

Dodatek 10% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
13	20,2	10,7	216	2750	12,7	25
14	20,4	10,7	218	4030	18,5	75
17	20,1	10,6	213	3390	15,9	75
18	20,3	10,7	217	3920	18,1	75
19	20,3	10,7	217	3720	17,1	50
20	20,3	10,7	217	2940	13,5	25
21	20,2	10,7	216	3410	15,8	100
22	20,3	10,5	213	3250	15,2	75
23	20,2	10,4	210	3530	16,8	75
24	20,2	10,7	216	2680	12,4	100
				Min.	12,4	25
				Maks.	18,5	100,0
				Povprečje	15,6	67,5
				St. odklon	2,2	26,5

Dodatek 20% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
13	20	10,6	212	3140	14,8	75
14	20,2	10,6	214	2940	13,7	100
15	20,3	10,4	211	3190	15,1	100
16	20,2	10,6	214	3500	16,3	100
17	20,2	10,6	214	3040	14,2	100
18	20,2	10,7	216	3450	15,9	100
19	20,2	10,5	212	3140	14,8	100
22	20,3	10,6	215	3040	14,1	100
23	20,3	10,7	217	3500	16,1	100
24	20,2	10,6	214	2790	13	75
				Min.	13,0	75,0
				Maks.	16,3	100,0
				Povprečje	14,8	95,0
				St. odklon	1,08	10,5

Dodatek 30% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
13	20,3	10,6	215	2790	12,9	75
15	20,3	10,7	217	2600	12	75
17	20,4	10,7	218	3410	15,6	50
18	20,3	10,6	215	3150	14,7	75
19	20,2	10,5	212	2680	12,6	50
20	20,2	10,4	210	3410	16,2	75
21	20,3	10,6	215	3850	17,9	75
22	20,2	10,6	214	3580	16,7	75
23	20,1	10,6	213	3780	17,8	100
24	20,2	10,6	214	2530	11,8	100
				Min.	11,8	50
				Maks.	17,9	100
				Povprečje	14,8	75
				St. odklon	2,4	17

Dodatek 40% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
15	20,2	10,7	216	2920	13,5	100
16	20,2	10,7	216	2550	11,8	100
17	20,3	10,6	215	2440	11,3	100
18	20,3	10,6	215	2440	11,3	100
19	20,1	10,3	207	2830	13,7	100
20	20,2	10,5	212	2680	12,6	100
21	20,2	10,5	212	3390	16	100
22	20,3	10,6	215	2820	13,1	100
23	20,3	10,6	215	2840	13,2	75
24	20,3	10,5	213	3240	15,2	100
				Min.	11,3	75
				Maks.	16,0	100
				Povprečje	13,2	98
				St. odklon	1,6	8

Dodatek 50% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
13	20,3	10,6	215	2820	13,1	100
14	20,2	10,6	214	2310	10,8	100
15	20,3	10,6	215	3060	14,2	100
16	20,2	10,7	216	2590	12	50
18	20,2	10,6	214	2340	10,9	50
19	20,2	10,6	214	2280	10,7	50
20	20,2	10,6	214	2200	10,3	75
22	20,2	10,6	214	1980	9,25	75
23	20,2	10,6	214	2450	11,5	50
24	20,3	10,6	215	2210	10,3	50
				Min.	9,3	50
				Maks.	14,2	100
				Povprečje	11,3	70
				St. odklon	1,5	23

Priloga H: Strižna trdnost in ocena loma po lesu po načinu priprave št. 2

Dodatek 0% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
1	20,2	10,5	212	2180	10,3	50
2	20,1	10,6	213	2330	10,9	100
3	20,3	10,7	217	2670	12,3	75
5	20,3	10,6	215	2290	10,7	100
6	20,2	10,4	210	2630	12,5	100
7	20,1	10,4	209	2170	10,4	50
8	20,2	10,5	212	2700	12,7	75
10	20,2	10,4	210	2370	11,3	75
11	20,3	10,5	213	2820	13,2	75
12	20,3	10,5	213	2060	9,66	75
				Min.	9,7	50
				Maks.	13,2	100
				Povprečje	11,4	77,5
				St. odklon	1,2	18

Dodatek 10% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
1	20,1	10,8	217	2090	9,64	100
3	20,3	10,7	217	1590	7,31	100
4	20,3	10,7	217	2220	10,2	75
5	20,1	10,6	213	2470	11,6	100
6	20,3	10,7	217	2320	10,7	100
7	20,1	10,6	213	2530	11,9	75
8	20,3	10,6	215	2520	11,7	75
10	20,2	10,7	216	1760	8,15	100
11	20,2	10,6	214	1650	7,7	100
12	20,1	10,6	213	1990	9,35	100
				Min.	7,3	75
				Maks.	11,9	100
				Povprečje	9,8	92,5
				St. odklon	1,7	12

Dodatek 20% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
1	20,1	10,8	217	1940	8,96	75
2	20,2	10,6	214	1980	9,23	100
3	20,2	10,6	214	2640	12,3	100
4	20,2	10,7	216	1930	8,93	100
6	20,2	10,5	212	1860	8,76	75
7	20,2	10,7	216	1670	7,71	100
8	20,2	10,5	212	2380	11,2	100
10	20,2	10,7	216	2500	11,6	75
11	20,2	10,7	216	1880	8,7	100
12	20,3	10,8	219	1740	7,92	75
				Min.	7,7	75
				Maks.	12,3	100
				Povprečje	9,5	90,0
				St. odklon	1,6	13

Dodatek 30% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
2	20,2	10,6	214	1830	8,54	75
3	20,3	10,5	213	1560	7,33	75
4	20,2	10,6	214	1680	7,85	100
5	20,2	10,6	214	1560	7,3	50
6	20,3	10,7	217	2170	10	100
8	20,3	10,6	215	2100	9,77	75
9	20,3	10,7	217	2520	11,6	100
10	20,2	10,6	214	2550	11,9	75
11	20,2	10,6	214	2560	12	100
12	20,2	10,6	214	1480	6,89	75
				Min.	6,9	50
				Maks.	12,0	100
				Povprečje	9,3	82,5
				St. odklon	2,0	17

Dodatek 40% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
1	20,1	10,5	211	1370	6,47	50
3	20,2	10,4	210	1250	5,95	50
4	20,1	10,6	213	1790	8,42	75
6	20,2	10,7	216	1730	8,02	25
7	20,3	10,6	215	1910	8,89	50
8	20,2	10,6	214	1580	7,4	75
9	20,3	10,7	217	1230	5,64	25
10	20,1	10,6	213	1710	8,03	75
11	20,2	10,7	216	1620	7,5	25
12	20,1	10,6	213	1370	6,44	25
				Min.	5,6	25
				Maks.	8,9	75
				Povprečje	7,3	47,5
				St. odklon	1,1	22

Dodatek 50% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
1	20,2	10,6	214	1280	6	50
2	20,2	10,6	214	1440	6,73	75
4	20,2	10,7	216	1680	7,77	50
5	20,2	10,7	216	1740	8,06	75
6	20,3	10,6	215	1130	5,24	25
7	20,3	10,6	215	1820	8,44	75
8	20,3	10,7	217	1200	5,51	50
9	20,3	10,6	215	1650	7,68	50
11	20,2	10,6	214	1580	7,39	50
12	20,1	10,6	213	1800	8,43	75
				Min.	5,2	25
				Maks.	8,4	75
				Povprečje	7,1	57,5
				St. odklon	1,2	17

Priloga I: Strižna trdnost in ocena loma po lesu po načinu

Dodatek 0% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
25	20,2	10,7	216	2470	11,4	100
26	20,3	10,5	213	2190	10,3	100
27	20,3	10,8	219	1990	9,08	100
28	20,2	10,3	208	1670	8	100
29	20,2	10,5	212	2210	10,4	100
30	20,2	10,8	218	2460	11,3	100
31	20,3	10,6	215	2110	9,81	75
32	20,2	10,7	216	2230	10,3	100
33	20,3	10,5	213	1970	9,25	100
35	20,3	10,7	217	2380	11	100
				Min.	8,0	75
				Maks.	11,4	100
				Povprečje	10,1	97,5
				St. odklon	1,1	8

Dodatek 10% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
25	20,2	10,7	216	1660	7,67	100
27	20,2	10,7	216	1820	8,42	100
28	20,2	10,7	216	2350	10,9	100
30	20,1	10,7	215	1910	8,87	100
31	20,2	10,6	214	1710	7,98	100
32	20,3	10,7	217	2150	9,9	75
33	20,3	10,7	217	1440	6,61	100
34	20,2	10,5	212	1930	9,1	75
35	20,3	10,7	217	2270	10,4	100
36	20,2	10,6	214	1840	8,59	50
				Min.	6,6	50
				Maks.	10,9	100
				Povprečje	8,8	90,0
				St. odklon	1,3	17

Dodatek 20% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
25	20,2	10,5	212	1430	6,76	100
26	20,2	10,7	216	2180	10,1	75
27	20,2	10,6	214	2320	10,9	100
30	20,2	10,5	212	1730	8,15	100
31	20,2	10,7	216	2540	11,7	75
32	20,3	10,7	217	1970	9,08	100
33	20,2	10,8	218	1680	7,7	50
34	20,2	10,9	220	2140	9,7	50
35	20,2	10,4	210	1750	8,32	50
36	20,2	10,3	208	1720	8,25	75
				Min.	6,8	50
				Maks.	11,7	100
				Povprečje	9,1	77,5
				St. odklon	1,5	22

Dodatek 30% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
25	20,2	10,8	218	976	4,47	50
26	20,3	10,7	217	855	3,93	100
27	20,1	10,7	215	1580	7,33	50
28	20,3	10,8	219	1870	8,51	50
30	20,2	10,7	216	1690	7,81	50
32	20,2	10,5	212	1020	4,79	50
33	20,2	10,5	212	1300	6,11	75
34	20,1	10,6	213	1960	9,22	50
35	20,1	10,6	213	1350	6,35	75
36	20,2	10,5	212	1330	6,27	75
				Min.	3,9	50
				Maks.	9,2	100
				Povprečje	6,5	62,5
				St. odklon	1,8	18

Dodatek 40% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
25	20,2	10,8	218	1220	5,61	25
26	20,2	10,8	218	1160	5,3	25
27	20,2	10,9	220	1440	6,52	75
28	20,2	10,7	216	1230	5,69	25
29	20,3	10,8	219	1230	5,59	50
30	20,2	10,7	216	1600	7,38	50
32	20,3	10,5	213	1630	7,65	50
33	20,2	10,6	214	1040	4,88	50
35	20,2	10,7	216	768	3,55	50
36	20,2	10,8	218	1760	8,05	50
				Min.	3,6	25
				Maks.	8,1	75
				Povprečje	6,0	45,0
				St. odklon	1,4	16

Dodatek 50% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
25	20,2	10,6	214	599	2,8	50
26	20,2	10,7	216	585	2,71	50
27	20,3	10,7	217	306	1,41	50
28	20,3	10,6	215	353	1,64	50
29	20,1	10,6	213	1120	5,24	50
30	20,1	10,7	215	554	2,58	25
31	20,2	10,3	208	970	4,66	50
32	20,2	10,7	216	825	3,82	25
34	20,2	10,7	216	503	2,33	25
35	20,2	10,6	214	877	4,09	25
				Min.	1,4	25
				Maks.	5,2	50
				Povprečje	3,1	40,0
				St. odklon	1,3	13

Priloga J: Strižna trdnost in ocena loma po lesu po načinu priprave št. 4

Dodatek 0% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
38	20,2	11	222	1460	6,56	25
39	20,3	10,6	215	1110	5,14	25
40	20,2	10,5	212	1940	9,15	50
41	20,2	10,8	218	1710	7,86	25
42	20,2	10,5	212	1000	4,73	25
43	20,2	10,5	212	1550	7,32	50
45	20,3	10,3	209	1550	7,43	75
46	20,2	10,9	220	2040	9,26	75
47	20,2	10,8	218	2060	9,45	100
48	20,2	10,6	214	1450	6,79	75
				Min.	4,7	25
				Maks.	9,5	100
				Povprečje	7,4	52,5
				St. odklon	1,6	28

Dodatek 10% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
37	20,3	10,6	215	383	1,78	50
39	20,3	10,5	213	1210	5,68	75
40	20,3	10,8	219	2090	9,52	50
41	20,3	10,7	217	1040	4,77	75
42	20,2	10,7	216	79,2	0,366	50
43	20,3	10,7	217	1240	5,71	75
44	20,1	10,5	211	700	3,32	50
45	20,2	10,7	216	778	3,6	50
46	20,2	10,7	216	1070	4,95	50
47	20,2	10,7	216	405	1,87	50
				Min.	0,4	50
				Maks.	9,5	75
				Povprečje	4,2	57,5
				St. odklon	2,6	12

Dodatek 20% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
37	20,1	10,7	215	742	3,45	50
	20,3	10,6	215	1050	4,86	50
40	20,1	10,6	213	607	2,85	75
41	20,3	10,6	215	877	4,07	50
42	20,1	10,8	217	520	2,4	75
43	20,3	10,8	219	941	4,29	50
44	20,3	10,7	217	1160	5,32	75
45	20,3	10,6	215	875	4,07	50
47	20,3	10,8	219	1100	5,04	50
48	20,2	10,5	212	950	4,48	50
				Min.	2,4	50
				Maks.	5,3	75
				Povprečje	4,1	57,5
				St. odklon	0,9	12

Dodatek 30% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
37	20,3	10,8	219	788	3,59	50
38	20	10,4	208	625	3	50
39	20,2	10,6	214	441	2,06	50
40	20,3	10,6	214	626	2,92	25
41	20,3	10,6	215	0	0	0
42	20,2	10,6	214	138	0,645	25
43	20,2	10,7	216	191	0,882	25
44	20,2	10,6	-	0	0	0
45	20,3	10,7	217	0	0	0
47	20,1	10,7	215	1060	4,92	25
				Min.	0,0	0
				Maks.	4,9	50
				Povprečje	1,8	25,0
				St. odklon	1,8	20

Dodatek 40% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
37	20,3	10,6	215	630	2,93	25
40	20,2	10,7	216	609	2,82	25
41	20,2	10,5	-	0	0	0
42	20,2	10,5	212	136	0,641	25
43	20,3	10,8	219	150	0,684	25
44	20,3	10,8	-	0	0	0
45	20,3	10,4	211	976	4,62	25
46	20,3	10,6	215	360	1,67	25
47	20,3	10,6	215	287	1,33	25
48	20,3	10,5	213	173	0,811	25
				Min.	0,0	0
				Maks.	4,6	25
				Povprečje	1,6	20,0
				St. odklon	1,5	11

Dodatek 50% PUL	b	l	A	F _{maks.}	f _v	Lom po lesu
Št. preizkušanca	mm	mm	mm ²	N	N/mm ²	%
38	20,3	10,6	215	715	3,32	25
40	20,3	10,7	-	0	0	0
41	20,3	10,7	-	0	0	0
42	20,2	10,8	218	454	2,08	0
43	20,3	10,8	-	0	0	0
44	20,3	10,8	219	537	2,45	0
45	20,3	10,4	211	0	0	0
46	20,2	10,6	214	771	3,6	25
47	20,3	10,6	215	305	1,42	0
48	20,3	10,6	-	0	0	0
				Min.	0,0	0
				Maks.	3,6	25
				Povprečje	1,3	5,0
				St. odklon	1,5	11

