

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Rok VEBERIČ

**UPORABA VISOKOFREKVENČNE TEHNOLOGIJE ZA LEPLJENJE
FURNIRNIH VEZANIH PLOŠČ Z MEŠANICAMI UTEKOČINJENEGA
LESA IN MUF LEPILA**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**THE USE OF HIGH-FREQUENCY TECHNOLOGY FOR BONDING
VENEER PLYWOOD WITH MIXTURES OF LIQUEFIED WOOD AND
MUF ADHESIVE**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2015

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

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Milana Šerneka, za somentorja viš. pred. mag. Bogdana Šego za recenzenta pa izr. prof. dr. Sergeja Medveda.

Mentor: prof. dr. Milan Šernek

Somentor: viš. pred. mag. Bogdan Šega

Recenzent: izr. prof. dr. Sergej Medved

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Podpisani/podpisana izjavljam, da je naloga rezultat lastnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Rok VEBERIČ

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 630*832.281
KG	furnirne plošče/lepljenje/melamin-urea-formaldehid/utekočinjen les/visokofrekvenčna tehnologija
AV	VEBERIČ, Rok
SA	ŠERNEK, Milan (mentor)/ŠEGA, Bogdan (somentor)/MEDVED, Sergej (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2014
IN	UPORABA VISOKOFREKVENČNE TEHNOLOGIJE ZA LEPLJENJE FURNIRNIH VEZANIH PLOŠČ Z MEŠANICAMI UTEKOČINJENEGA LESA IN MUF LEPILA
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	IX, 43 str., 12 pregl., 31 sl., 46 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Proučevali smo mehanske in fizikalne lastnosti furnirnih bukovih vezanih plošč, ki so bile z visokofrekvenčno tehnologijo (VF) zlepljene z različnimi mešanicami melamin-urea-formaldehidnega (MUF) lepila in utekočinjenega lesa (UL). Iskali smo primerno mešanico MUF in UL, ki še ustreza standardu SIST EN 314-2:1996, kjer mora strižna trdnost spoja za izpolnjevanje zahtev dosegati večjo ali enako vrednost 1 N/mm ² . Pripravili smo 5 lepilnih mešanic z različnim deležem UL in MUF lepila. Uporabili smo razmerja: 100MUF+0UL, 90MUF+10UL, 80MUF+20UL, 70MUF+30UL in 60MUF+40UL. Iz pripravljenih 3-slojnih furnirnih vezanih plošč dimenzij 500 mm x 500 mm x 4,8 mm smo izžagali preskušance za ugotavljanje strižne trdnosti lepilnega spoja, upogibne trdnosti in modula elastičnosti ter za določitev gostote in vlažnosti zlepljenih plošč. Zahtevam standarda SIST EN 314-2 za uporabo v vlažnih in zunanjih pogojih so ustrezale plošče zlepljene z mešanicami 100MUF+0UL, 90MUF+10UL in MUF80+UL20, torej z majhnim deležem UL (do 20 delov). Za lepljenje furnirnih plošč za uporabo v suhih pogojih pa so ustrezala vsa uporabljena razmerja med MUF in UL.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs
DC UDC 630*832.281
CX veneer plywood/gluing/melamine-urea-formaldehyde/liquefied wood/high-frequency technology
AU VEBERIČ, Rok
AA ŠERNEK, Milan (supervisor)/ŠEGA, Bogdan (co-supervisor)/MEDVED, Sergej (reviewer)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2014
TI THE USE OF HIGH-FREQUENCY TECHNOLOGY FOR BONDING VENEER PLYWOOD WITH MIXTURES OF LIQUEFIED WOOD AND MUF ADHESIVE
DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO IX, 43 p., 12 tab., 31 fig., 46 ref.
LA sl
AL sl/en
AB The focus of research was to determine the mechanical and physical properties of beech veneer panels of plywood, bound together with a melamine-urea-formaldehyde (MUF) resin. The adhesive mixture was infused with various proportions of liquefied wood (LW) and the primed sheets were pressed by means of high-frequency technology (HF). The main objective was to determine the most appropriate mix between MUF and liquefied wood that still corresponds to the standard SIST EN 314-2: 1996, where the shear strength of the joint to meet the requirements to achieve greater or equal to the value of 1 N/mm^2 . The research began with a so-called pre-test on a number of bound 3-layered veneer plywood panels. The pre-test was applied to determine the optimum pressing parameters. The main study featured the preparation of 5 adhesive mixtures with varying ratios between the MUF adhesive and liquefied wood (LW). The effects of following ratios were observed: 100MUF+0LW, 90MUF+10LW, 80MUF+20LW, 70MUF+30LW and 60MUF+40LW. The primed 3-layered veneer plywood panels (500 mm x 500 mm x 4.8 mm), were applied as surfaces from which test samples were cut. SIST EN 314-2 for use in humid and external conditions corresponded to panel adhesive mixtures 100MUF+0LW, 90MUF+10LW and 80MUF+20LW; therefore, with a small percentage LW (up to 20 parts). For use in dry conditions corresponds to any relationship between the MUF and LW.

KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJA (KDI)	III
KEY WORDS DOCUMENTATION (KDW)	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VIII
KAZALO SLIK	IX
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2 CILJ	1
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 LES IN ZGRADBA LESA	2
2.1.1 Celuloza	2
2.1.2 Polioze (hemiceluloze).....	3
2.1.3 Lignin.....	3
2.1.4 Ekstraktivne snovi.....	4
2.1.5 Bukev (<i>Fagus sylvatica</i> L.)	4
2.2 UTEKOČINJEN LES.....	4
2.2.1 Postopki utekočinjanja lesa	5
2.2.2 Mehanizem utekočinjanja lesa.....	5
2.2.3 Uporaba UL	6
2.2.3.1 Fenol-formaldehidne smole	6
2.2.3.2 Epoksi smole.....	6
2.2.3.3 Poliuretanske pene	6
2.2.3.4 Lepila	6
2.3 MELAMIN-UREA FORMALDEHIDNA LEPILA	7
2.3.1 Kemizem MUF lepila.....	7
2.3.2 Lastnosti MUF lepil	8
2.4 FURNIRNE VEZANE PLOŠČE	8
2.4.1 Izdelava furnirnih vezanih plošč.....	8
2.4.2 Uporaba furnirnih vezanih plošč.....	9

2.4.3	Lastnosti furnirnih vezanih plošč.....	9
2.5	VISOKOFREKVENČNO SEGREVANJE IN LEPLJENJE LESA.....	9
2.5.1	VF segrevanje in lepljenje.....	9
3	MATERIALI IN METODE	12
3.1	MATERIALI.....	12
3.1.1	Furnir	12
3.1.2	Lepilna mešanica	12
3.1.3	Melamin-urea-formaldehidno lepilo	12
3.1.4	Utekočinjen les	12
3.2	METODE.....	13
3.2.1	Priprava lepilne mešanice.....	13
3.2.2	Sestava furnirnih vezanih plošč	13
3.2.3	Nanos lepila in lepljenje v VF stiskalnici.....	14
3.2.4	Izdelava preskušancev.....	15
3.2.5	Ugotavljanje fizikalnih in mehanskih lastnosti plošč.....	19
3.2.5.1	Preskus kakovosti zlepljenosti	19
3.2.5.2	Ugotavljanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti	23
3.2.5.3	Ugotavljanje vlažnosti in gostote furnirnih vezanih plošč	25
4	REZULTATI IN RAZPRAVA.....	27
4.1	MEHANSKE IN FIZIKALNE LASTNOSTI.....	27
4.1.1	Rast temperature v lepilnem spoju.....	27
4.1.2	Strižna trdnost lepilnih spojev	27
4.1.2.1	Strižna trdnost lepilnih spojev za uporabo v suhih pogojih (razred zleplj. 1)	27
4.1.2.2	Strižna trdnost lepilnih spojev za uporabo v vlažnih pogojih (razred zleplj. 2)	29
4.1.2.3	Strižna trdnost lepilnih spojev za uporabo v zunanjih pogojih (razred zleplj. 3).....	30
4.1.2.4	Primerjava strižnih trdnosti lepilnega spoja pri vseh razredih zlepljenosti	32
4.1.3	Modul elastičnosti in upogibna trdnost plošč	33
4.1.4	Gostota in vlažnost zlepljenih furnirnih vezanih plošč	34
5	RAZPRAVA IN SKLEPI.....	35
5.1	RAZPRAVA	35
5.1.1	Mehanske lastnosti.....	35
5.1.2	Fizikalne lastnosti	36
5.2	SKLEPI.....	36
6	POVZETEK.....	38

7	VIRI	40
	ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Kemična sestava bukve (<i>Fagus sylvatica</i> L.)(Wagenführ, 1996).....	4
Preglednica 2: Specifikacije in pogoji utrjevanja MUF lepila, MELDUR H97	12
Preglednica 3: Različne kombinacije MUF lepila in UL, ki smo jih uporabili za lepljenje furnirnih vezanih plošč	13
Preglednica 4: Dimenzije preskušancev za posamezno testiranje	15
Preglednica 5: Označevanje preskušancev	17
Preglednica 6: Lepilne mešanice	17
Preglednica 7: Načini priprave preskušancev za ugotavljanje kakovosti zlepljenosti za fur. vezane plošče namenjene za uporabo v suhih, vlažnih in zunanjih pogojih. ...	19
Preglednica 8: Strižna trdnost lepilnih spojev in delež loma po lesu preskušancev za uporabo v suhih pogojih.....	28
Preglednica 9: Strižna trdnost lepilnih spojev in delež loma po lesu preskušancev za uporabo v vlažnih pogojih.....	29
Preglednica 10: Strižna trdnost lepilnih spojev in delež loma po lesu preskušancev za uporabo v zunanjih pogojih.....	31
Preglednica 11: Izračunane vrednosti modula elastičnosti in upogibne trdnosti plošč	33
Preglednica 12: Izračunane vrednosti za gostoto in vlažnost zlepljenih furn. vezanih plošč ...	34

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Kemična zgr. celuloze; molekuli glukoze povezani z vezjo β -1,4 (Celuloza, 2014)	2
Slika 2: Struktura lignina (Lignin, 2014).....	3
Slika 3: UL (Kržan in Kunaver, 2006)	5
Slika 4: Načini zlaganja furnirja za troslojno furnirno vezano ploščo (Nikolić, 1988)	8
Slika 5: Prikaz VF segrevanja lesa	10
Slika 6: Utekočinjen les	13
Slika 7: Primer VF stiskalnice pred pričetkom stiskanja večslojne furnirne vezane plošče	15
Slika 8: Preskušanelec iz troslojne bukove furnirne vezane plošče za ugotavljanje strižne trdnosti lepilnega spoja	16
Slika 9: Preskušanelec iz troslojne bukove furnirne vezane plošče za ugotavljanje gostote	16
Slika 10: Podrobnejši prikaz izdelave preskušanca za ugotavljanje kakovosti zlepljenosti.....	17
Slika 11: Načrt razžagovanja vzorčnih plošč z oznakami položajev posameznih strižnih preskušancev	18
Slika 12: Preskušanelec z oznako	18
Slika 13: Trgalni stroj Zwick / Roell Z005 za ugotavljanje strižne trdnosti lepilnih spojev	20
Slika 14: V čeljusti vpet preskušanelec na trgalnem stroju Zwick / Roell Z005.....	20
Slika 15: Klimatiziranje preskušancev v komori pri normalnih pogojih, $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, RZV = 65 % (relativna zračna vlaga)	21
Slika 16: Razpadli preskušanci pri kuhanju v vreli vodi	22
Slika 17: Programska oprema »testXpert II«, ki podpira testirni stroj.....	22
Slika 18: Ocena loma lepilnega spoja po opravljenem strižnem preskusu.....	23
Slika 19: Ugotavljanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti na trgalnem stroju Zwick Z100.....	23
Slika 20: 3-točkovni test za ugotavljanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti (SIST EN 310).....	24
Slika 21: Preskušanelec za ugotavljanje vlažnosti in gostote (SIST EN 322, SIST EN 323)	25
Slika 22: Prikaz porasta temperature v lepilnem spoju v odvisnosti od časa stiskanja	27
Slika 23: Strižna trdnost lepilnega spoja preskušancev za uporabo v suhih pogojih	28
Slika 24: Delež loma po lesu preskušancev za uporabo v suhih pogojih	29
Slika 25: Strižna trdnost lepilnega spoja preskušancev za uporabo v vlažnih pogojih	30
Slika 26: Delež loma po lesu preskušancev za uporabo v vlažnih pogojih	30
Slika 27: Strižna trdnost lepilnega spoja preskušancev za uporabo v zunanjih pogojih	31
Slika 28: Delež loma po lesu preskušancev za uporabo v zunanjih pogojih	32
Slika 29: Primerjava strižnih trdnosti lepilnega spoja furnirnih vezanih plošč za vse izpostavitvene pogoje uporabe glede na lepilno mešanico	32
Slika 30: Modul elastičnosti preskušancev lepljenih z različnimi lepilnimi mešanicami	33
Slika 31: Prikaz povprečnih vrednosti upogibne trdnosti plošč pri različnih lep. mešanicah ..	34

1 UVOD

Danes so lesni kompoziti zelo razširjeni, predvsem razne plošče, kot so opažne plošče, vezane plošče, iverne plošče, vlaknene plošče in druge plošče. Za sestavo vseh teh plošč se uporabijo velike količine sintetičnih lepil različnih sestav in dodatkov. Najpogostejše sestavine lepil so polimeri melamina, fenola, rezorcinola, uree in formaldehida. Poleg polimerov so v sestavi lepila še organske hlapljive snovi in toksične komponente. Ena izmed takšnih je tudi utekočinjen les (UL), katerega smo uporabili pri visokofrekvenčnem (VF) lepljenju vezanih plošč v naši raziskavi.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

UL bi lahko nadomestil del osnovnega lepila v lepilni mešanici. Ne bi ga v celoti zamenjal, bi ga pa zmanjšal za določen odstotek. Ta odstotek oziroma primerno mešanico bi iskali ob predpostavki, da dosežemo primerne parametre lepljenja ter ustrezne lastnosti lepilnega spoja. Pri vsem tem pa moramo predvsem zagotoviti zadostno trajnost in kakovost lepilnega spoja glede na zahteve standardov.

1.2 CILJ

Cilj diplomskega dela je uporabiti različne deleže utekočinjenega lesa v lepilni mešanici z melamin-urea-formaldehidnim (MUF) lepilom, zlepiti več vrst furnirnih vezanih plošč z VF tehnologijo in ugotoviti njihove mehanske in fizikalne lastnosti. Na osnovi rezultatov bomo identificirali primerno razmerje med MUF lepilom in UL v lepilni mešanici za VF lepljenje furnirnih plošč.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Predpostavljamo, da je pri večjem deležu UL v MUF lepilu majhna verjetnost, da bo tako pripravljena mešanica zadostovala zahtevam standarda, medtem ko bo pri manjšem deležu lepilni spoj dovolj kvaliteten in trajen, da bo zadostil zahtevam standarda. Potrebno je poiskati optimalno temperaturo in čas stiskanja, ki zagotavljata ustrezno trdnost lepilnega spoja.

2 PREGLED OBJAV

2.1 LES IN ZGRADBA LESA

Les je organski material, sestavljen iz celuloznih vlaken. V procesu sekundarne rasti, proizvaja kambij sekundarni ksilem v smeri stržena. Les je uporaben v več primerih, je obnovljiv, biološko razgradljiv, ima visoko trdnost v primerjavi z njegovo gostoto, lahko se ga predeluje in obdeluje. Vse te lastnosti so prednosti lesa glede na druge materiale.

Les je zgrajen iz naslednjih kemijskih elementov:

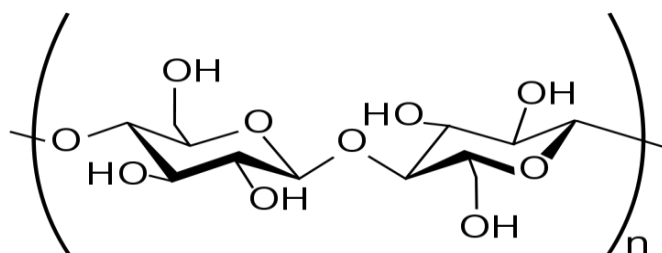
- Ogljik (C) 50 %,
- Vodik (H) 6 %,
- Kisik (O) 44 %,
- Dušik (N), kalij (K), kalcij (Ca), železo (Fe), ter druge –teh je skupaj manj kot 1 %.

Les vsebuje naravne polimerne materiale kot so celuloza, hemiceluloze, lignin, pektine, tanine in razna eterična olja, smole, alkaloide, pepel ter barvila (Les, 2014).

2.1.1 Celuloza

Celuloza je najbolj razširjen naravni polimer. Je organska molekula, ki spada med strukturne polisaharide. Sestavljena je iz molekul D-glukoze, ki so med seboj povezane z β -1-4-glikozidno vezjo (Slika 1). Takšen način vezave daje celulozi vlaknasto strukturo, ki je izredno kompaktna, kar je tudi posledica vodikovih vezi, ki se tvorijo med OH-skupinami vzporednih verig in tvorijo linearno strukturo (Celuloza, 2014).

Celuloza ima obliko vlaken, je netopna v vodi in v večini organskih topil, v močnih kislinah pa se polimer razgradi. Med te kisline spada 85 % fosforjeva (V) kislina, 72 % žveplova (VI) kislina, 41 % klorovodikova kislina (Fengel in Wegener, 1984; Tišler, 2002).



Slika 1: Kemična zgradba celuloze; molekuli glukoze povezani z vezjo β -1,4 (Celuloza, 2014)

2.1.2 Polioze (hemiceluloze)

Polioze so od celuloze različne po sestavi različnih saharidnih enot, veliko krajših molekulskih verigah in po razvejanosti le teh. Pentoze, heksoze, heksuronske kisline in deoksiheksoze so skupina sladkorjev, ki sestavljajo polioze. Najpomembnejše izmed teh so pentoze β -D-ksiloza, heksoze β -D-glukoza ter β -D-manoza in heksuronske kisline β -D-glukuronska kislina (Hemiceluloza, 2014).

Glavna veriga polioz je sestavljena iz ksilanov, ki so zgrajeni iz zaporedno povezanih ksiloznih enot, torej iz ene vrste sladkorjev. V primeru, da so povezani iz dveh ali več vrst sladkorjev, jih imenujemo heteropolimeri (primer glukomananov iz glukoze in manoze).

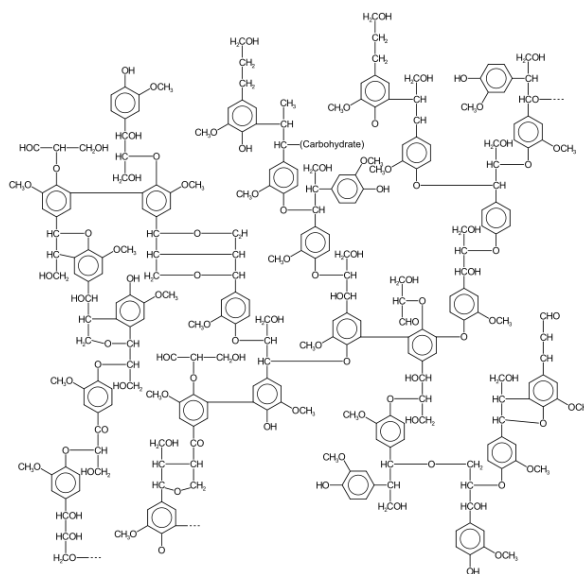
Količina in sestava polioz pri listavcih in iglavcih je različna in glede na suho snov lesa znaša med 20 in 30 % (Tišler, 2002). Stopnja polimerizacije znaša med 150 in 200 sladkornimi enotami.

2.1.3 Lignin

Lignin je takoj za celulozo najbolj pomemben in razširjen naravni polimer v rastlinskem svetu. Lignin obdaja celično steno in s tem varuje fibrile celuloze in hemiceluloze pred razgradnjo. V celični steni ga je med 20 in 30 %, v izjemnih primerih do 40 %.

Lignin je amorfna, mrežasta polimerna makromolekula iz fenilpropanskih enot (Slika 2), ki so med seboj povezane z etrskimi vezmi in vezmi ogljik-ogljik (C-O-C in C-C). V vodi ni topen.

Vsebnost lignina je pri listavcih 18-25 % pri iglavcih pa 25-35 %. Lignini nimajo enotne strukture, prepojijo pa medcelične prostore in prostore v celični steni. Po končani lignifikaciji, zapolnijo prostore med fibrilami celične stene.



Slika 2: Struktura lignina (Lignin, 2014)

2.1.4 Ekstraktivne snovi

Ekstraktivne snovi so snovi, ki jih v lesu najdemo poleg celuloze, hemiceluloze in lignina. Mednje spadajo pektini, tanini, eterična olja, smole, alkaloidi, pepel ter razna barvila. V lesu iglavcev jih je nekoliko več kot v lesu listavcev. Nahajajo se v koreninah, vejah in jedrovini, kjer je količina le teh največja. Lignani, terpeni, stilbeni in nekatere aromatske spojine spadajo v prvo skupino, v drugi pa so smole, maščobne kisline, maščobe in alkoholi. Med anorganske snovi spada pepel, ki vsebuje zelo pomembne snovi za rast drevesa, kot so magnezij (Mg), kalcij (Ca) in kalij (K) (Rowell, 2005, Fengel in Wegener, 1984).

2.1.5 Bukev (*Fagus sylvatica* L.)

Bukev (*Fagus sylvatica* L.) je v naših gozdovih najbolj razširjena drevesna vrsta izmed listavcev. Razširjena je v večjem delu Slovenije, kjer sega do gozdne meje, od srednje in južne Evrope do Kavkaza. Zraste do 40 m visoko in doseže do 1 m v premer. Skorja je gladke sive barve, les je rdečkastobel in nima obarvane jedrovine. Les je trd, težak, zelo malo elastičen, njegova gostota se giblje med 490 in 910 kg/m³. Dobro se krivi, uporabljamo ga lahko pri izdelavi furnirja, pohištva in igrač, parketa, vezanih plošč, železniških pragov, konstrukcijskega lesa. V preglednici 1 lahko zasledimo količino posameznih komponent pri bukvi. Plodovi bukke t.i. žiri, so lahko hrana živalim ali pa se uporabljajo za pridobivanje olja (Čufar, 2001).

Preglednica 1: Kemična sestava bukke (*Fagus sylvatica* L.)(Wagenführ, 1996)

Komponenta	Količina (%)
Lignin	11,6 - 22,7
Celuloza	33,7- 46,4
Pentozani	17,8 - 25,5
pH vrednost	5,1 - 5,4
Pepel	0,3 - 1,2

2.2 UTEKOČINJEN LES

Zaradi razgradnje in reakcij s poliolii, utekočinjenje pretvarja komponente lesa v reaktivne molekule. Pridobljen UL je viskozen in temno rjav, kar je posledica velike vsebnosti ogljika. Med tako pridobljeno zmesjo komponent in utekočinjanja lesa mora potekati reakcija s polihidroksi alkoholi in kislinskim katalizatorjem. Postopek utekočinjanja lesa poteka pri visokem tlaku (230 bar) in visoki temperaturi (150 do 250 °C). Traja lahko od 15 do 180 min ob prisotnosti različnih organskih topil, na primer fenolov, alkoholov, bisfenolov, hidroksi etrov in kislinskih katalizatorjev (Tišler, 2002).

2.2.1 Postopki utekočinjanja lesa

Postopkov za utekočinjanje lesa je kar nekaj, med njimi pa velja izpostaviti utekočinjanje lesa z uporabo glikolov, fenola in anorganskih kislin z izkoristkom več kot 95 % (Lin, 1994; Alma, 1998). Okolju najbolj prijazno je utekočinjanje lesa z glikoli, kjer lahko uporabimo etilenglikol, dietilenglikol, polietilenglikol 400.

Pri postopku utekočinjanja celuloze z etilenglikolom lahko privede do rekondenzacije nastalih produktov, nastali etilenglikol - glukozid razpade v 2-hidroksi etil levulinat. Prisotnost razgradnih produktov celuloze in lignina privede do rekondenzacije nastalih produktov, kar pa je povsem običajno pri utekočinjanju lesa (Slika 3). Že v prvih nekaj minutah reakcije se utekočini večina amorfne visokopolimerizirane celuloze, kristalinični in visoko urejeni celulozi pa je za popolno utekočinjanje potrebnih veliko več časa (Jasiukaityte, 2007). Če uporabimo mikrovalove kot vir termične energije, potem lahko hitrost utekočinjanja in izkoristek povečamo ter na ta način dosežemo popolno utekočinjanje lesa v le 20-ih minutah (Kržan in Kunaver, 2006).



Slika 3: UL (Kržan in Kunaver, 2006)

2.2.2 Mehanizem utekočinjanja lesa

Mehanizem utekočinjanja lesa še vedno ni dovolj pojasnjen, so pa z različnimi testiranjmi dokazali nekatere hipoteze:

- Utekočinjanje polisaharidov poteka z alkoholi oziroma s fenolom ob uporabi H_2SO_4 z alkoholizo oziroma fenolizo glukozidne vezi.
- Utekočinjanje amorfne polisaharida, kot je škrob je zelo hitro, medtem ko je utekočinjanje kristalinične celuloze dosti počasnejše kar nam pove, da je utekočinjanje polisaharidov odvisno od lastnosti topila.
Pri utekočinjanju polisaharidov z alkoholi ali fenoli najprej nastanejo ustrezni glukozidi, torej celuloza med utekočinjanjem razpade na monomerne glukozide, le-ti pa med potekom reakcije razpadejo še na 2-hidroksietil levulinat. Nastane levulinska

kislina. Na začetku utekočinjanja nastane več glukozidov, kateri se kasneje med reakcijo zmanjšujejo, količina levulinske kisline pa se s časom reakcije povečuje.

- Hemiceluloze med procesom utekočinjanja s hidrolizo razpadejo v ocatno kislino, sladkorje in furfural (Bouvier in sod., 1988).
- Reakcija med polisaharidi in fenoli je daljša zaradi lastnosti fenola. Nastanejo substance z visoko molsko maso, kar povečuje reakcijske čase.
- Mehanizem utekočinjanja lignina ob uporabi fenola s kislinskim katalizatorjem gvajacil-glicerol-gvajacil eter (GG). GG pri povišani temperaturi brez katalizatorja homolitsko razpade v različne radikale.
- Ocatna kislina (katalizator), močno pospeši homolizo. Če jo dodamo GG, reakcija poteče že pri 150 °C. Če dodamo H₂SO₄ (katalizator) nastopajo razgradne in kondenzacijske reakcije razgradnih produktov z dodanim fenolom (Tišler, 2002).

2.2.3 Uporaba UL

2.2.3.1 Fenol-formaldehidne smole

Fenol-formaldehidne smole pridobivamo na način, ko les utekočinimo s fenolom v kislem ali alkalnem mediju ter mu dodamo formaldehid. V primeru, ko les utekočinimo s fenolom v kislem mediju ter mu dodamo formaldehid, dobimo odlično novolak smolo. Novolak smole nimajo nezreagiranega fenola, kar je njihova velika prednost in zato tako odlična smola. Pripravljajo se z rahlim molarim prebitkom fenola. Zamreževanje novolakov se lahko izvaja z dodatkom formaldehida ali heksametilentetramina. Pri utekočinjanju lesa s fenolom v alkalnem mediju ter dodanem formaldehidu dobimo dokaj viskozne rezol smole. Pene, izdelane iz tako pridobljene rezol smole imajo večjo gostoto kot pene izdelane iz komercialne rezol smole (Lee in sod., 2002a).

2.2.3.2 Epoksi smole

Za izdelavo epoksi smol so les utekočinjali z rezorcinolom, z dodajanjem katalizatorja (H₂SO₄) ali brez katalizatorja. Po postopku izdelave epoksi smol so utekočinjenemu lesu dodali epiklorohidrin in smolo sintetizirali. Nastala epoksi smola ima dobre mehanske in adhezivne lastnosti (Kishi in sod., 2006).

2.2.3.3 Poliuretanske pene

Iz UL, utekočinjenega odpadnega papirja in škroba so izdelali biorazgradljivo poliuretansko peno. Prisoten reagent pri utekočinjanju je bila mešanica polietilen glikola in glicerola. Poleg mešanice je bil dodan še katalizator žveplova (VI) kislina in diizocianat. (MDI). Nastale pene so imele dobre mehanske lastnosti in primerno gostoto (Lee in sod., 2002b).

2.2.3.4 Lepila

Izdelali so izocianatna lepila na osnovi UL in tako nadomestili lepila na osnovi formaldehida. Takšna lepila zagotavljajo varno uporabo, trajnost ter reciklažo. Les so utekočinili z mešanico polietilen glikola in glicerola ob dodatku katalizatorja (H₂SO₄) in dodali diizocianat (pMDI). To lepilo so uporabili pri izdelavi furnirne vezane plošče, ki so jo testirali za strižno trdnost.

Testi suhih vzorcev so pokazali dobro strižno trdnost ter majhne emisije formaldehida in acetaldehida (Tohmura in sod., 2005).

Ugovšek in Šernek (2009) sta izvedla številne raziskave na temo naravni materiali za izdelavo sodobnih lepil za les, kot so tanin, lignin in UL. Ugotovila sta, da lahko naravne materiale preoblikujemo v tekoče agregatno stanje, ki jih nato uporabimo kot material za lepila. Različne drevesne vrste se različno utekočinjajo. Trenutno je raziskanih pet različnih načinov utekočinjanja lesa. (1) Način utekočinjanja lesa z uporabo fenola kot utekočinjevalnega agenta s primernim katalizatorjem (kislina ali baza) (Alma, 2006). (2) Način uporabe cikličnih karbonatov (Mun in sod., 2001). (3) Način uporabe ionskih tekočin (Honglu in Tiejun, 2006). (4) Način uporabe okolju prijaznega reagenta – dibazičnega estra (DBE) (Wei in sod., 2004). (5) Način uporabe polihidričnih alkoholov (Kobayashi in sod., 2000; Budija in sod., 2009). Poleg teh načinov je bila uspešno pripravljena tudi lepilna mešanica FF in utekočinjenega olesenelega dela vinske trte, ki je izkazala dobre strižne trdnosti, izboljšano vodoodpornost pa so dosegli z primernim razmerjem med formaldehidom in fenolom (2,0) (Alma in Basturk, 2006).

UL je trenutno atraktivna surovina, ki jo uporabljajo pri izdelavi komercialnih lepil, lepil v kombinaciji z različnimi kemikalijami, smol in premazov. Mehanske lastnosti utrjenega lepilnega spoja so odvisne od vrste UL. Za utekočinjanje lahko uporabimo že uporabljen, odslužen in impregniran les (Ugovšek in Šernek, 2009). Shiraishi in Hse (2000) sta pri izdelavi lepila uporabila UL impregniran s kreozotnim oljem. Les sta utekočinila s postopkom uporabe fenola in ga uporabila v mešanici s FF lepilom. Kreozot je pospešil utekočinjanje, saj deluje kot »soreagent«. Lastnosti lepila so bile primerljive z lepilom iz čistega UL. Da je bila kvaliteta lepilnega spoja malo nižja v primerjavi s komercialnim FF lepilom pa je posledica penetracije lepila na osnovi UL impregniranega s kreozotnim oljem.

Področje uporabe UL bi bilo smiselno še podrobneje raziskati, saj je UL naravna in obnovljiva surovina, ki ima potencial za prihodnjo uporabo v industriji lepil.

2.3 MELAMIN-UREA FORMALDEHIDNA LEPILA

Osnovne sestavine melamin-urea formaldehidnega (MUF) lepila so melamin, urea ali sečnina in formaldehid. Kemijska reakcija je kondenzacija pri kateri poteka spajanje molekul sestavin z istočasnim odcepom vode.

2.3.1 Kemizem MUF lepila

MUF lepila utrjujejo po fizikalnem in kemijskem postopku. Kemijski proces je reakcija kondenzacije, fizikalni proces pa je odparevanje hlapnih komponent, predvsem vode. Pri pripravi in lepljenju z melamin-urea formaldehidnimi lepili se sprošča formaldehid.

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

2.3.2 Lastnosti MUF lepil

Ker ima melamin razmeroma visoko ceno se ga pri pripravi lepil uporablja le toliko kolikor ga je potrebno. V MUF lepilih ga je navadno do 25%. S tem ko UF lepilu dodamo majhen delež melamina, lepilu izboljšamo strižno trdnost lepilnega spoja in njegovo odpornost proti vodi. Ko pripravljamo ali lepimo z MUF lepili, se sprošča formaldehid.

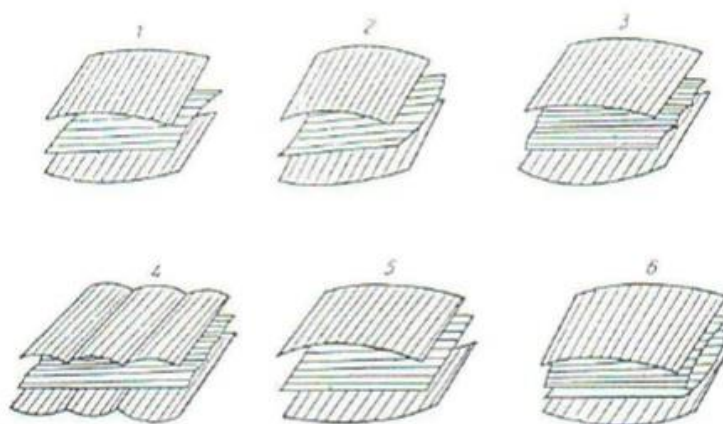
2.4 FURNIRNE VEZANE PLOŠČE

Furnirne vezane plošče so plošče, sestavljene iz lihega števila slojev furnirnih listov med seboj zlepljenih pod pravim kotom. Delimo jih po številu slojev, po namenu in po načinu uporabe. Pri izdelavi furnirnih vezanih plošč najpogosteje uporabimo bukovino, brezovino ali topolovino.

2.4.1 Izdelava furnirnih vezanih plošč

Pri izdelavi furnirnih vezanih plošč najpogosteje uporabimo furnirne liste iz bukovine, brezovine ali topolovine; lahko pa jih kombiniramo med seboj, tudi z iglavci. Furnirne liste med seboj zlagamo tako, da je potek vlaken pod pravim kotom med sosednjima listoma furnirja (Slika 4). S tako sestavo zmanjšamo krčenje in nabrekanje lesa, mehanske in fizikalne lastnosti v vzdolžni in prečni smeri plošče pa so bolj poenotene.

Pri izdelavi furnirnih vezanih plošč moramo upoštevati pravilo simetrije. Srednji sloj plošče je os simetrije, pari furnirnih listov navzven pa morajo biti enake debeline, enake vlažnosti, enakega poteka vlaken, enake drevesne vrste. Pri izdelavi plošč moramo paziti, da so konkavne strani zunanjih furnirnih listov obrnjene vedno proti sredici, ker so vedno nekoliko bolj razpokane.



Slika 4: Načini zlaganja furnirja za troslojno furnirno vezano ploščo (Nikolić, 1988)

2.4.2 Uporaba furnirnih vezanih plošč

Furnirne vezane plošče imajo širok spekter uporabe. Primerne so tako v notranjih suhih prostorih, notranjih visoko vlažnih prostorih in prostorih, kjer je vlažnost spremenljiva, uporabimo pa jih lahko tudi zunaj prostorov, pri plovilih, v gradbeništvu, pri proizvodnji pohištva in vrat ter za razno embalažo.

2.4.3 Lastnosti furnirnih vezanih plošč

Furnirne vezane plošče imajo za razliko od lesenih masivnih plošč boljše mehanske in fizikalne lastnosti. Vzrok za to tiči v njihovi izdelavi, zaradi vpliva termične obdelave v postopku lepljenja, števila slojev lepila in medsebojnih položajev furnirjev v plošči (Mešič, 1998).

Mehanske lastnosti furnirnih vezanih plošč, kot so natezna trdnost, upogibna trdnost, strižna trdnost, modul elastičnosti in strižna trdnost v suhem stanju in po različnih postopkih predpriprave (potapljanje v vodi ali kuhanje) so odvisne od: lesne vrste, gostote, vlažnosti, vrste lepila, sestave plošče, tehnološkega režima in načina izdelave furnirja.

Fizikalne lastnosti furnirnih vezanih plošč so: higroskopnost, gostota, trdota, toplotne, električne in akustične lastnosti.

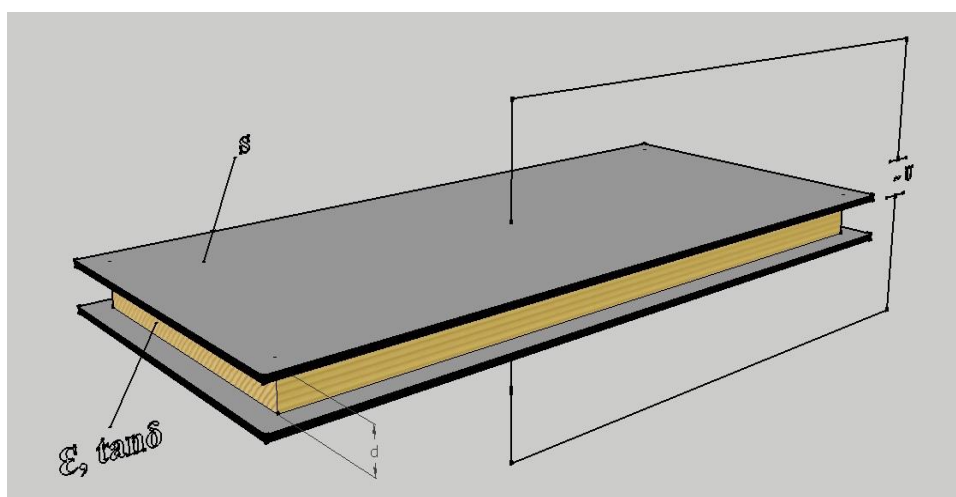
2.5 VISOKOFREKVENČNO SEGREVANJE IN LEPLJENJE LESA

Pri klasičnem segrevanju lesa in lepila pride do prevelikih izgub energije in časa, lahko pa se lepljencu spremenijo fizikalne in mehanske lastnosti. Namesto klasične izvedbe segrevanja lahko lepljenec segrevamo z visokofrekvenčno (VF) tehnologijo, ki omogoča selektivno segrevanje. Voda v lesu ali lepilo v lepilnem spoju se hitreje segreva kot les. Osnova za VF segrevanje je kondenzator, pri katerem je med elektrodi vstavljen dielektrik. V tem primeru je dielektrik lesna substanca, voda in lepilna mešanica. Pri takem načinu segrevanja se sprošča toplota v obdelovancu (Šernek, 2012).

Na VF segrevanje v VF elektromagnetnem polju vplivajo številni parametri, lastnosti lepljenca, procesi in vplivi pri segrevanju. Za uporabo VF pri lepljenju lesa moramo poznati osnovne dielektrične lastnosti lesa in lepila.

2.5.1 VF segrevanje in lepljenje

VF segrevanje in lepljenje lesa izvedemo na napravah priključenih na VF generator. Segrevanje pri VF poteče, ko med dve vzporedni kovinski plošči (elektrodi) določene površine (S) postavimo kos lesa torej dielektrik z dielektrično vrednostjo (ϵ), s faktorjem izgub ($\tan\delta$) in debelino (d). VF segrevanje je prikazano na sliki 5.



Slika 5: Prikaz VF segrevanja lesa

Med dvema prevodnikoma se ustvarja električno polje, pri katerem vse silnice izvirajo iz nabojev na enem prevodniku in končajo v nabojih drugega kar imenujemo kondenzator. Prevodnika sta elektrodi kondenzatorja, ki sta nasprotnoimenska naboja (Šernek, 2012).

Kapaciteta kondenzatorja (C) je podana s kvocientom naboja na eni izmed elektrod (e) in napetosti (U) med njima:

$$C = \frac{e}{U} \quad \dots (1)$$

Enota za kapaciteto je farad (F). Kondenzatorje pa razlikujemo glede na obliko elektrod: ploščni, valjasti in krogelni kondenzator.

Kapaciteta ploščnega kondenzatorja:

$$C = \frac{\varepsilon \times \varepsilon_0 \times S}{d} \quad \dots (2)$$

C ... kapaciteta kondenzatorja (F)

S ... površina ene plošče (m²)

d ... razdalja med ploščama (m)

ε₀ ... influenčna konstanta (8,85 × 10⁻¹² (As)²/Nm²)

ε ... dielektričnost snovi med elektrodama

VF segrevanje je v praksi poznano v dveh načinih in sicer induktivno, ki deluje v območju nekaj kHz (primerno za električne prevodnike) in kapacitivno segrevanje, ki deluje v območju nekaj MHz (primerno za dielektrike).

VF segrevanje razdelimo v 3 skupine:

- nizka frekvenca: 50 Hz (omrežna frekvenca),
- srednja frekvenca: 500 Hz do 20 kHz,
- visoka frekvenca: 100 kHz do 100 MHz.

Pri VF segrevanju ali lepljenju lesa se poslužujemo kapacitivnega segrevanja (dielektričnega segrevanja), ki ima frekvenčno območje VF generatorja od 4 do 30 MHz. Za izračun parametrov VF segrevanja ali lepljenja lesa moramo poznati izhodno moč generatorja, frekvenco in napetost na elektrodah, električno prevodnost dielektrika ter dielektrične lastnosti lepila in lesa.

Prednosti VF lepljenja:

- hitro (kratki časi stiskanja),
- primerno za večje debeline in različne oblike,
- enakomerno segrevanje (pri homogenem materialu),
- možnost selektivnega segrevanja.

Pomanjkljivosti VF segrevanja:

- visoka investicija in drago obratovanje (stiskalnica, VF generator in električna energija),
- težja regulacija parametrov (soodvisnosti, spremembe),
- zahtevno (izvedba in delo),
- neželeni pojavi (preboj in visoka frekvenca).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Furnir

Pri raziskavi smo izdelali več furnirnih vezanih plošč iz bukovega lesa, ki so bile zlepljene z različnimi lepilnimi mešanicami. Bukov luščen furnir je bil formata 500 mm x 500 mm, povprečne debeline 1,6 mm, vlažnosti 7 % in gostote 730 kg / m³.

3.1.2 Lepilna mešanica

Za izdelavo lepilne mešanice smo uporabili: MUF lepilo (MELDUR H97), katalizator amonformat (AF 3,3), moko in UL.

3.1.3 Melamin-urea-formaldehidno lepilo

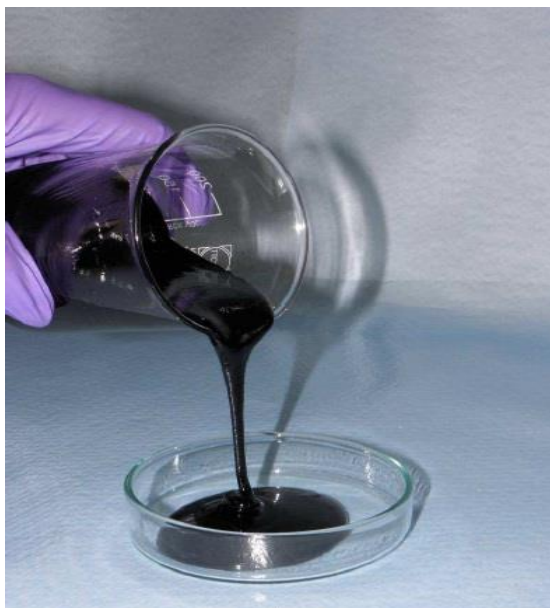
Uporabili smo MUF lepilo, tip MELDUR H97 iz Melamin-a Kočevje. V preglednici 2 so prikazane specifikacije in pogoji utrjevanja lepila.

Preglednica 2: Specifikacije in pogoji utrjevanja MUF lepila, MELDUR H97

Lastnost	Vrednost
Suha snov:	(63 ± 2) %
Iztočni čas oz. viskoznost (DIN čaša):	80 – 200 sekund
Prosti formaldehid (HCHO):	Maksimalno 0,5 %
Vrednost pH:	9,2 – 9,5
Stabilnost pri 20 °C:	120 dni
Pogoji utrjevanja lepila:	
Temperatura stiskanja:	125 °C – 135 °C
Tlak stiskanja:	1,8 N/mm ² – 2,5 N/mm ²
Odpri čas pri 25 °C:	15 – 30 minut

3.1.4 Utekočinjen les

Rezultat reakcije lesa s polihidroksi alkoholi in kislinskim katalizatorjem je zmes depolimeriziranih in utekočinjenih komponent lesa oz. UL (Slika 6). S postopkom utekočinjanja iz lesa ustvarimo oz. pridobimo surovino za sintezo novih, okolju prijaznih polimerov. UL lahko pridobimo po postopku mešanja reakcijske zmesi v steklenem reaktorju z zunanjim gretjem ali v pilotnem reaktorju za UL in druge biomase – GG Postojna. Steklen reaktor z zunanjim gretjem napolnimo z reakcijsko zmesjo 100-ih g lesa ali lignoceluloznega materiala, 300g glikolov (glicerol ali dietilenglikol) in 12g kisline (katalizatorja). Vse skupaj mešamo 120 min pri temperaturi 150 – 180 °C. Tako pripravljen UL smo uporabili v naši raziskavi.



Slika 6: Utekočinjen les

3.2 METODE

3.2.1 Priprava lepilne mešanice

Za lepljenje smo uporabili lepilne mešanice z različnimi razmerji med UL in MUF lepilom (Preglednica 3). Izdelali smo 5 različnih mešanic z namenom ugotavljanja učinkovitosti različnih kombinacij:

- X delov MUF lepila H97 + Y delov UL ($X + Y = 100$ delov)
- Na 100 delov mešanice XY smo dodali 2 dela utrjevalca (AF 3,3) in 7 delov moke

Preglednica 3: Različne kombinacije MUF lepila in UL, ki smo jih uporabili za lepljenje furnirnih vezanih plošč

Lepilna mešanica	MUF lepilo (X)	UL (Y)
MUF100 / UL0	100 delov	0 delov
MUF90 / UL10	90 delov	10 delov
MUF80 / UL20	80 delov	20 delov
MUF70 / UL30	70 delov	30 delov
MUF60 / UL40	60 delov	40 delov

3.2.2 Sestava furnirnih vezanih plošč

Izdelali smo furnirne vezane plošče iz bukovih furnirjev, ki smo jih dobili v podjetju Javor Pivka. Plošče smo sestavili iz treh bukovih furnirjev, ki smo jih položili eden na drugega pod pravim kotom (90°). Za vsako kombinacijo lepilne mešanice smo izdelali po dve furnirni vezani plošči. Skupaj smo izdelali 10 plošč, dimenzij $500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \times 4,8 \text{ mm}$.

Pri izdelavi furnirnih vezanih plošč smo upoštevali naslednje parametre lepljenja:

- Nanos lepilne mešanice: 200 g/m^2
- Specifični tlak stiskanja: 20 bar
- Temperatura stiskanja: $135 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ali več
- Čas stiskanja: 6 min. (minimalno 4 min.)

3.2.3 Nanos lepila in lepljenje v VF stiskalnici

Nanos lepila je bil 200 g/m^2 , količino lepila za posamezni lepilni spoj pa smo morali preračunati s pomočjo formule 1. Izdelano lepilno mešanico smo stehali na elektronski tehtnici ter nanесли na furnir z nanašalnim valjem.

Formula za nanos lepila (1):

$$d = \frac{m}{S} \rightarrow m = d \times S \quad \dots (3)$$

$$m = 200 \text{ g/m}^2 \times \left(\frac{550 \times 550}{10^6} \right) \text{ m}^2$$

$$m = 60,5 \text{ g} \rightarrow \text{nanos lepilne mešanice za 1 sloj}$$

m ... masa lepila [g]

S ... lepilna površina [m^2]

d ... količina nanosa lepila [g/m^2]

Po sestavi furnirne vezane plošče smo slednjo takoj vstavili v VF stiskalnico (Slika 7) ter jo stisnili s specifičnim tlakom 20 bar. Da smo dosegli takšen tlak stiskanja, smo morali predhodno nastaviti tlak olja na manometru stiskalnice. Med stiskanjem smo merili temperaturo v lepilnem spoju s senzorjem, ki je zaznaval spremembo električne prevodnosti. To smo lahko storili preko posebnega senzorja, ki smo ga pri sestavi plošče vstavili v lepilni spoj med dvema furnirjema. Plošče smo stiskali 6 minut.



Slika 7: Primer VF stiskalnice pred pričetkom stiskanja večslojne furnirne vezane plošče

3.2.4 Izdelava preskušancev

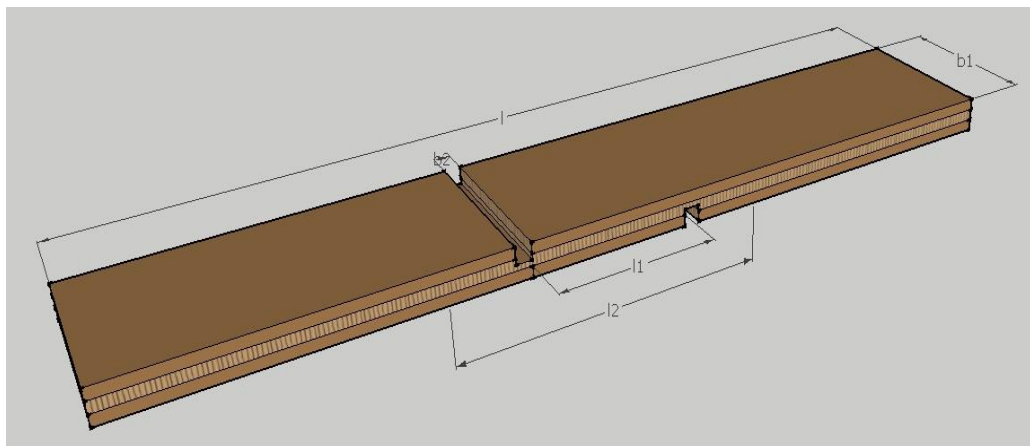
Izdelali smo 2 plošči za vsako lepilno mešanico. Iz plošč smo pripravili preskušance za ugotavljanje strižne trdnosti lepilnega spoja, upogibne trdnosti in modula elastičnosti, gostote ter vlažnosti plošč. Iz zlepljenih furnirnih vezanih plošč smo izžagali po 6 II (vzdolžnih preskušancev) in 6 T (prečnih preskušancev) za upogibni preskus, ter 3 skupine po 12 preskušancev na ploščo – lepilno mešanico za strižni preskus.

Preglednica 4: Dimenzije preskušancev za posamezno testiranje

Testiranje preskušancev	Dimenzije preskušancev (l x b)
Strižna trdnost lepilnega spoja	110 x 25 mm
Upogibna trdnost	140 x 50 mm
Gostota	50 x 50 mm
Vlažnost	140 x 50 mm

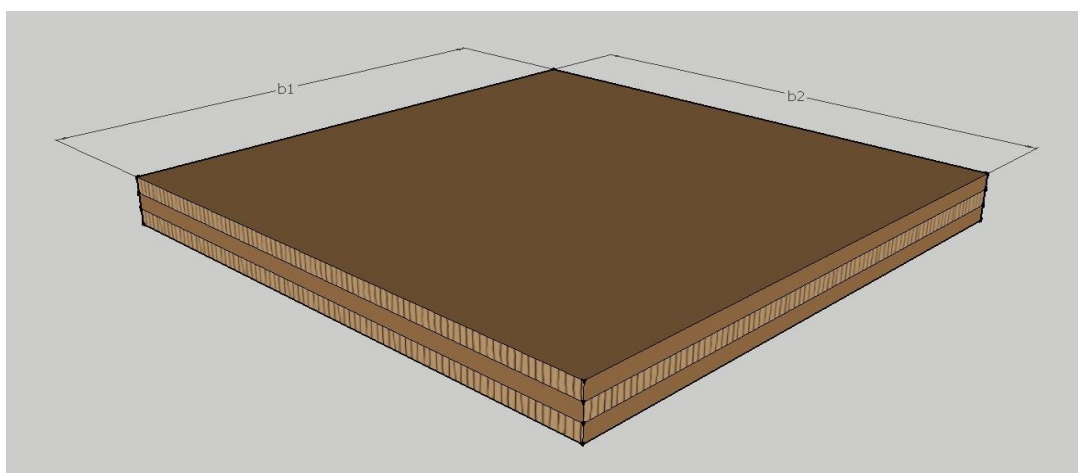
- l ... dolžina preskušanca
- b ... širina preskušanca

Oblika in dimenzije preskušancev za ugotavljanje kakovosti zlepljenosti in gostote so razvidne na slikah 8 oziroma 9. Vsak strižni preskušanec je imel na zgornji in spodnji strani izžagan po en vzporedni utor, in sicer do sredine srednjega furnirja (Slika 10).



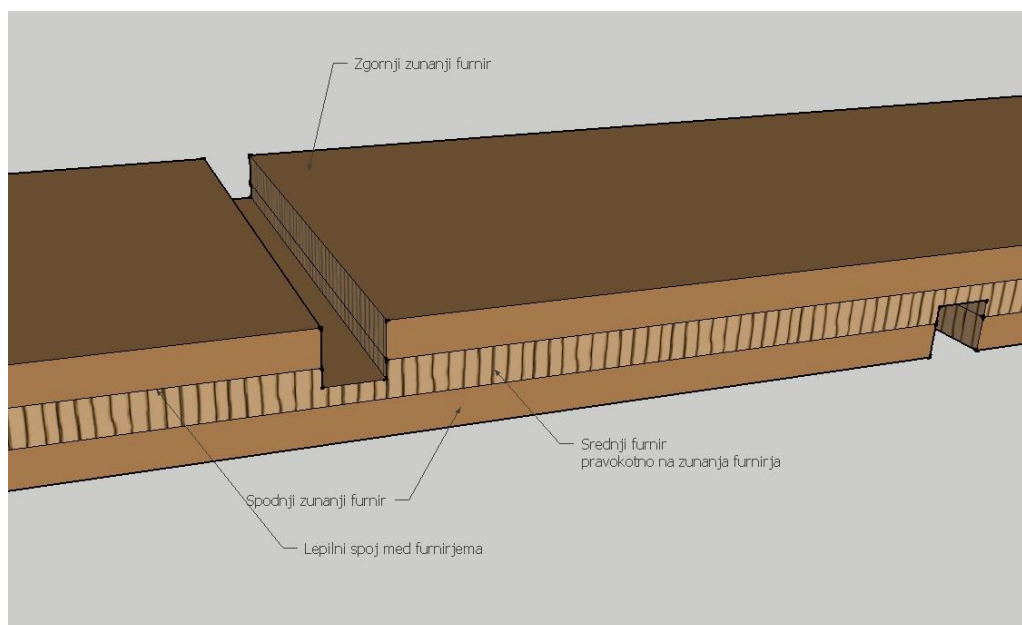
Slika 8: Preskušanec iz troslojne bukove furnirne vezane plošče za ugotavljanje strižne trdnosti lepilnega spoja

- l... dolžina preskušanca 110 mm
- l1... razdalja med utoroma ($25 \pm 0,5$) mm
- l2... razdalja med točkama, kjer je vpet preskušanec (min. 50) mm
- b1... širina preskušanca ($25 \pm 0,5$) mm
- b2... širina žaginega reza (2,5 do 4) mm



Slika 9: Preskušanec iz troslojne bukove furnirne vezane plošče za ugotavljanje gostote

- b1, b2 ... širina in dolžina preskušanca ($50 \pm 0,1$) mm



Slika 10: Podrobnejši prikaz izdelave preskušanca za ugotavljanje kakovosti zlepljenosti

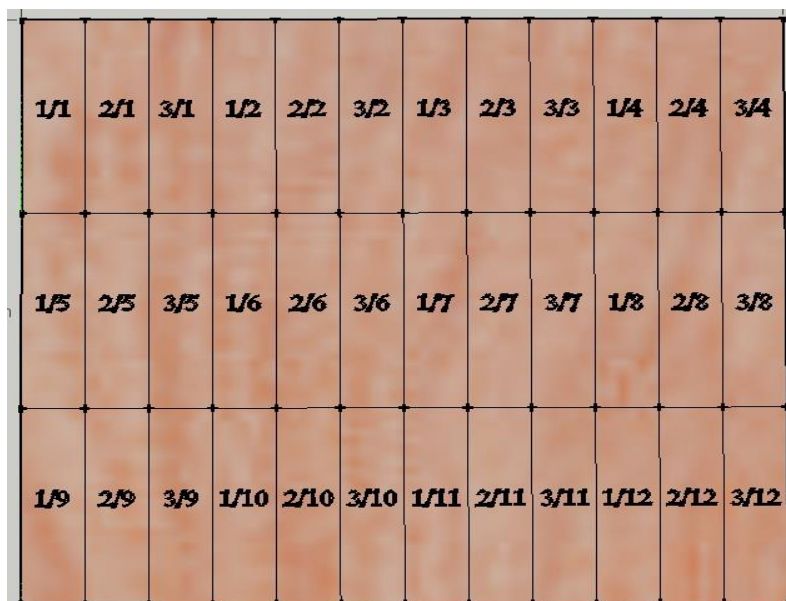
Iz furnirnih vezanih plošč, zlepljenih z različnimi lepilnimi mešanicami (Preglednica 6) smo izžagali preskušance in jim dodali primerno oznako (Preglednica 5) (Slika 11).

Preglednica 5: Označevanje preskušancev

Oznaka lepilne mešanice	Temperatura stiskanja [°C]	Priprava / preskušanca	Številka	Številka plošče
A	135 ali več	1-3 / 1-12		1, 2
B	135 ali več	1-3 / 1-12		1, 2
C	135 ali več	1-3 / 1-12		1, 2
D	135 ali več	1-3 / 1-12		1, 2
E	135 ali več	1-3 / 1-12		1, 2

Preglednica 6: Lepilne mešanice

Oznaka lepilne mešanice	Razmerje med MUF lepilom in UL pri določeni temperaturi stiskanja
A	MUF100 / UL0 pri 135 °C
B	MUF90 / UL10 pri 135 °C
C	MUF80 / UL20 pri 135 °C
D	MUF70 / UL30 pri 135 °C
E	MUF60 / UL40 pri 135 °C

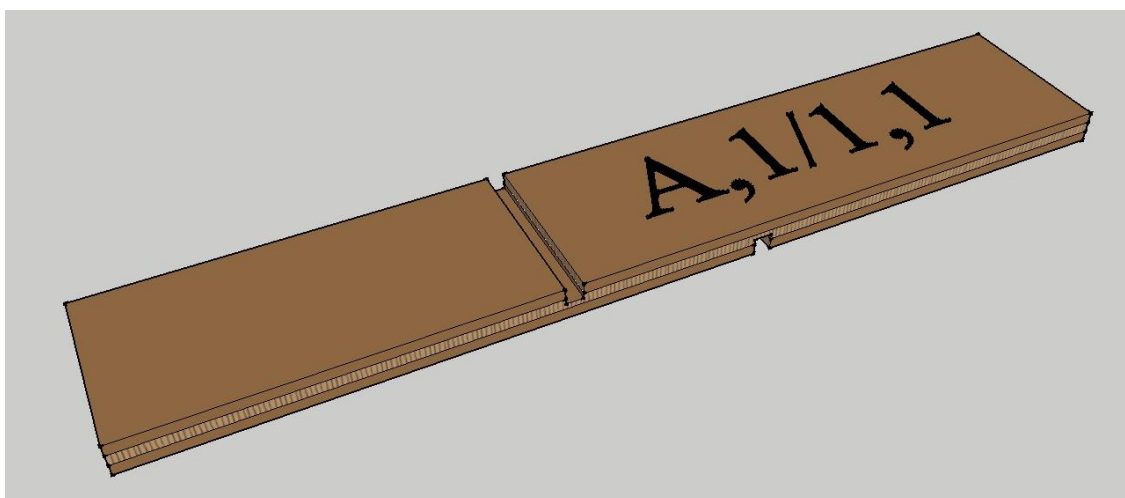


A diagram showing a 3x12 grid of rectangular test specimens. Each specimen is labeled with a fraction indicating its position in the grid. The labels are as follows:

1/1	2/1	3/1	1/2	2/2	3/2	1/3	2/3	3/3	1/4	2/4	3/4
1/5	2/5	3/5	1/6	2/6	3/6	1/7	2/7	3/7	1/8	2/8	3/8
1/9	2/9	3/9	1/10	2/10	3/10	1/11	2/11	3/11	1/12	2/12	3/12

Slika 11: Načrt razžagovanja vzorčnih plošč z oznakami položajev posameznih strižnih preskušancev

Vsak preskušanec smo posebej označili z oznakami, ki so navedene v preglednici 5 in preglednici 6. Primer označenega preskušanca je prikazan na sliki 12.



Slika 12: Preskušanec z oznako

Po standardu SIST EN 314-1:2004 (E) smo uporabili tri načine priprave (postopke umetnega staranja) strižnih preskušancev (Preglednica 7).

Preglednica 7: Načini priprave preskušancev za ugotavljanje kakovosti zlepljenosti za furnirne vezane plošče namenjene za uporabo v suhih, vlažnih in zunanjih pogojih.

Razredi zlepljenosti	Pogoji priprave preskušancev		
Uporaba v suhih pogojih (Razred 1)	Potopitev preskušancev za 24h v hladno vodo (20 ± 3) °C		
Uporaba v vlažnih pogojih (Razred 2)	Potopitev preskušancev za 24h v hladno vodo (20 ± 3) °C	6h v vreli vodi, sledi min. 1h hlajenja v hladni vodi (20 ± 3) °C	
Uporaba v zunanjih pogojih (Razred 3)	Potopitev preskušancev za 24h v hladno vodo (20 ± 3) °C		4h v vreli vodi 16-20h sušenja pri temp. (60 ± 3) °C, sledi ponovno 4h v vreli vodi ter min. 1h hlajenja v hladni vodi (20 ± 3) °C

Sledilo je testiranje preskušancev s trgalnim strojem, pri čemer morajo biti po standardu doseženi nekateri pogoji:

- Imeti moramo testirni stroj z orodjem, ki omogoča vpetje strižnih preskušancev
- Stroj mora biti sposoben vzdrževanja enake hitrosti pri preizkusu
- Natančnost merjenja obremenitve mora biti boljša od ± 2 %.

3.2.5 Ugotavljanje fizikalnih in mehanskih lastnosti plošč

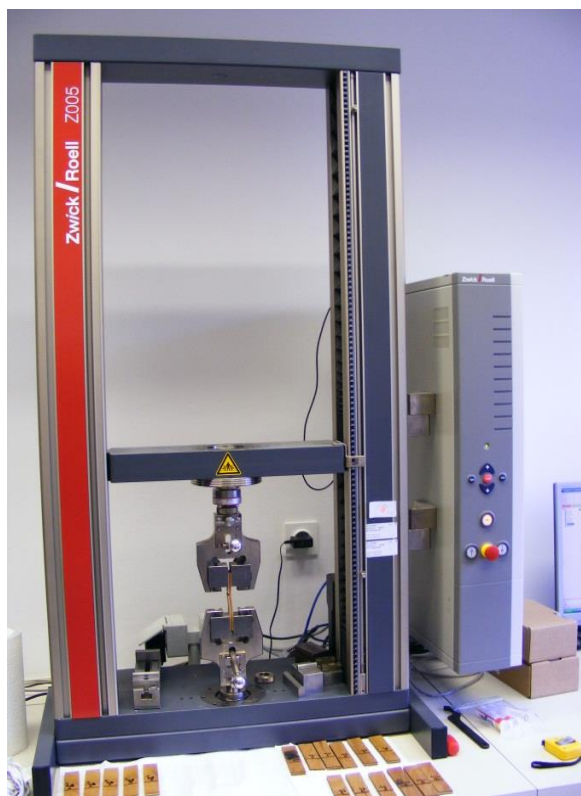
Testiranje strižne trdnosti lepilnih spojev in upogibnih lastnosti furnirnih vezanih plošč je potekalo na trgalnem stroju Zwick / Roell Z005, oziroma Zwick Z100 opremljenim z ustreznim orodjem za vpenjanje preskušancev (Slika 13). Delovanje stroja je podprto z računalniško programsko opremo »testXpert II«.

3.2.5.1 Preskus kakovosti zlepljenosti

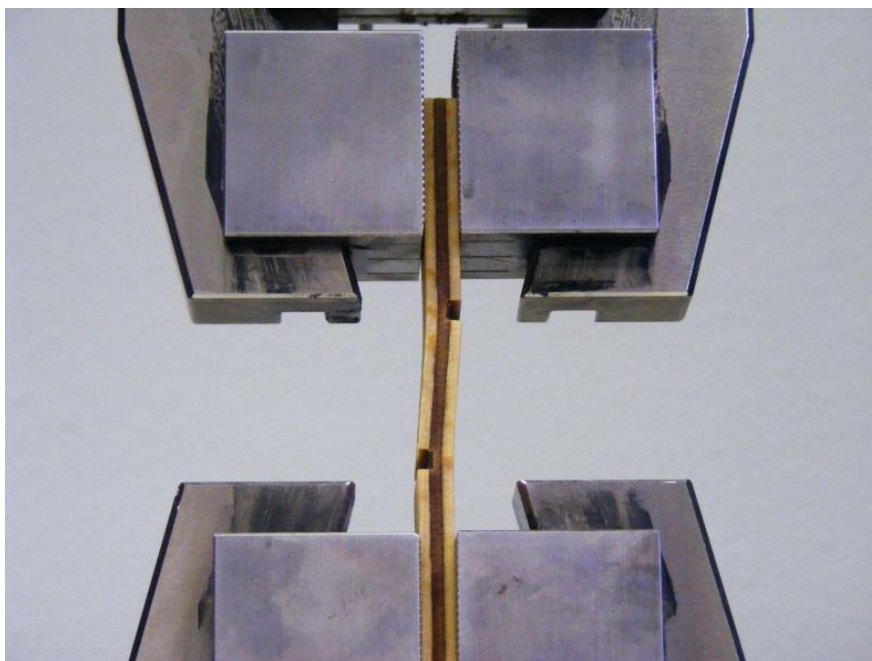
Vsakemu preskušancu smo pred vpetjem v čeljusti stroja, oziroma pred potopitvijo v vodo, z digitalnim kljunastim merilom izmerili širino in dolžino strižne ploskve na 0,01 mm natančno in te mere vnesli v računalniški program (Slika 17). Preskušanec smo nato vpeli v orodje testirnega stroja, sledilo je pozicioniranje preskušanca na sredino pritisne ploskve stroja. S programsko opremo smo sprožili delovanje testirnega stroja. Preskušance smo natezno strižno obremenili in merili silo do porušitve, do katere je moralo priti v 30 ± 10 s od začetka obremenitve. Strižno trdnost je računalniški program izračunal s pomočjo formule 3.

Razred zlepljenosti 1

Preskušance smo za 24 h potopili v hladno vodo (20 ± 3) °C. Po 24-ih urah smo preskušance vzeli iz posode ter jih enega za drugim vpeli v čeljusti (Slika 14) na trgalnem stroju ter jih takoj stestirali. Teste preskušancev smo opravili na trgalnem stroju v skladu z zahtevami SIST EN 314-1:2005.



Slika 13: Trgalni stroj Zwick / Roell Z005 za ugotavljanje strižne trdnosti lepilnih spojev



Slika 14: V čeljusti vpet preskušavec na trgalnem stroju Zwick / Roell Z005

Razred zlepljenosti 2

Preskušance iz furnirnih vezanih plošč, ki so namenjene za uporabo v vlažnih pogojih smo morali pred testiranjem 6h kuhati v vreli vodi. Po končanem kuhanju je sledilo najmanj 1h ohlajevanja preskušancev v hladni vodi (20 ± 3)°C. Tako pripravljene preskušance smo nato testirali.

Razred zlepljenosti 3

Tretji in hkrati najostrejši režim, ki je predviden za umetno staranje furnirnih vezanih plošč namenjenih za uporabo v zunanjih pogojih, predpisuje kuhanje preskušancev 4h pri temperaturi vode 100 °C. Po 4-ih urah kuhanja smo jih morali sušiti v ventilacijski sušilnici (Slika 15) pri temperaturi (60 ± 3)°C in sicer 16 - 20h. Posušene preskušance smo zopet kuhali 4h, ter po 4-ih urah še minimalno 1h ohlajali v hladni vodi (20 ± 3)°C. Po koncu priprave smo jih testirali s trgalnim strojem Zwick / Roell Z005.

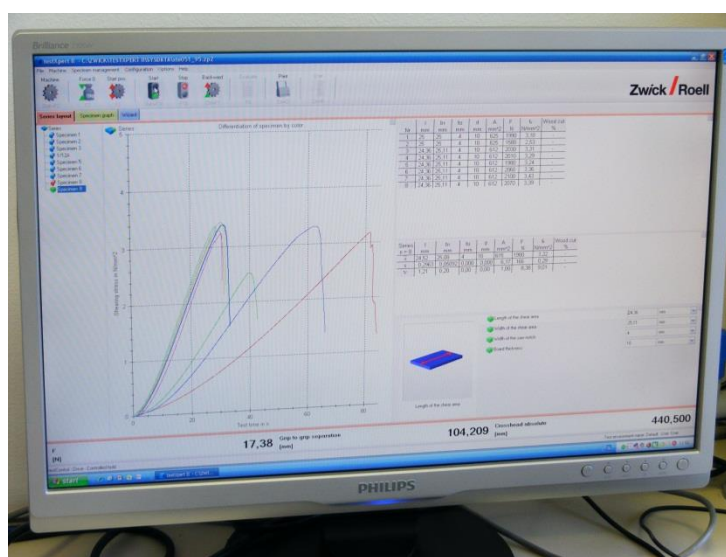


**Slika 15: Klimatiziranje preskušancev v komori pri normalnih pogojih, $T = 20$ °C, RZV = 65 %
(relativna zračna vlaga)**

Med kuhanjem preskušancev so tisti z večjo vsebnostjo UL razpadli (ker UL povzroči spremembe v kemijski sestavi celičnih sten pri povišani temperaturi), zato takih preskušancev nismo mogli porabiti za testiranje (Slika 16).



Slika 16: Razpadli preskušanci pri kuhanju v vreli vodi



Slika 17: Programska oprema »testXpert II«, ki podpira testirni stroj

Formula za izračun strižne trdnosti (formula 3):

... (3)

$$f_v = \frac{F}{(l \times b)} [\text{N/mm}^2]$$

f_v ... strižna trdnost [N/mm^2]

F ... največja obremenitev ob porušitvi [N]

l ... dolžina strižne ploskve [mm]

b ... širina strižne ploskve [mm]

Po končanem testiranju smo zbrali rezultate, jih statistično uredili in izločili osamelce (preskušanci, katerih vrednosti niso zadostile zahtevam standarda, nekateri so razpadli že med kuhanjem), katerih vrednosti so neobičajno odstopale od povprečja. Za končni rezultat vsake kombinacije MUF lepila in UL smo podali izračunane povprečne vrednosti strižne trdnosti lepilnega spoja v N/mm^2 , izračunan standardni odklon za strižno trdnost ter povprečen delež loma po lesu v odstotkih. Ocena 0 % je pomenilo lom v celoti po lepilu, 100 % pa lom v celoti po lesu (Slika 18).



Slika 18: Ocena loma lepilnega spoja po opravljenem strižnem preskusu

3.2.5.2 Ugotavljanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti

Testiranje upogibne trdnosti in modula elastičnosti furnirnih vezanih plošč je potekalo na trgalnem stroju Zwick Z100 (Slika 19). V računalniški program smo vnesli dimenzije preskušancev (debelino in širino) in izvedli 3-točkovni upogibni test. Pridobljene rezultate je računalniški program podal kot modul elastičnosti in upogibno trdnost.



Slika 19: Ugotavljanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti na trgalnem stroju Zwick Z100

Upogibno trdnost smo izračunali po formuli 4, na sliki 20 pa je prikazana shema 3-točkovnega testa za ugotavljanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti (SIST EN 310).

Formula (4) za izračun upogibne trdnosti in modula elastičnosti:

$$f_m = \frac{3 \times F_{\max} \times L_1}{2 \times b_2 \times t^2} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad \dots (4)$$

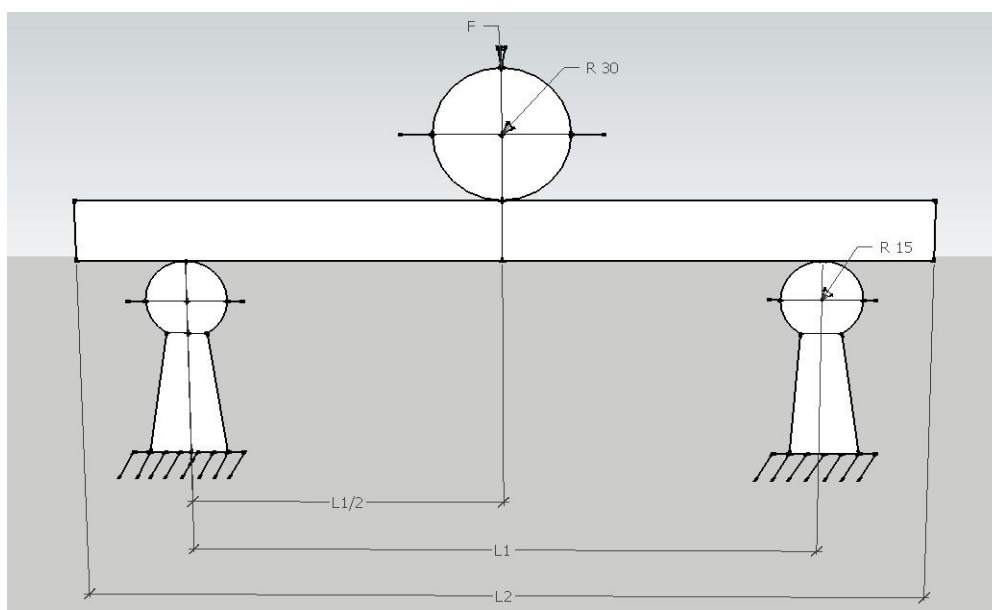
f_m ... upogibna trdnost [N/mm²]

$F_{\max}$... sila ob poružitvi preskušanca [N]

L_1 ... razdalja med podporama [mm]

b_2 ... širina preskušanca [mm]

t_2 ... debelina preskušanca [mm]



Slika 20: 3-točkovni test za ugotavljanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti (SIST EN 310)

Modul elastičnosti smo izračunali po formuli 5:

$$E_m = \frac{L_1^3 \times (F_{40} - F_{10})}{4 \times b_2 \times t^3 \times (a_{40} - a_{10})} \quad \dots (5)$$

E_m ... modul elastičnosti

L_1 ... razdalja med podporama [mm]

F_{40} ... 40 % maksimalne sile [N]

F_{10} ... 10 % maksimalne sile [N]

b_2 ... širina preskušanca [mm]

t_3 ... debelina preskušanca [mm]

a_{40} ... poves pri 40 % maksimalne sile [N]

a_{10} ... poves pri 10 % maksimalne sile [N]

3.2.5.3 Ugotavljanje vlažnosti in gostote furnirnih vezanih plošč

Vlažnost furnirnih vezanih plošč smo ugotavljali po standardu SIST EN 322:1993. Najprej smo morali stehtati maso vlažnega preskušanca z laboratorijsko tehtnico in sicer na 0,01 g natančno. Nato smo jih postavili v laboratorijski sušilnik, kjer so se v 24 h posušili pri temperaturi 103 ± 2 °C do konstantne mase in nato preskušance ponovno stehtali v absolutno suhem stanju. Vlažnost preskušancev smo izračunali po formuli (Formula 6).

Formula za izračun vlažnosti preskušancev (6):

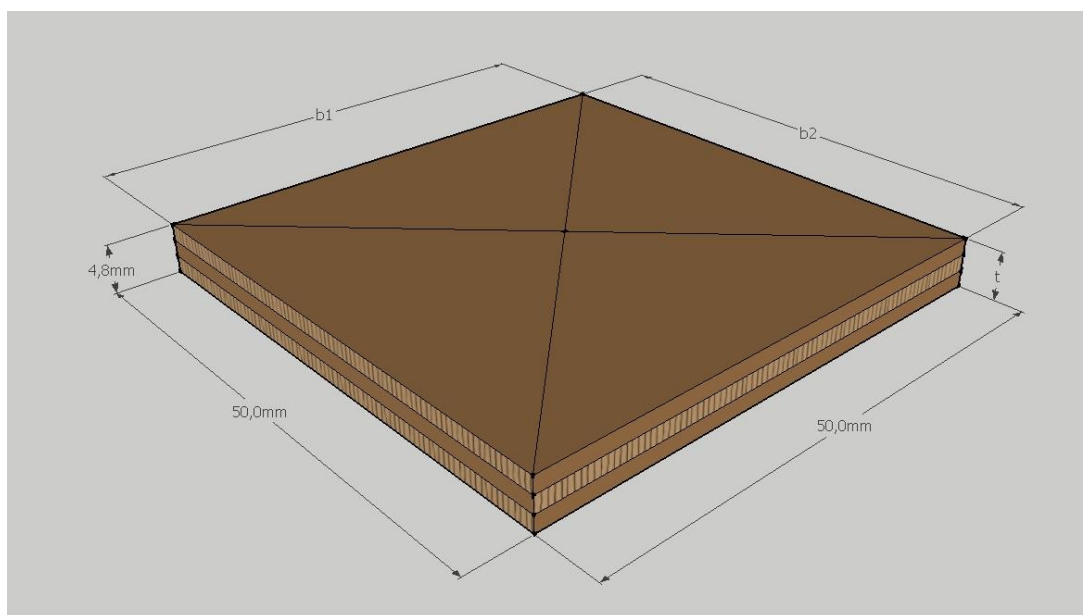
$$H = \frac{m_H - m_0}{m_0} \times 100 \quad \dots (6)$$

H ... vlažnost preskušancev [%]

m_H ... masa vlažnega preskušanca [g]

m_0 ... masa preskušanca v absolutno suhem stanju [g]

Pri ugotavljanju gostote furnirnih vezanih plošč po standardu SIST EN 323:1993 smo uporabili enake preskušance kot pri ugotavljanju vlažnosti. Za ugotavljanje gostote smo preskušancem s kljunastim merilom izmerili širino in dolžino in sicer na 0,01 mm natančno. Debelino smo izmerili z mikrometrom na središču diagonal preskušanca (Slika 21) na 0,01 mm natančno.



Slika 21: Preskušanec za ugotavljanje vlažnosti in gostote (SIST EN 322, SIST EN 323)

Gostoto preskušancev smo izračunali po formuli 7:

$$\rho = \frac{m}{V}, V = b_1 \times b_2 \times t \quad \dots (7)$$

ρ ... gostota preskušanca [g/mm³]

m ... masa preskušanca [g]

V ... prostornina preskušanca [g]

b_1 ... širina preskušanca [mm]

b_2 ... dolžina preskušanca [mm]

t ... debelina preskušanca [mm]

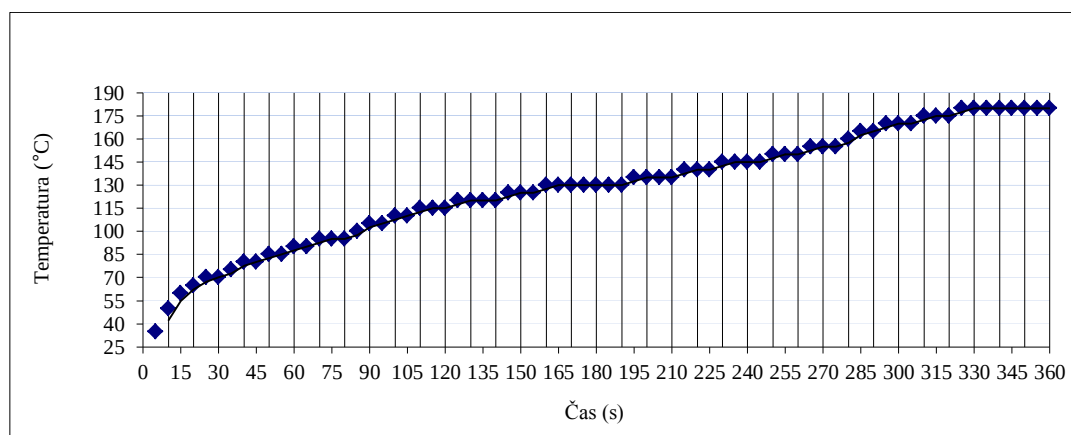
4 REZULTATI IN RAZPRAVA

V raziskavi smo proučevali vpliv sestave lepilne mešanice iz UL in MUF lepila na kakovost zlepljenosti furnirnih vezanih plošč, ki so bile lepljene z uporabo VF tehnologije.

4.1 MEHANSKE IN FIZIKALNE LASTNOSTI

4.1.1 Rast temperature v lepilnem spoju

Temperaturo v lepilnem spoju smo merili s senzorjem, ki smo ga med izdelavo furnirne vezane plošče vstavili v lepilni spoj med spodnji in srednji furnir. Temperatura se je po 6 minutah ustavila pri vrednosti med 175 in 180 °C. Naraščanje temperature (T) v odvisnosti od časa pri izdelavi furnirne vezane plošče z lepilno mešanico MUF100 / UL0 je prikazano na sliki 22.



Slika 22: Prikaz porasta temperature v lepilnem spoju v odvisnosti od časa stiskanja

4.1.2 Strižna trdnost lepilnih spojev

Strižno trdnost lepilnih spojev smo ugotavljali pri preskušancih, ki smo jih izpostavili trem izpostavitvenim režimom (Preglednica 6).

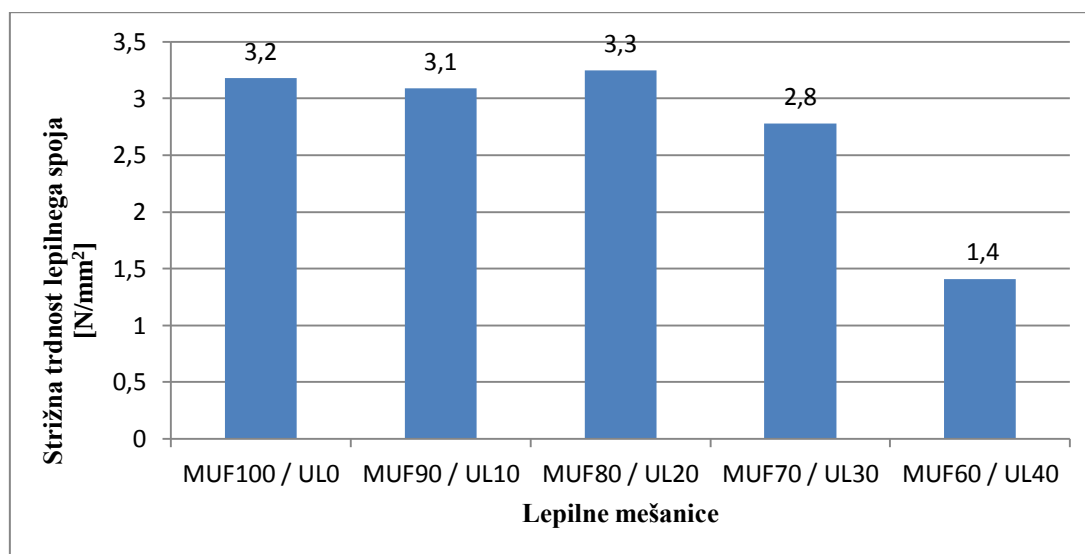
4.1.2.1 Strižna trdnost lepilnih spojev za uporabo v suhih pogojih (razred zlepljenosti 1)

V preglednici 8 so prikazane povprečna strižna trdnost lepilnega spoja, standardni odklon strižne trdnosti in povprečna ocena loma po lesu za vsako proučevano lepilno mešanico.

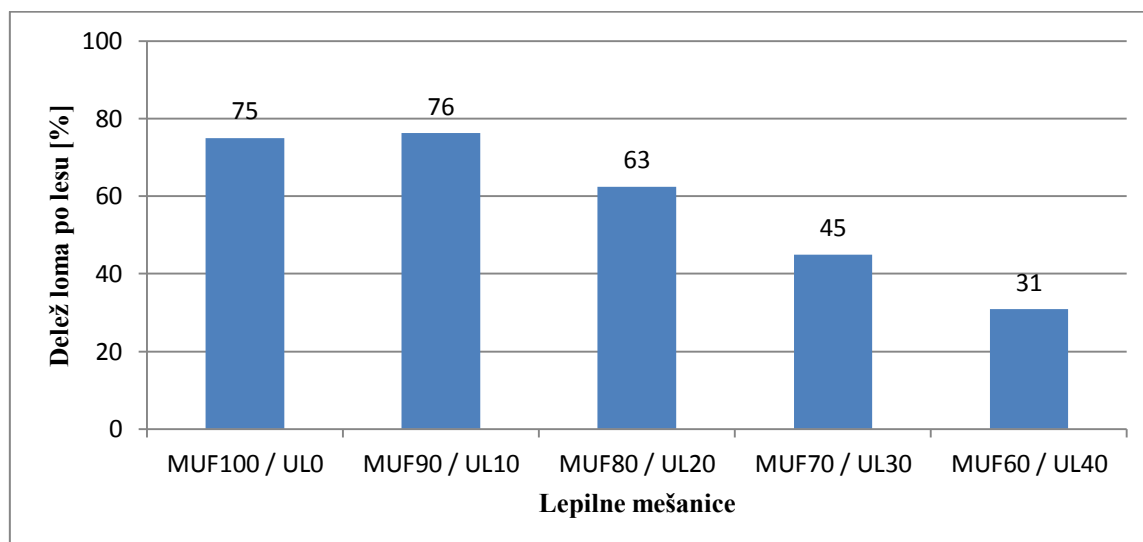
Preglednica 8: Strižna trdnost lepilnih spojev in delež loma po lesu preskušancev za uporabo v suhih pogojih

Lepilna mešanica	MUF100 / UL0	MUF90 / UL10	MUF80 / UL20	MUF70 / UL30	MUF60 / UL40
Povprečna strižna trdnost [N/mm ²]	3,2	3,1	3,3	2,8	1,4
Standardni odklon strižne trdnosti	0,26	0,30	0,26	0,34	0,16
Povprečna ocena loma po lesu [%]	75	76	63	45	31

Ugotovili smo, da vse lepilne mešanice ustrezajo zahtevam standarda SIST EN 314-2:1996 za razred zlepljenosti 1, kjer mora biti strižna trdnost večja ali enaka 1 N/mm². Z večanjem deleža UL strižna trdnost lepilnega spoja v suhih pogojih zanemarljivo pada do 30 % vsebnosti UL (Slika 23). Nekoliko večje znižanje se je pojavilo pri 40 % vsebnosti UL, vendar lepilni spoj še ustreza zahtevam standarda. Delež loma po lesu je najvišji pri lepilni mešanici MUF90 / UL10 in z večanjem deleža UL pada (Slika 24).



Slika 23: Strižna trdnost lepilnega spoja preskušancev za uporabo v suhih pogojih



Slika 24: Delež loma po lesu preskušancev za uporabo v suhih pogojih

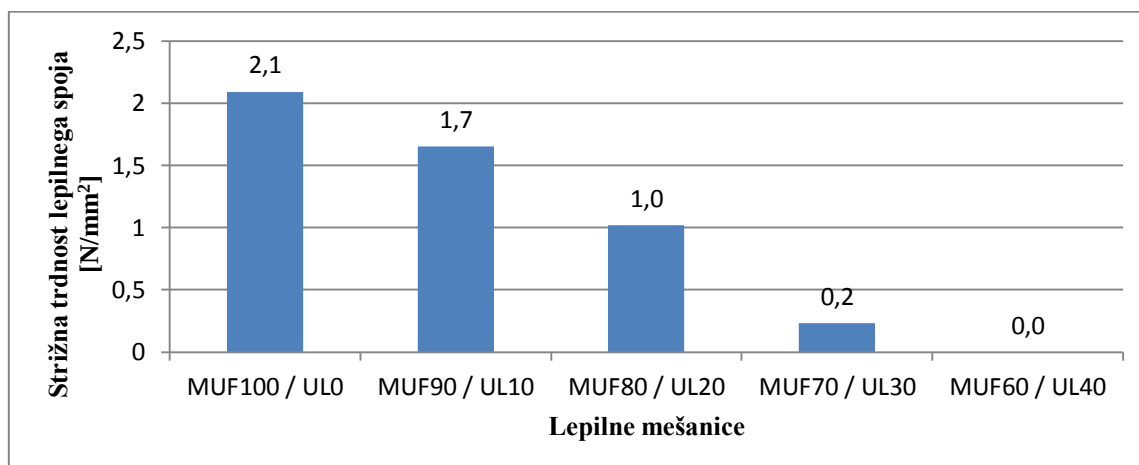
4.1.2.2 Strižna trdnost lepilnih spojev za uporabo v vlažnih pogojih (razred zlepljenosti 2)

Povprečne strižne trdnosti lepilnega spoja, standardni odkloni strižne trdnosti in povprečne ocene loma po lesu so prikazane v preglednici 9.

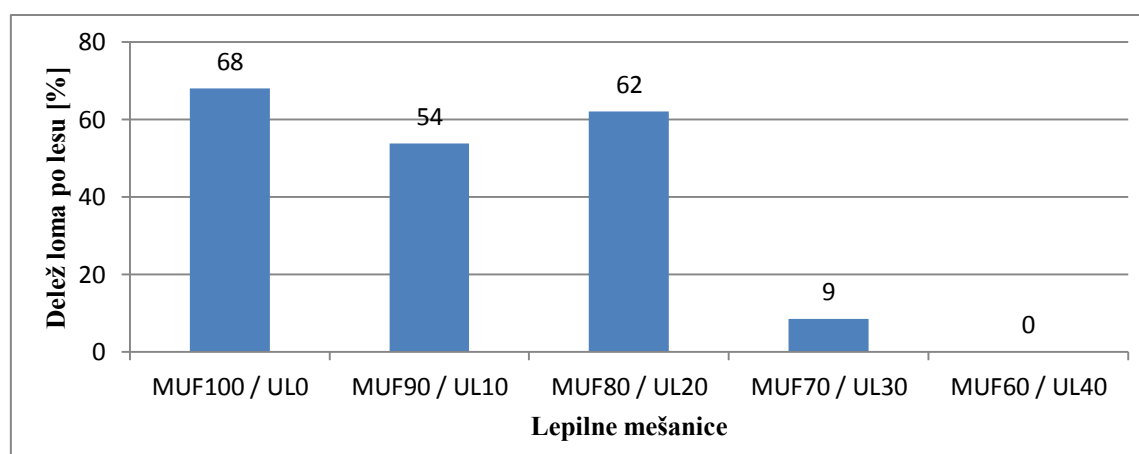
Preglednica 9: Strižna trdnost lepilnih spojev in delež loma po lesu preskušancev za uporabo v vlažnih pogojih

Lepilna mešanica	MUF100 / UL0	MUF90 / UL10	MUF80 / UL20	MUF70 / UL30	MUF60 / UL40
Povprečna strižna trdnost [N/mm ²]	2,1	1,7	1,0	0,2	0,0
Standardni odklon strižne trdnosti	0,29	0,23	0,37	0,33	0,00
Povprečna ocena loma po lesu [%]	68	54	62	9	0

Preskušance za uporabo v vlažnih pogojih smo pripravili kot zahteva standard, kjer smo jih najprej namakali 24 ur v hladni vodi, nato pa kuhali 6h ter ohlajali 1h pred testiranjem. (Preglednica 6, Razred zlepljenosti 2). Že pri njihovi pripravi je nekaj lepilnih spojev popustilo in so preskušanci razpadli. Preskušanci, lepljeni z lepilnimi mešanicami z večjim deležem MUF lepila, so ostali v prvotnem stanju in smo jih lahko testirali. Preskušanci z večjim deležem UL pa so že med pripravo večina razpadli in tako smo jih testirali manj. Ugotovili smo, da lahko v lepilno mešanico dodamo do 20 % UL, da še ustreza standardnim zahtevam (kjer mora biti strižna trdnost večja ali enaka 1 N/mm²) tako glede strižne trdnosti lepilnega spoja (Slika 25) kot loma po lesu (Slika 26).



Slika 25: Strižna trdnost lepilnega spoja preskušancev za uporabo v vlažnih pogojih



Slika 26: Delež loma po lesu preskušancev za uporabo v vlažnih pogojih

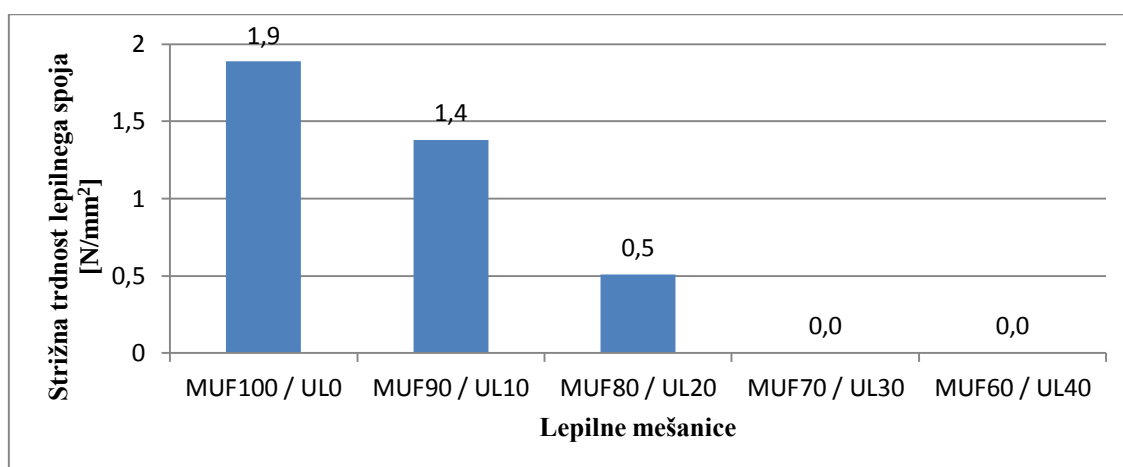
4.1.2.3 Strižna trdnost lepilnih spojev za uporabo v zunanjih pogojih (razred zlepljenosti 3)

V preglednici 10 so prikazane povprečna strižna trdnost lepilnega spoja, standardni odklon strižne trdnosti in povprečna ocena loma po lesu za različne lepilne mešanice za uporabo v zunanjih pogojih (Preglednica 7, Razred zlepljenosti 3).

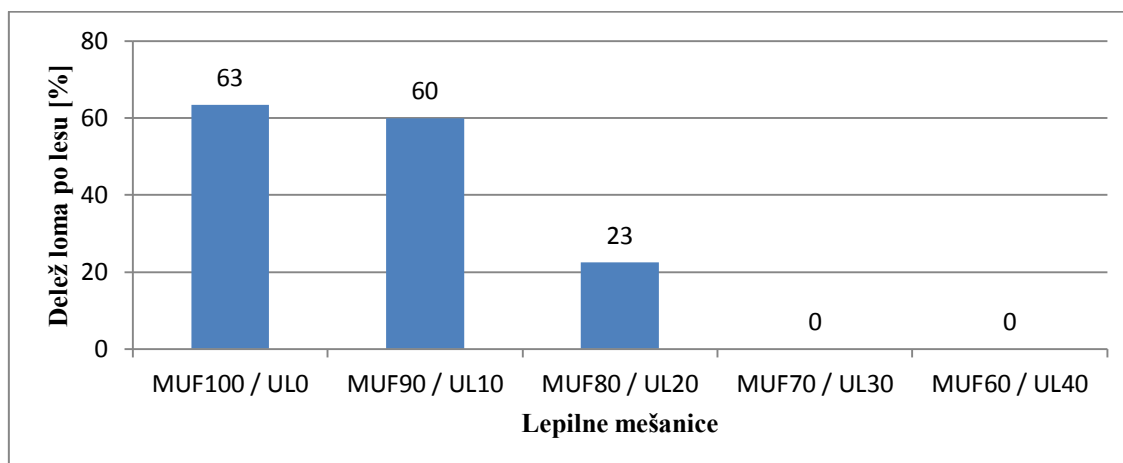
Preglednica 10: Strižna trdnost lepilnih spojev in delež loma po lesu preskušancev za uporabo v zunanjih pogojih

Lepilna mešanica	MUF100 / UL0	MUF90 / UL10	MUF80 / UL20	MUF70 / UL30	MUF60 / UL40
Povprečna strižna trdnost [N/mm ²]	1,9	1,4	0,5	0,0	0,0
Standardni odklon strižne trdnosti	0,19	0,20	0,46	0,00	0,00
Povprečna ocena loma po lesu [%]	63	60	23	0	0

Preskušance smo pripravili za testiranje po razredu zlepljenosti 3 (24h namakanje, kuhanje 4h v vreli vodi, sledi 16-20h sušenje pri temperaturi 60 °C, nato kuhanje 4h v vreli vodi ter 1h hlajenja v hladni vodi) Standardnim zahtevam so ustrezali le preskušanci zlepljeni z lepilnima mešanicama MUF100 / UL0, MUF90 / UL10, ker so imeli vrednosti strižne trdnosti nad 1 N/mm². Preskušanci zlepljeni z lepilno mešanico MUF80 / UL20 so imeli ob povprečni trdnosti 0,5 N/mm² premajhen delež loma po lesu (Slika 27). Preskušanci s 30 in 40 % deležem UL v lepilni mešanici so razpadli že med pripravo in teh nismo mogli testirati. Višji delež UL torej preveč poslabša lastnosti lepilnih spojev. Rezultate s podobnim trendom smo dobili za lom po lesu (Slika 28).



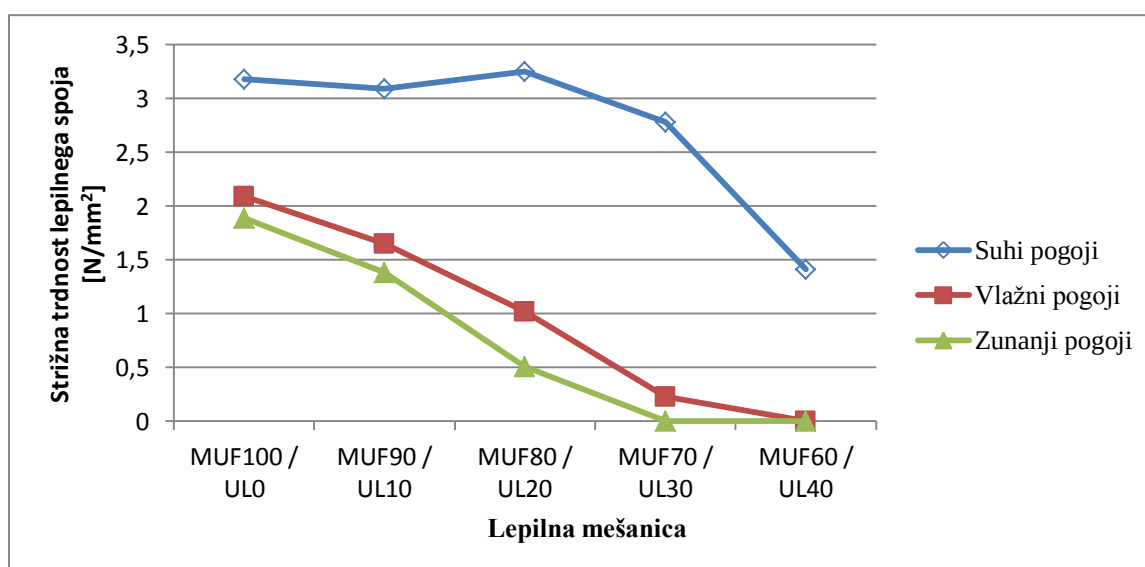
Slika 27: Strižna trdnost lepilnega spoja preskušancev za uporabo v zunanjih pogojih



Slika 28: Delež loma po lesu preskušancev za uporabo v zunanjih pogojih

4.1.2.4 Primerjava strižnih trdnosti lepilnega spoja pri vseh razredih zlepljenosti

Primerjava strižne trdnosti lepilnega spoja v vseh razredih zlepljenosti je predstavljena grafično na sliki 29. Iz rezultatov, pridobljenih na podlagi testiranja, je razvidno padanje strižne trdnosti lepilnega spoja z večanjem deleža UL v mešanici z MUF lepilom. V suhih pogojih ustrezajo standardnim zahtevam vse lepilne mešanice, medtem ko so v vlažnih pogojih standardne pogoje izpolnjevale le lepilne mešanice MUF100 / UL0, MUF90 / UL10 in MUF80 / UL20. Za uporabo v zunanjih pogojih pa ustrezata lepilni mešanici MUF100 / UL0 in MUF90 / UL10.



Slika 29: Primerjava strižnih trdnosti lepilnega spoja furnirnih vezanih plošč za vse izpostavljene pogoje uporabe glede na lepilno mešanico

Z grafa je razvidno padanje strižne trdnosti glede na izpostavitvene razrede. Problem nastane pri prevelikem deležu UL, zaradi česa lepilni spoji izgubijo na trdnosti in ali razpadejo med pripravo ali pa se porušijo pri testiranjih.

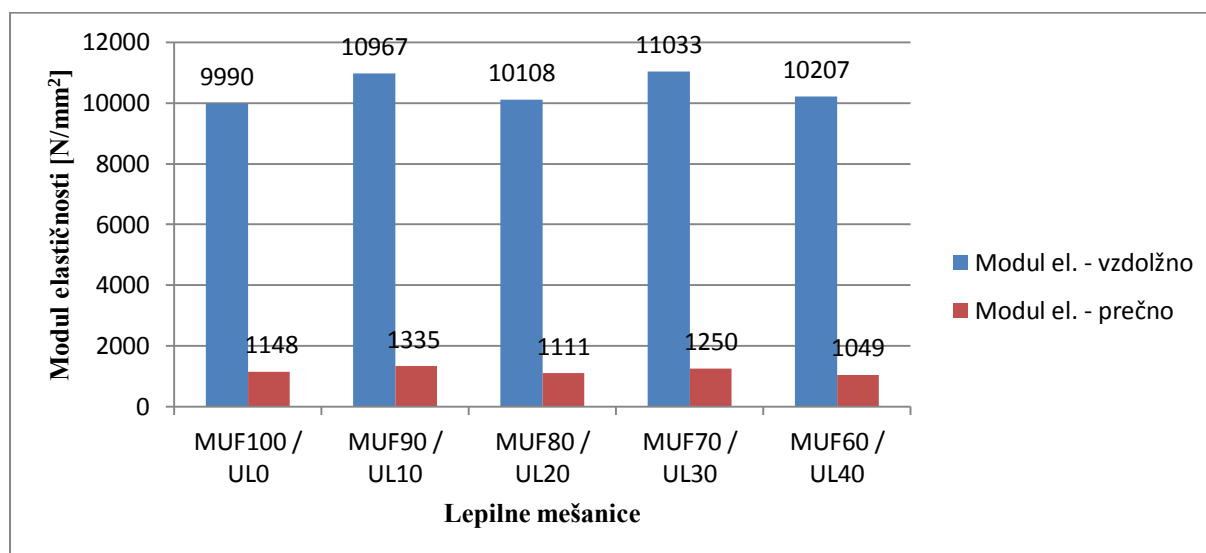
4.1.3 Modul elastičnosti in upogibna trdnost plošč

Ugotovili smo, da vrednosti modula elastičnosti in upogibne trdnosti plošč med seboj niso bistveno odstopale (Preglednica 11).

Preglednica 11: Izračunane vrednosti modula elastičnosti in upogibne trdnosti plošč

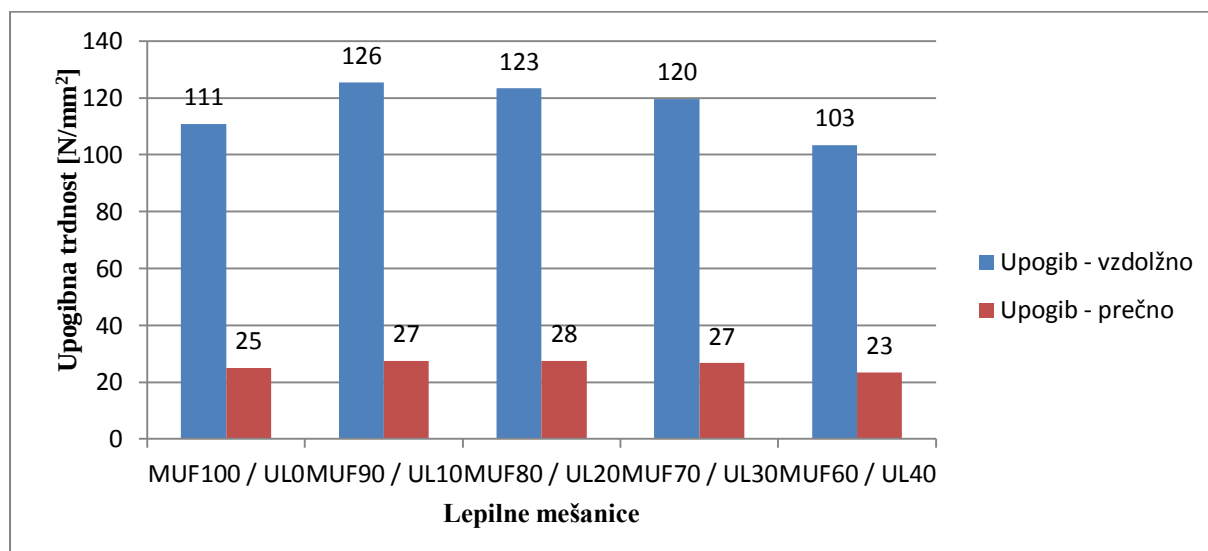
Lepilna mešanica		MUF100 / UL0	MUF90 / UL10	MUF80 / UL20	MUF70 / UL30	MUF60 / UL40
Upogibna trdnost [N/mm ²]	Vzdolžno	111	126	123	120	103
	Prečno	25	27	28	27	23
Modul elastičnosti [N/mm ²]	Vzdolžno	9990	10967	10108	11033	10207
	Prečno	1148	1335	1111	1250	1049

Ugotovili smo, da je bil modul elastičnosti pri vzdolžno orientiranih preskušancih nekajkrat večji kot pri prečno orientiranih preskušancih. Pri vzdolžno orientiranih preskušancih je imel modul elastičnosti najvišjo vrednost 11033 N/mm² (MUF 70 / UL 30), najnižjo pa 9990 N/mm² (MUF 100 / UL 0), medtem ko je bila pri prečno orientiranih preskušancih najvišja vrednost 1335 N/mm² (MUF 90 / UL 10), najnižja pa 1049 N/mm² (MUF 60 / UL 40) (Slika 30). Delež UL v lepilni mešanici ni imel bistvenega vpliva na modul elastičnosti. Razlike med preskušanci so lahko predvsem posledica različnih lastnosti furnirja (gostota, vlažnost, orientiranost lesnih vlaken, razpoke, grče).



Slika 30: Modul elastičnosti preskušancev lepljenih z različnimi lepilnimi mešanicami

Pri ugotavljanju upogibne trdnosti lepilnih spojev smo pri vzdolžno orientiranih preskušancih dobili najvišjo vrednost za preskušance lepljene z lepilno mešanico MUF90 / UL10, najnižjo pa pri preskušancih lepljenih z lepilno mešanico MUF60 / UL40. Pri prečno orientiranih preskušancih je bila najvišja vrednost pri preskušancih lepljenih z lepilno mešanico MUF80 / UL20, najnižja pa pri preskušancih lepljenih z lepilno mešanico MUF60 / UL40 (Slika 31). Prisotne razlike med preskušanci so lahko predvsem posledica različnih lastnosti furnirja.



Slika 31: Prikaz povprečnih vrednosti upogibne trdnosti plošč pri različnih lepilnih mešanicah

4.1.4 Gostota in vlažnost zlepljenih furnirnih vezanih plošč

Gostota in vlažnost zlepljenih furnirnih vezanih plošč sta prikazani v preglednici 12. Ugotovili smo, da so imeli najvišjo gostoto (773 kg/m^3) preskušanci, ki so bili zlepljeni z lepilno mešanico MUF80 / UL20, najnižjo (731 kg/m^3) pa preskušanci, ki so bili zlepljeni z lepilno mešanico MUF100 / UL0. Vlažnost preskušancev se glede na lepilno mešanico ni bistveno razlikovala in je bila v razponu od 7,7 % do 8,6 %.

Preglednica 12: Izračunane vrednosti za gostoto in vlažnost zlepljenih furnirnih vezanih plošč

Lepilna mešanica		MUF100 / UL0	MUF90 / UL10	MUF80 / UL20	MUF70 / UL30	MUF60 / UL40
Gostota [kg/m ³]	Povprečje	731	762	773	734	732
Vlažnost [%]	Povprečje	7,9	8,0	7,8	7,7	8,6

Na osnovi pridobljenih rezultatov lahko zaključimo, da je UL potencialno uporaben za izdelavo furnirnih vezanih plošč za uporabo v suhih in vlažnih pogojih, manj pa v zunanjih pogojih vendar le v primeru, ko mu dodamo vsaj 80% MUF lepila. S tem zagotovimo vodoodpornost. Lepilni spoj pri dodanem večjem deležu UL ni primeren za izdelavo furnirnih vezanih plošč zaradi slabše kakovosti zlepljenih lepilnih spojev.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

Uporaba VF tehnologije nam omogoča hitrejše segrevanje lepilnega spoja ali vode v lesu od klasične izvedbe segrevanja. S pomočjo VF tehnologije se lepilni spoj segreva hitreje kot les. S spreminjanjem parametrov pri VF segrevanju vplivamo na fizikalne in mehanske lastnosti lepljenca.

V raziskavi smo proučevali uporabo VF tehnologije za lepljenje furnirnih vezanih plošč z različnimi mešanicami UL in MUF lepila. Med lepilnimi mešanicami razmerij MUF100 / UL0, MUF90 / UL10, MUF80 / UL20, MUF70 / UL30 in MUF60 / UL40 smo iskali mešanice, s katerimi je še mogoče doseči kakovostne lepilne spoje. Pri ugotavljanju smo upoštevali 3 različne razrede zlepljenosti za strižno trdnost lepilnega spoja po standardu SIST EN 314-1:2005. Proučili smo tudi modul elastičnosti in upogibno trdnost po standardu SIST EN 310:1993. S pomočjo standardov SIST EN 322:1993 in SIST EN 323:1993 pa smo proučili še gostoto in vlažnost zlepljenih furnirnih vezanih plošč.

Največji možen delež UL v lepilni mešanici je v našem primeru 40 % pri suhih pogojih. V primeru vlažnih in zunanjih pogojev pa se ta delež zmanjša in znaša le še do največ 20 %.

5.1.1 Mehanske lastnosti

S strižnim testom smo ugotavljali maksimalno silo, katero še prenese lepilni spoj oz. do kakšnega loma je prišlo pri porušitvi. Računalniški program nam je izračunal strižno trdnost na podlagi maksimalne sile in površine lepilnega spoja. Delež loma po lesu smo vizualno ocenili.

Ugotovili smo, da so imeli preskušanci, ki so bili izpostavljeni 24 urnemu namakanju v hladni vodi (razred zlepljenosti 1), najboljše rezultate z vidika strižne trdnosti. Največjo strižno trdnost je dosegel preskušanelec iz plošče MUF80 / UL20, in sicer $3,3 \text{ N/mm}^2$. Preskušanci, ki so bili izpostavljeni 6 urnemu namakanju v vreli vodi in ciklu kuhanje-sušenje-kuhanje (razreda zlepljenosti 2 in 3) so si bili po rezultatih zelo podobni. Večina preskušancev je že med izpostavitvijo razpadlo, kar je bila posledica izpostavitvi zunanjim in vlažnim razredom ter večjim deležem UL.

Pri ugotavljanju upogibne trdnosti smo dobili rezultate za vzdolžne in prečne preskušance. V obeh primerih rezultati niso veliko odstopali med lepilnimi mešanicami. Pri vzdolžnih preskušancih je bila razlika med največjim (126 N/mm^2) in najmanjšim (103 N/mm^2) rezultatom 18 %, pri prečnih preskušancih pa tudi 18 %.

Pri ugotavljanju modula elastičnosti tudi ni bilo velikih odstopanj za vzdolžne in prečne preskušance. Razlika pri vzdolžnih preskušancih, med največjim (11033 N/mm^2) in najmanjšim (9990 N/mm^2) je bila 10 %. Razlika med največjim (1335 N/mm^2) in najmanjšim (1049 N/mm^2) prečnim preskušancem pa je bila 21 %. UL v lepilni mešanici ni veliko vplival na upogibno trdnost in modul elastičnosti.

Vpliv UL na mehanske lastnosti (povzeto iz diplomskega dela Ugovšek Aleša, 2013):

- Delež topila v UL pomembno vpliva na zagotovitev primernih fizikalnih lastnosti v UL
- Vrednost pH v UL (nižja kot je vrednost pH bolj poškodovana je površina)
- Zagotoviti je potrebno tudi dovolj visoko temperaturo (180 °C) pri lepljenju, da je lepilni spoj dosegel zahtevano trdnost
- Čas lepljenja je pomemben predvsem pri trajnosti zlepljenih spojev

5.1.2 Fizikalne lastnosti

Ugotavljali smo gostoto in vlažnost zlepljenih furnirnih vezanih plošč. Pri dobljenih rezultatih ni bilo velikega odstopanja, tako kot smo pričakovali. Največjo gostoto (773 kg/m^3) smo izmerili ploščam, kjer smo uporabili lepilno mešanico MUF80 / UL20, najmanjšo (732 kg/m^3) pa pri lepilni mešanici MUF60 / UL40. Vlažnost se je med zlepljenimi furnirnimi vezanimi ploščami gibala med 7,7 % in 8,6 %. Največjo vlažnost je imela plošča zlepljena z lepilno mešanico z največjo vsebnostjo UL.

Razlike v povezavi z večanjem deleža UL v lepilni mešanici so nastale predvsem:

- Ker se s povečanjem UL v lepilni mešanici povečuje odprtost lepilnih spojev
- Ker z večanjem deleža zmanjšamo odpornost lepilnega spoja
- Ker z večanjem deleža UL vplivamo na trdnostne lastnosti lepilnega spoja
- Ker temperatura stiskanja vpliva na kakovost lepilnega spoja.

5.2 SKLEPI

Na osnovi rezultatov raziskave lepljenja furnirnih vezanih plošč z različnimi mešanicami UL in MUF lepila z uporabo VF tehnologije smo ugotovili, da:

- Med uporabljenimi lepilnimi mešanicami so preskušanci iz plošče lepljene z lepilno mešanico MUF80 / UL20 ter razredu zlepljenosti 1 dosegli najvišjo strižno trdnost ($3,3 \text{ N/mm}^2$) in tako zadostili zahtevam standarda. Strižna trdnost preskušancev iz plošče zlepljene z lepilno mešanico MUF100 / UL0 ter izpostavljenih razredu zlepljenosti 2 in 3 pa je bila za vrednost 3 kratnika manjša od preskušancev iz razreda zlepljenosti 1 in je znašala $2,1 \text{ N/mm}^2$ pri razredu zlepljenosti 2 in $1,9 \text{ N/mm}^2$ za razredu zlepljenosti 3. Trdnost se je z večanjem deleža UL in spremembo razredov zlepljenosti, v katerem je bil glavni dejavnik vlaga, zmanjševala. V primeru ostrejših razmer (vlažni in zunanji pogoji) plošč z večjim deležem UL ne smemo uporabljati ker trdnosti lepilnih spojev ne dosegajo zahtev standarda. Največji delež UL v lepilnem spoju pri ostrejših razmerah je 20 %.
- Glede na pridobljene rezultate sklepamo, da lahko za izdelavo furnirnih vezanih plošč uporabimo določen delež UL v kombinaciji z MUF lepilom. Delež UL moramo prilagoditi glede na pogoje uporabe furnirnih vezanih plošč.

- Pri uporabi furnirnih vezanih plošč v vlažnih in zunanjih pogojih lahko v lepilno mešanico damo do največ 20 delov UL pri čemer za enak delež zmanjšamo količino MUF lepila. Za uporabo furnirnih vezanih plošč v suhih pogojih pa lahko uporabimo tudi do 40 delov UL v lepilni mešanici.
- Pri modulu elastičnosti so bili dobljeni rezultati brez velikih odstopanj. Srednja vrednost pri vzdolžnih preskušancih je znašala 10461 N/mm^2 , pri prečnih preskušancih pa 1179 N/mm^2 . Tudi pri upogibni trdnosti lepilnih spojev ni bilo večjih odstopanj. Srednja vrednost vzdolžnih preskušancev je znašala 117 N/mm^2 , pri prečnih preskušancih pa 26 N/mm^2 . Ugotovili smo, da dodatek UL v lepilno mešanico
- pri VF lepljenju bistveno ne vpliva na modul elastičnosti ter upogibno trdnost furnirnih plošč.
- Največjo vlažnost je imela furnirna vezana plošča zlepljena s 40 deli UL, kar je v naši raziskavi največji delež UL v lepilni mešanici. Največjo gostoto smo izmerili pri plošči zlepljeni z 20 deli UL, ki se je od najmanjše vrednosti razlikovala za 42 kg/m^3 .

Uporaba takšne lepilne mešanice bi bila v prihodnosti zanimiva z vidika zmanjšanja MUF lepila, vendar bi za njihovo uporabo morali spremeniti parametre stiskanja plošč (povišati temperaturo ali podaljšati čas), da bi s tem dosegli zadostno strižno trdnost lepilnega spoja.

6 POVZETEK

Osnovni cilj diplomske naloge je bil uporabiti različne deleže UL v lepilni mešanici z MUF lepilom, zlepliti več vrst furnirnih vezanih plošč z VF tehnologijo in ugotoviti njihove mehanske in fizikalne lastnosti ter na osnovi rezultatov identificirati primerno razmerje med MUF lepilom in UL v lepilni mešanici za VF lepljenje furnirnih vezanih plošč.

Izdelali smo po dve furnirni vezani plošči za vsako lepilno mešanico posebej (MUF100 / UL0, MUF90 / UL10, MUF 80 / UL20, MUF70 / UL30, MUF60 / UL40), dimenzij 500 mm x 500 mm. Bukov furnir, ki smo ga dobili v podjetju PIVKA, smo zleplili v 3 slojno furnirno vezano ploščo z lepilno mešanico iz MUF lepila (Meldur H97) in UL (podjetja GG Postojna).

Iz plošč smo izdelali preskušance za ugotavljanje strižne trdnosti lepilnega spoja, ugotavljanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti, ter ugotavljanje gostote in vlažnosti.

Preskušance smo nato v laboratoriju na Oddelku za lesarstvo pripravili po standardu SIST EN 314-1:2005, ki opredeljuje pripravo preskušancev po 3 različnih postopkih umetnega staranja lepilnih spojev za razrede zlepljenosti 1, 2 in 3. Preskušance smo potopili v hladno vodo (20 °C) za 24 ur (razred zlepljenosti 1), pri drugem razredu zlepljenosti smo preskušance 6 ur namakali v vreli vodi in 1 uro hladili v hladni vodi (20 °C) pri razredu zlepljenosti 3 pa smo 4 ure namakali v vreli vodi, sledilo je 16 – 20 ur sušenja pri 60 °C, ponovno 4 ure kuhali ter 1 uro hladili v hladni vodi pri 20 °C. Standarda SIST EN 310:1993 in SIST EN 323:1993 predpisujeta enake pogoje priprave pred ugotavljanjem upogibne trdnosti in gostote. Pri obeh smo preskušance uravnovesili v klima komori pri temperaturi 20 °C ter relativni zračni vlagi 65 %. Preskušance za ugotavljanje vlažnosti pa smo pripravili po standardu SIST EN 322:1993.

Strižno trdnost lepilnih spojev in upogibno trdnost ter modul elastičnosti smo ugotavljali s testirnim strojem Zwick Roell 005 oziroma Zwick Z100. Pri testiranju strižne trdnosti preskušancev je bil testirni stroj voden z računalniškim programom testXpert II, v katerega smo vnesli širino preskušanca in razdaljo med zareza. Po vpetju preskušanca, smo le tega pričeli obremenjevati s konstantnim pomikom 0,6 mm/min, da je prišlo do loma v 30 ± 10 s. Po končanem testiranju smo vizualno ocenili lom po strižni površini in vrednost podali v procentih. 0 % je pomenilo lom v celoti po lepilu, 100 % pa lom v celoti po lesu. Pri testiranju upogibne trdnosti in modula elastičnosti preskušancev smo v računalniški program vnesli širino in dolžino preskušanca ter ga namestili v testirni stroj na podpore za testiranje 3 točkovnega upogiba. Razdalja med podporama je znašala $20 \cdot t$, kjer je t debelina preskušanca. Predpisane dimenzije pritisknega zgornjega valja so 30 mm, podpornih spodnjih valjev pa 15 mm. Obremenjevali smo ga 30 – 90 s in s tem merili silo do porušitve.

Na osnovi raziskav smo ugotovili, da pri razredu zlepljenosti 1 lahko lepilna mešanica vsebuje do 40 % UL, pri drugem in tretjem razredu zlepljenosti pa do 20 %, da je strižna trdnost v skladu z zahtevami standarda. Da bi delež UL pri drugem in tretjem razredu zlepljenosti zvišali, bi morali spremeniti čas stiskanja (daljši čas) in povečati temperaturo stiskanja.

Najvišji izmerjeni modul elastičnosti je dosegel vrednost 11033 N/mm^2 in je bil za 9,5 % večji od najnižje vrednosti, v prečni smeri pa je bil 1335 N/mm^2 in je bil za 21,4 % višji od najnižje vrednosti, ki je znašala 1049 N/mm^2 .

Upogibna trdnost zlepljenih furnirnih vezanih plošč je v vzdolžni smeri dosegla najvišjo vrednost 126 N/mm^2 in je bila za 17,5 % višja od najnižje vrednosti, ki je znašala 103 N/mm^2 . Najvišja vrednost v prečni smeri pa je dosegla 28 N/mm^2 in je bila za 15,2 % višja od najnižje vrednosti, ki je znašala 23 N/mm^2 . Pri preskušancih z večjo vsebnostjo UL (40 %) v lepilni mešanici je bilo opaziti vizualne razlike po opravljenih testiranjih. Ti preskušanci so bili zlomljeni po lesu in ne po lepilnem spoju.

Gostota ni veliko variirala, med najvišjo vrednostjo lepilne mešanice MUF80 / UL20, ki je znašala 773 kg/m^3 in najnižjo vrednostjo lepilne mešanice MUF60 / UL40, 731 kg/m^3 je bilo le 5,4 %.

Najvišjo vlažnost so imeli preskušanci zlepljeni z lepilno mešanico MUF60 / UL40 in sicer 8,6 %. Med najvišjo vrednostjo lepilne mešanice MUF60 / UL40 (8,6 %) in najnižjo vrednostjo lepilne mešanice MUF80 / UL20 (7,7 %) je bilo 2,3 % odstopanje.

Zaključimo lahko, da lahko pri VF lepljenju - izdelavi furnirnih vezanih plošč, ki so namenjene za uporabo v suhih pogojih, v lepilni mešanici nadomestimo do 40 % MUF lepila z UL, pri ploščah, ki so namenjene za uporabo v vlažnih pogojih je lahko dodatek UL največ 20 % in pri ploščah, ki so namenjene za uporabo v zunanjih pogojih največ 10 %. Dodatek UL vpliva predvsem na odpornost lepilnih spojev proti vlagi in vodi, na preučevane mehanske in fizikalne lastnosti plošč pa nima bistvenega vpliva.

UL je zanimiva alternativa sintetičnim lepilom, saj zmanjša emisije prostega formaldehida (predvsem na račun manjše vsebnosti formaldehida v lepilni mešanici). V prihodnosti bi lahko nadomestil tudi večji delež MUF-a, a bi bilo potrebnih še nekaj raziskav na temo razvoja in pripravo UL, predvsem pa zmanjšanja stroškov izdelave UL in povečanje vodoodpornosti spojev zlepljenih z UL.

7 VIRI

- Alma M. H., Shiraishi N. 1998. Novolak-Resin type moldings from phenolated wood prepared in the presence of sulfuric acid as a catalyst, Journal of polymer engineering, 18: 197-220
- Bouvier J.M., Gelus M., Maugendre S. 1988. Wood liquefaction - an overview. Applied energy, 30: 85-98
- Budija F., Tavzes Č., Zupančič-Kralj L., Petrič M., 2009. Self-crosslinking and film formation ability of liquefied black poplar. Bioresource technology, 100: 3316-3323
- Bukev. Gozd in gozdarstvo.
<http://gozd-les.com/slovenski-gozdovi/drevesa/bukev> (27. jul. 2014)
- Celuloza. Wikipedija.
<http://sl.wikipedia.org/wiki/Celuloza> (27. jul. 2014)
<http://sl.wikipedia.org/wiki/Slika:Cellulose-2D-skeletal.svg> (27. jul. 2014)
- Čufar K. 2001. Opisi lesnih vrst. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 55 str.
- Fengel D., Wegener G. 1984. Wood chemistry, ultrastructure, reactions. Berlin, Walter de Gruyter: 613 str.
- Fenol. Wikipedija.
<http://sl.wikipedia.org/wiki/Fenol> (3. avg. 2014)
- Fenol formaldehidne smole.
<http://www.fenolit.si/index.php?lang=sl&page=1&id=2> (3. avg. 2014)
- Formaldehid. Wikipedija.
<http://sl.wikipedia.org/wiki/Formaldehid> (3. avg. 2014)
- Furnir.
<http://www.lb-furnir.com/furnir-furnir/ponudba-furnir/> (4. avg. 2014)
- Furnirne vezane plošče.
http://www.cpi.si/files/cpi/userfiles/Lesarstvo_tapetnistvo/lesne_plosce.pdf (4. avg. 2014)
- Hemiceluloza. Wikipedija.
<http://sl.wikipedia.org/wiki/Hemiceluloza> (25. jul. 2014)
- Honglu X., Tiejun S. 2006. Wood liquefaction by ionic liquids. Holzforschung, 60, 5: 509-512

- Jasiukaityte E., Kunaver M., Strlič M. 2007. Cellulose degradation an acid catalyzed glycolysis. V: Science & technology of biomasses: advances and challenges: materials, chemicals & processes from agricultural and forest biomass: proceedings book. Rome, Tor Vergata University: str. 228-231
- Jež B. 2011. Izdelava opažne plošče z lepilom na osnovi utekočinjenega lesa. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 32 str.
- Kishi H., Fujita A., Miyazaki H., Matsuda S., Marukami A. 2006. Synthesis of wood- based epoxy resins and their mechanical and adhesive properties. Journal of applied polymer science, 102, 3: 2285-2292
- Kobayashi M., Asano T., Kajiyama M., Tomito B. 2000. Analysis on residue formation during wood liquefaction with polyhydric alcohol. Journal of wood science, 50, 5: 407-414
- Kržan A., Kunaver M. 2006. Microwave haeting in wood liquefaction. J. appl. polymer sci., 101, 2: 1051-1056
- Lee S.H., Teramoto Y., Shiraishi N. 2002a. Biodegradable polyurethane foam from liquefied waste paper and its thermal stability, biodegradability, and genotoxicity. Journal of applied polymer science, 83, 7: 1482-1489
- Les. Wikipedija.
http://sl.wikipedia.org/wiki/Les#Kemi.C4.8Dna_zgradba (23. jul. 2014)
- Lignin – polimer. Wikipedija, prosta enciklopedija (14. sept. 2013).
<http://sl.wikipedia.org/wiki/Lignin> (25. jul. 2014)
http://sl.wikipedia.org/wiki/Slika:Lignin_structure.svg (25. jul. 2014)
- Lin L., Yoshioka M., Yao Y., Shirashi N. 1994. Liquefaction of wood in the presence of phenol using phosphoric acid as a catalyst and the flow properties of the liquefied wood, J. of appl. polymer sci., 52: 1629-1636
- Mešić N. 1998. Furniri, furnirske i stolarske ploče. Sarajevo, Grafika Šaran: 387 str.
- Mun S. P., Hassan E. M., Yoon T. H. 2001. Evaluation of organic sulfonic acids as catalyst during cellulose liquefaction using ethylene carbonate. J. Ind. Eng. Chem., 7: 430-434
- Nikolić M.S. 1988. Furniri i slojevite ploče. Beograd, Građevinska knjiga: 414 str.
- Pavlič M., Tišler V. 2000. Lesne polioze listavcev. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 61: 121-142
<http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-QUGO3Q22/> (25. jul. 2014)

- Resnik J. 1989. Lepila in lepljenje lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 103 str.
- Resnik J., Berčič S., Cikač B. 1995. Visokofrekvenčno segrevanje in lepljenje lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 109 str.
- Rowell R.M. 2005. Handbook of wood chemistry and wood composites. Boca Raton, CRC Press: 487 str.
- Shiraishi N., Hse C. 2000. Liquefaction of the used creosote-treated wood in the presence of phenol and its application to phenolic resin. Wood adhesives, Session 3B: Advances in wood adhesive formulations: 259-266
- SIST EN 310: 1993. Wood-based panels – Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength.
- SIST EN 314-1: 2005. Vezan les – Kakovost zlepljenih spojev – 1. del: Preskusne metode.
- SIST EN 314-2: 1996. Vezan les – Kakovost zlepljenih spojev – 2. del: Zahteve.
- SIST EN 322: 1993. Lesne plošče – Določanje vlažnosti.
- SIST EN 323: 1993. Lesne plošče – Ugotavljanje gostote.
- SIST EN 326-1: 1996. Vzorčenje, izrez in pregled lesnih plošč – Vzorčenje, izrez in izražanje rezultatov preskušanja.
- Šernek M. 2012. Lepila in lepljenje lesa. Lepila na osnovi utekočinjenega lesa Študijsko gradivo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: str. 21-23
- Šernek M. 2012. Lepila in lepljenje lesa. Študijsko gradivo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: str. 88-92
- Tišler V. (2002). Utekočinjen les in njegova uporaba. Les, 54, 9: 284-291
<http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:doc-A6X3FOWU/> (1. avg. 2014)
- Tohmura S. in sod. 2005. Preparation and characterization of wood polyalcohol-based isocyanate adhesives. Journal of applied polymer science, 98, 2: 791-795
- Ugovšek A., Šernek M. 2011. Kinetika in mehanizmi utekočinjanja lesa. Les, 63, 11/12: 405-411
- Ugovšek A., Šernek M. 2009. Naravni materiali za izdelavo sodobnih lepil za les. Les, 61, 11/12: 451-458
- Ugovšek A. 2013. Utrjevanje utekočinjenega lesa in zgradba spoja pri lepljenem lesu. Doktorsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 102 str.

Utekočinjen les

http://projekti.gimvic.org/2011/2a/utekocinjen_les/ (30. jul. 2014)

Wagenfuhr R. 1996. Holzatlas. Leipzig, Fachbuchverlag: 688 str.

Wei Y., Cheng F., Li H., Yu J., 2004. Synthesis and properties of polyurethane resins based on liquefied wood. J. of Appl. Polymer Sci.; 92: 351-356

ZAHVALA

Zahvaljujem se prof. dr. Milanu Šerneku za mentorstvo in strokovno pomoč pri nastajanju diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi viš. pred. mag. Bogdanu Šegi za somentorstvo in prav tako strokovno pomoč pri nastajanju diplomske naloge.

Zahvala gre tudi izr. prof. dr. Sergeju Medvedu za opravljeno recenzijo diplomske naloge.

Zahvaljujem pa se tudi podjetju JAVOR Pivka d.d. za bukov furnir in podjetju GG Postojna za UL.

Zahvalil pa bi se rad še staršema, ki sta mi pomagala in omogočila študij, bratu in prijateljem za vzpodbudo in podporo pri nastajanju diplomske naloge.