

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Janez POPLAZ

**IZDELAVA FURNIRNE VEZANE PLOŠČE Z
RAZLIČNIMI MEŠANICAMI MUF LEPILA IN
UTEKOČINJENEGA LESA**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Janez POPLAZ

**IZDELAVA FURNIRNE VEZANE PLOŠČE Z RAZLIČNIMI
MEŠANICAMI MUF LEPILA IN UTEKOČINJENEGA LESA**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**THE MANUFACTURE OF VENEER PLYWOOD WITH DIFFERENT
MIXTURES OF MUF ADHESIVES AND LIQUEFIED WOOD**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2016

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

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Milana Šerneka, za recenzenta pa viš. pred. mag. Bogdana Šega.

Mentor: prof. dr. Milan Šernek

Recenzent: viš. pred. mag. Bogdan Šega

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

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.

Janez Poplaz

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 630*824.8
KG	furnirne plošče/utekočinjen les/melamin-urea-formaldehidno lepilo/klasično vroče stiskanje/strižna trdnost/upogibna trdnost
AV	POPLAZ, Janez
SA	ŠERNEK, Milan (mentor)/ŠEGA, Bogdan (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2016
IN	IZDELAVA FURNIRNE VEZANE PLOŠČE Z RAZLIČNIMI MEŠANICAMI MUF LEPILA IN UTEKOČINJENEGA LESA
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	III, 48 str., 18 pregl., 29 sl., 23 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	V raziskavi smo proučevali vpliv temperature lepljenja in različnih lepilnih mešanic melamin-urea-formaldehidnega (MUF) lepila in utekočinjenega lesa (UL) na mehanske in fizikalne lastnosti 3-slojnih furnirnih vezanih plošč, ki so bile lepljene v klasični stiskalnici za vroče lepljenje. Uporabili smo 5 lepilnih mešanic z naslednjimi razmerji med MUF lepilom in UL: MUF100/UL0, MUF90/UL10, MUF80/UL20, MUF70/UL30 ter MUF60/UL40. V prvem delu smo uporabili enako temperaturo lepljenja (135 °C) za vse lepilne mešanice, v drugem delu pa smo izbrali lepilni mešanici MUF100/UL0 in MUF70/UL30 ter jih uporabili za izdelavo plošč pri različnih temperaturah lepljenja (155 °C, 165 °C, 175 °C). Iz izdelanih plošč smo nato pripravili preskušance za ugotavljanje strižne trdnosti lepilnega spoja in upogibne trdnosti ter modula elastičnosti furnirnih vezanih plošč. Po standardu SIST EN 314-2 so zahtevam za uporabo plošč v suhih pogojih ustrezale vse uporabljene lepilne mešanice pri vseh uporabljenih temperaturah lepljenja. Za uporabo v vlažnih pogojih so ustrezale lepilne mešanice z do 20 % dodanega UL, za uporabo v zunanjih pogojih pa lepilni mešanici z do 10 % dodanega UL. Lepilna mešanica ni bistveno vplivala na upogibne lastnosti izdelanih plošč.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs
DC UDC 630*824.8
CX veneer plywood/liquefied wood/melamine-urea-formaldehyde (MUF) adhesives/classic press for the hot bonding/shear strength/bending strength
AU POPLAZ, Janez
AA ŠERNEK, Milan (supervisor)/ŠEGA, Bogdan (reviewer)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2016
TI THE MANUFACTURE OF VENEER PLYWOOD WITH DIFFERENT MIXTURES OF MUF ADHESIVES AND LIQUEFIED WOOD
DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO IV, 48 p., 18 tab., 29 fig., 23 ref.
LA sl
AL sl/en
AB In this study we investigated the influence of bonding temperatures and a variety of adhesive mixtures of melamine-urea-formaldehyde (MUF) adhesives and liquefied wood (LW) according to the mechanical and physical properties of 3-layered veneer plywood panels, which were glued together by using the classic hot bonding press. We used 5 adhesive mixtures with the following proportions between the MUF adhesive and LW: MUF100 / LW0, MUF90 / LW10, MUF80 / LW20, MUF70 / LW30A and MUF60 / LW40. In the first part, we used the same gluing temperature (135 °C) for all the adhesive mixtures, while in the second part we selected adhesive mixtures MUF100 / LW0 and MUF70 / LW30, that we used for the manufacture of panels at different temperatures of bonding (155 °C, 165 °C, 175 °C). By using the manufactured panels special testers were prepared to determine the shear and flexible strength of adhesive bond. Moreover we also tested a module of elasticity of veneer plywood panels. According to standard EN 314-2, the requirements for the use of panels in dry conditions are suitable for all the adhesive mixtures at any temperatures of the bonding. For the use in humid conditions the adhesive mixtures with up to 20 % added LW are the only appropriate for the use. And the external conditions demand the adhesive mixtures with up to 10 % added LW as being suitable. However, the adhesive mixture does not significantly affect the bending properties of manufactured boards.

KAZALO VSEBINE

str.

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION.....	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
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 ali hemiceluloze	2
2.1.3 Lignin.....	3
2.2 UTEKOČINJEN LES	3
2.2.1 Postopki utekočinjanja lesa.....	4
2.2.2 Mehanizem utekočinjanja lesa	4
2.2.3 Uporaba utekočinjenega lesa	5
2.2.3.1 Fenol-formaldehidne smole	5
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 (MUF) LEPILA	6
2.4 FURNIRNE VEZANE PLOŠČE	7
2.4.1 Izdelava furnirnih vezanih plošč	7
2.5 VROČE LEPLJENJE IN STISKANJE LESA	7
3 MATERIALI IN METODE.....	9
3.1 MATERIALI.....	9
3.1.1 Melamin-urea-formaldehidno lepilo	9
3.1.2 Utekočinjen les	9
3.1.3 Lepilna mešanica	10
3.1.4 Furnir.....	10
3.2 METODE	11
3.2.1 Priprava lepilne mešanice	11
3.2.2 Sestava furnirnih vezanih plošč	11
3.2.3 Nanos lepila in lepljenje v klasični vroči stiskalnici.....	12
3.2.4 Izdelava in oznaka preskušancev	13
3.2.5 Ugotavljanje mehanskih in fizikalnih lastnosti plošč ter nekaterih lastnosti lepila	18
3.2.5.1 Ugotavljanje strižne trdnosti za uporabo plošč v različnih pogojih po standardu SIST EN 314 – 1 ..	18
3.2.5.2 Ugotavljanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti.....	24
3.2.5.3 Ugotavljanje gostote in vlažnosti furnirnih vezanih plošč	26
4 REZULTATI IN RAZPRAVA	28

4.1	MEHANSKE IN FIZIKALNE LASTNOSTI.....	28
4.1.1	Strižna trdnost lepilnih spojev.....	28
4.1.1.1	Kakovost zlepljenosti lepilnih spojev za uporabo furnirnih vezanih plošč v suhih pogojih	28
4.1.1.2	Kakovost zlepljenosti lepilnih spojev za uporabo furnirnih vezanih plošč v vlažnih pogojih	31
4.1.1.3	Kakovost zlepljenosti lepilnih spojev za uporabo furnirnih vezanih plošč v zunanjih pogojih	34
4.1.1.4	Primerjava povprečnih strižnih trdnosti lepilnega spoja preskušancev glede na pogoje uporabe, vrsto lepila mešanice in temperaturo lepljenja.....	36
4.1.2	Upogibna trdnost in modul elastičnosti furnirnih vezanih plošč.....	38
4.1.2.1	V preglednici 17 so meritve prečnih in vzdolžnih preskušancev, ki so bili lepljeni z dvema lepilnima mešanicama ter pri štirih različnih temperaturah.	40
4.1.3	Gostota in vlažnost zlepljenih furnirnih vezanih plošč.....	41
4.1.4	Rast temperature v lepilnem spoju	41
5	RAZPRAVA IN SKLEPI.....	43
5.1	RAZPRAVA.....	43
5.2	SKLEPI	44
6	POVZETEK	45
7	VIRI	47
	ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Fizikalno kemične lastnosti lepila Meldur H97	9
Preglednica 2: Pogoji za utrjevanje lepila.....	9
Preglednica 3: Izračun porabe sestavin za pet različnih lepilnih mešanic (MUF : UL) za izdelavo dveh furnirnih plošč na lepilno mešanico	11
Preglednica 4: Dimenzije preskušancev za posamezno vrsto testiranja.....	13
Preglednica 5: Pomen oznak preskušancev zlepljenih v prvem delu raziskave	15
Preglednica 6: Pomen oznak preskušancev zlepljenih v drugem delu raziskave	15
Preglednica 7: Oznake lepilnih mešanic in razmerja med MUF in UL	15
Preglednica 8: Režimi priprave preskušancev za testiranje strižne trdnosti furnirnih vezanih plošč namenjenih za uporabo v suhih, vlažnih in zunanjih prostorih	18
Preglednica 9: Zahteve standarda SIST EN 314–2:1996 za vse tri razrede zlepljenosti.....	23
Preglednica 10: Povprečne vrednosti strižne trdnosti in deleža loma po lesu preskušancev za razred zlepljenosti 1 (uporaba v suhih pogojih)	29
Preglednica 11: Povprečne vrednosti strižne trdnosti in deleža loma po lesu preskušancev lepljenih pri različnih temperaturah za razred zlepljenosti 1 (uporaba v suhih pogojih).....	30
Preglednica 12: Povprečne vrednosti strižne trdnosti in deleža loma po lesu preskušancev za razred zlepljenosti 2 (uporaba v vlažnih pogojih)	31
Preglednica 13: Povprečne vrednosti strižne trdnosti in deleža loma po lesu preskušancev lepljenih pri različnih temperaturah za razred zlepljenosti 2 (uporaba v vlažnih pogojih).....	33
Preglednica 14: Povprečne vrednosti strižne trdnosti in deleža loma po lesu preskušancev za razred zlepljenosti 3 (uporaba v zunanjih pogojih)	34
Preglednica 15: Povprečne vrednosti strižne trdnosti, deleža loma po lesu in standardnega odklona preskušancev lepljenih pri različnih temperaturah za razred zlepljenosti 3 (uporaba v zunanjih pogojih)	35
Preglednica 16: Povprečne vrednosti upogibne trdnosti in modula elastičnosti za vzdolžne in prečne preskušance za pet lepilnih mešanic, lepljenih pri enakih temperaturah.....	38
Preglednica 17: Povprečne vrednosti upogibne trdnosti in modula elastičnosti za vzdolžne in prečne preskušance za dve lepilni mešanici, lepljeni pri različnih temperaturah	40
Preglednica 18: Vlažnost in gostota furnirnih vezanih plošč	41

KAZALO SLIK

Slika 1:	Laboratorijska stiskalnica za vroče lepljenje	8
Slika 2:	Stekleni reaktor z zunanjim grelcem in mešalom	10
Slika 3:	Razporeditev lepilne mešanice po površini furnirja z ročnim valjčkom.....	13
Slika 4:	Krojna lista zazreza troslojne vezane plošče v preskušance	14
Slika 5:	Izžagani preskušanci za upogibno in strižno trdnost 1.serije iz 10 zlepljenih plošč	14
Slika 6:	Preskušane iz furnirne vezane plošče za ugotavljanje strižne trdnosti lepilnega spoja	16
Slika 7:	Preskušanci iz furnirne vezane plošče za ugotavljanje upogibne trdnosti	17
Slika 8:	Preskušane iz furnirne vezane plošče za ugotavljanje gostote in vlažnosti	17
Slika 9:	Kuhanje strižnih preskušancev na el.kuhalniku v stekleni čaši z vrelo vodo.....	19
Slika 10:	Razpadli strižni preskušanci med kuhanjem	20
Slika 11:	Testirni trgalni stroj Zwick / Roell Z005 (na levi) in program »testXpert II«(na desni)	21
Slika 12:	Vpetje preskušanca za določanje strižne trdnosti v čeljusti trgalnega stroja Zwick / Roell Z005	22
Slika 13:	Ocena loma po opravljenem testiranju [%]	23
Slika 14:	Nepravilen lom preskušanca po zunanem furnirju (izločenameritev)	23
Slika 15:	Klimatizacijska komora za kondicioniranje preskušancev	24
Slika 16:	Testirni stroj Zwick Z100 za ugotavljanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti (levo) in program »testXpert II« (desno).....	25
Slika 17:	Shema upogibnega testa na testirnem stroju	25
Slika 18:	Vpliv dodatka UL na strižno trdnost in lom po lesu preskušancev za uporabo v suhih pogojih	29
Slika 19:	Sprememba strižne trdnosti in loma po lesu preskušancev glede na temperaturo lepljenja in delež UL za uporabo v suhih pogojih.....	31
Slika 20:	Sprememba strižne trdnosti in loma po lesu preskušancev za uporabo v vlažnih pogojih	32
Slika 21:	Sprememba strižne trdnosti in loma po lesu preskušancev glede na temperaturo lepljenja za uporabo v vlažnih pogojih	33
Slika 22:	Sprememba strižne trdnosti in loma po lesu preskušancev za uporabo v zunanjih pogojih	34
Slika 23:	Sprememba strižne trdnosti in loma po lesu preskušancev glede na T lepljenja za uporabo v zunanjih pogojih za lepilni mešanici A(MUF100 / UL0) in D(MUF70 / UL30).....	35
Slika 24:	Sprememba strižne trdnosti lepilnih spojev po razredih zlepljenosti glede na delež UL v lepilni mešanici pri temperaturi lepljenja 135 °C	36
Slika 25:	Povprečne strižne trdnosti lepilne mešanice A(MUF100 / UL0) pri dveh različnih temperaturah lepljenja v različnih pogojih uporabe.....	37
Slika 26:	Povprečne strižne trdnosti lepilne mešanice D(MUF70 / UL30) pri štirih različnih temperaturah lepljenja v različnih pogojih uporabe.....	38
Slika 27:	Upogibna trdnost in modul elastičnosti preskušancev, ki so bili zlepljeni z različnimi lepilnimi mešanicami pri temperaturi 135 °C	39

Slika 28:	Upogibna trdnost in modul elastičnosti preskušancev, ki so bili zlepljeni z dvema lepilnima mešanicama pri različnih temperaturah lepljenja.....	40
Slika 29:	Prikaz naraščanja temperature v lepilnem spoju ter med grelno ploščo stiskalnice in površino furnirne vezane plošče v odvisnosti od časa stiskanja	42

1 UVOD

Za proizvodnjo lesnih kompozitov, kot so furnirne vezane plošče, opažne plošče, iverne plošče, lepljen lameliran les in druge, se letno porabi zelo veliko sintetičnih lepil, ki pa so ekološko oporečna. Sintetična lepila so v večini narejena iz naftnih derivatov, ki spadajo med neobnovljive vire, kar pa je v današnjem času zelo problematično iz ekološkega vidika. Zato so raziskave vedno bolj usmerjene v odkrivanje novih lepil za les ali nadomestke njihovih komponent, ki bi bile izdelane iz naravnejših in ekološko sprejemljivejših obnovljivih virov. Takšna komponenta je tudi utekočinjen les (UL), ki smo ga uporabili v naši raziskavi kot dodatek k lepilni mešanici melamin-urea-formaldehidnega (MUF) lepila, ki smo jo uporabili pri vročem lepljenju furnirnih vezanih plošč.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Uporaba UL kot samostojnega lepila za lepljenje lesa je neprimerna, ker takšen lepilni spoj dosega majhne strižne trdnosti ter nizko trajnost in nezadostno vodoodpornost. Zato bi radi del sintetičnega lepila v lepilni mešanici nadomestili z UL in poskušali najti največji še ustrezen delež UL, ki ga lahko dodamo, da zagotovimo zadostno kakovost lepilnega spoja, v skladu z zahtevami relevantnih standardov.

1.2 CILJ

Cilj diplomskega dela je v prvi fazi izdelati furnirne vezane plošče s postopkom vročega lepljenja pri priporočeni temperaturi, kjer bomo uporabili različne deleže UL v različnih lepilnih mešanicah z MUF lepilom. Nato bomo ugotavljali njihove fizikalne in mehanske lastnosti. V drugem delu pa bomo za izbrano lepilno mešanico (MUF : UL) izdelali nove furnirne vezane plošče, ki jih bomo lepili pri različnih temperaturah in tako poskušali z višanjem temperature lepljenja doseči zadostno trdnost lepilnega spoja.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Predvidevamo, da bo lepilni spoj manj kvaliteten in trajen, če bo dodan večji delež UL v MUF lepilu in tako ne bo dosegal zahtev standarda. Zato se bomo osredotočili na deleže dodanega UL v lepilni mešanici do 40 delov. Ugotoviti moramo optimalno razmerje med UL in MUF lepilom v lepilni mešanici ter optimalno temperaturo stiskanja, da bomo dosegli ustrezno trdnost lepilnega spoja.

2 PREGLED OBJAV

2.1 LES IN ZGRADBA LESA

Les je naravni material, ki se nahaja v steblih olesenelih rastlin in je zgrajen iz številnih kemijskih elementov. Večinoma ga gradita ogljik (C) in kisik (O), v majhnih količinah pa sledijo še vodik (H), dušik (N), železo (Fe), kalij (K) in drugi elementi.

Les je eden najpomembnejših gradbenih materialov v zgodovini človeštva. Ker je les obnovljiv, biološko razgradljiv in zelo trpežen material, je njegova uporabnost izjemno široka. Uporabljamo ga za pridobivanje energije, kot gradbeni material, za izdelavo pohištva, pri proizvodnji papirja,...itd.

Les vsebuje makromolekule oz. naravne polimere, kot so celuloza, polioze, lignin, ekstraktivi, eterična olja, barvila,...itd. Listavci in iglavci se razlikujejo po vsebnosti prej omenjenih polimerov. Vsi našeti polimeri se med seboj v lesu tesno prepletajo (Les, Wikipedia, 2016).

2.1.1 Celuloza

Celuloza ($C_6H_{10}O_5)_n$ (n =število monomernih enot) je naravni polimer, ki spada med polisaharide. Zgrajena je iz molekul glukoze. Izdelujejo jo rastlinske celice in je najbolj razširjena organska snov na našem planetu. V 19. stoletju jo je odkril in izoliral francoski kemik Anselme Payen, ki je prisotnost celuloze v določeni snovi odkril z dodatkom joda, pri čemer se je snov obarvala modro (Celuloza, Wikipedia, 2016).

Pridobivajo jo iz lesa, njena najbolj poznana uporaba pa je v papirni industriji in pa v tekstilni industriji, saj iz nje izdelujejo umetno svilo, viskoso,...ipd. Celuloza je netopna v vodi in večini topilih, močne kisline pa jo razgradijo.

2.1.2 Polioze ali hemiceluloze

Polioze so kratki in razvejani polimeri polisaharidov. Sestavljeni so iz različnih sladkorjev in uronske kisline ter predstavljajo nekje od 25 – 30 % lesne mase in se razlikujejo tako med listavci in iglavci, kot med posameznimi drevesnimi vrstami.

Razlika med hemicelulozo in celulozo je v tem, da ima prva v stranskih verigah sladkorje, sladkorne kisline in acetilne estre, ki vplivajo na to, da ima hemiceluloza nizko stopnjo kristaliničnosti, tj. stopnja urejenosti polimernih verig (Petrič in sod., 2016).

Hemiceluloza v povezavi s celulozo vpliva na organizacijo lignina.

2.1.3 Lignin

Lignin je tridimenzionalni polimer, ki je sestavljen iz fenilpropanskih enot, med katerimi so najštevilčnejše aromatske spojine. Varuje celulozo in hemicelulozo pred razgradnjo in skupaj tvorijo celično steno olesenelega dela v rastlinah. Lignin predstavlja nekje od 25 – 30 % celične stene. Praviloma je v iglavcih nekaj več lignina kot pa v listavcih (Lignin, Wikipedia, 2016).

Spada med najbolj razširjene aromatske spojine in takoj za celulozo tvori največ biomase. Les, ki vsebuje veliko lignina je bolj odporen in kakovosten ter bolj široko uporaben. Takšen les je prav tako odlično gorivo, saj lignin sprošča več energije pri gorenju kot pa celuloza.

Ekstraktivi

Ekstraktivne snovi so organske spojine, ki se prav tako nahajajo v lesu in imajo manjše molekule. V živem tkivu so pomembni za obrambo olesenelih rastlin pred okužbami. Vplivajo na vonj in barvo lesa, na njegovo gostoto in trdnost ter ga varujejo pred škodljivci (Rowell, 2005; Fengel in Wegener, 1984).

Med ekstraktive spadajo mineralne snovi, barvila, smole, balzami, eterična olja,...ipd.

Bukev

Bukev (*Fagus sylvatica* L.) je gozdno listnato drevo, ki spada v družino bukovk. Zraste nekje do 40 m v višino in v Sloveniji predstavlja eno najbolj pogostih drevesnih vrst. Najdemo jo na nadmorski višini do okoli 900 m. Kot drevesna vrsta lahko tvori čiste sestoje, najpogostejše pa tvori mešane sestoje in se zelo dobro ujame z jelko. Skorja je gladke sive barve, les pa je rdečkasto bel in nima obarvane jedrovine. Gostota bukovine je med 490 in 910 kg/m³. Les je trd in zelo malo elastičen ter se zelo dobro krivi. Uporablja se za izdelavo furnirja, pohištva, igrač, vezanih plošč, konstrukcijskega lesa (Bukev, Wikipedia, 2016).

2.2 UTEKOČINJEN LES

Ljudje se vedno bolj zavedamo, da moramo vedno večjo skrb posvetiti okolju v katerem živimo. Prav zato se vračamo nazaj k naravnim in obnovljivim materialom, kot je les. Les lahko izkoristimo kot eno od surovin pri kemijski sintezi novih materialov in to nam omogoča postopek imenovan utekočinjanje lesa.

Utekočinjanje lesa je postopek, pri katerem zaradi reakcij z določenimi kemijskimi spojinami pride do razgradnje lesnih komponent. Slednje lahko dosežemo, če les izpostavimo visokemu tlaku (230 bar) in visoki temperaturi (150 - 250 °C). Traja lahko od 15 do 180 min ob prisotnosti različnih organskih topil, na primer fenolov, alkoholov, bisfenolov, hidroksi etrov in kislinskih katalizatorjev. Tako pridobljen tekoči les vsebuje fenole, olja in pline ter ogljik. Prisotnost slednjega nakazuje temno rjava barva tekočega lesa. Utekočinjanje lesa lahko dosežemo tudi pri nižji temperaturi (150 °C) in normalnem tlaku ob prisotnosti organskih topil in kislinskih katalizatorjev (Tišler, 2002).

2.2.1 Postopki utekočinjanja lesa

Strokovnjaki so razvili že kar nekaj načinov utekočinjenja lesa, prevladujoča načina sta s poliolami oz. polihidričnimi alkoholi ali s fenoli. Utekočinjenje lesa s polihidričnimi alkoholi je najbolj razširjeno, ker je relativno enostavno, pri postopku ne potrebujemo visokih temperatur in visokega tlaka. Najpogostejše opisana metoda utekočinjenja lesa s polihidričnimi alkoholi je ta, da lesne sekance ali lesno moko utekočinimo pri 150 °C v 15 minutah. Kot reagent za utekočinjenje uporabimo polietilen glikol s povprečno molsko maso 400 in glicerol. Kot katalizator je uporabljena žveplova (VI) kislina (Tišler, 2002).

Utekočinjenje lesa s fenoli uspešno poteka v alkalnem mediju, kjer kot katalizator uporabimo natrijev hidroksid (NaOH). Pomembno je razmerje med količinami lesa, fenola in NaOH. Najboljše lastnosti so dosegli z razmerjem med količino lesa in količino fenola 3:7 pri 5 % deležu NaOH. Druga metoda utekočinjenja s fenoli pa uporablja kislinske katalizatorje, kot sta fosforna kislina (H_3PO_4) in žveplova kislina (H_2SO_4) (Čuk, 2008).

Negativen pojav utekočinjenja lesa je ponovna kondenzacija že razgrajenih komponent lesa, ki potekajo predvsem ob uporabi kislinskih katalizatorjev. Rekondenzacija se odraža v večanju deleža ostanka lesa, na podlagi katerega določamo učinkovitost utekočinjenja (Tohmura in sod., 2005).

2.2.2 Mehanizem utekočinjanja lesa

Mehanizem utekočinjanja lesa in sorodnih spojin strokovnjaki še niso uspeli popolnoma pojasniti, so pa dokazali številne hipoteze na to temo, in sicer:

Utekočinjenje polisaharidov, ki je glavnina lesne mase, poteka z alkoholi oziroma fenolom ob uporabi žveplene kisline (H_2SO_4) z alkoholizo ali fenolizoglukozidne vezi.

Ob uporabi alkoholov se anomerne hidroksilne skupine reducirajočih končnih skupin ali tiste iz proste glukoze protonirajo in alkoholirajo tako, da nastane isti glikozid kot pri alkoholizi, ki je bila predhodno omenjena.

Hitrost utekočinjenja polisaharidov je odvisna od lastnosti topila. Utekočinjenje amorfne polisaharida, kot je škrob, je zelo hitro, medtem ko je utekočinjenje kristalinične celuloze dosti počasnejše.

Pri utekočinjenju polisaharidov z alkoholi ali fenoli najprej nastanejo ustrezni glukozidi.

Reakcija med polisaharidi in fenoli je bolj zapletena kot reakcija med polisaharidi in alkoholi. Vzrok je v lastnostih fenola. Ob njegovi uporabi nastanejo substance z višjo molsko maso, kar tudi podaljšuje reakcijske čase.

Mehanizem utekočinjenja lignina ob uporabi fenola so preučevali s kislinjskimi katalizatorji kot tudi brez njih. Izbrali so modelno substanco, in sicer gvajacil-glicerol-(-gvajacil eter GG). Ugotovili so, da GG pri povišani temperaturi brez katalizatorja homolitsko razpade v različne radikale.

Ocetna kislina kot katalizator močno pospeši homolizo. Če jo dodamo modelni substanci GG, reakcija poteka že pri 150 °C; reakcijski produkti so podobni tistim, ki jih dobimo pri visoki temperaturi brez katalizatorja. Če kot katalizator uporabimo H₂SO₄, nastopajo razgradne reakcije in kondenzacijske reakcije razgradnih produktov z dodanim fenolom (Tišler, 2002).

2.2.3 Uporaba utekočinjenega lesa

2.2.3.1 Fenol-formaldehidne smole

Fenol-formaldehidne smole so prvi sintetični polimeri, ki so jih začeli izdelovati industrijsko. Nastajajo pri stopenjski polimerizaciji fenolov in aldehydov, od katerih sta najbolj znana fenol in formaldehid. Hitrosti adicije formaldehida na fenol in nastanka oligomerov sta odvisni od pH vrednosti medija. V kislem nastajajo fenol-formaldehidne smole, ki jih imenujemo novolaki, v alkalnem pa nastajajo smole, ki jih imenujemo rezoli.

Novolake zamrežujejo z dodatkom spojin, ki sproščajo formaldehid, saj so oligomeri skoraj brez funkcionalnih skupin, preko katerih bi zamreženje lahko potekalo. Rezole, ki imajo veliko število metilolnih skupin (-CHOH) lahko zamrežujemo brez dodatkov pri višjih temperaturah (130–200 °C), ali pa z dodatkom katalizatorjev pri nižjih temperaturah.

Izdelki so odporni proti visokim temperaturam, kemikalijam in vlagi, imajo dobre električne lastnosti in manjšo gorljivost. Fenolne smole so krhke, zato se večinoma uporabljajo v kombinaciji s polnili ali nosilnimi plastmi, ki izboljšajo mehanske lastnosti, vendar poslabšajo odpornost proti plamenu (Študijsko gradivo, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, 2016).

2.2.3.2 Epoksi smole

Za izdelavo epoksi smol so les utekočinjali z rezorcinolom, z dodajanjem katalizatorja (H_2SO_4) 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

Strokovnjaki so uspeli izdelati poliuretanske pene iz utekočinjenega lesa, škroba in odpadnega papirja. Pri utekočinjenju so kot reagent uporabili mešanico polietilen glikola in glicerola in kot katalizator žveplovo (VI) kislino ter dodali diizocianat (MDI). Izdelane pene so imele primerno gostoto in dobre mehanske lastnosti (Čuk, 2008).

2.2.3.4 Lepila

Strokovnjaki so izdelali izocianatna lepila na osnovi UL, ki zagotavljajo varno uporabo, trajnost in reciklažo. Les so utekočinili z mešanico polietilen glikola in glicerola ob dodatku žveplene kisline in diizocianata. Tako pridobljeno lepilo so uporabili pri izdelavi vezanih plošč. Ugotovili so, da je strižna trdnost lepilnih spojev lepljenih z lepilom iz UL zelo hitro padala v odvisnosti od časa. UL je z dodatkom MUF lepila močno pridobil na strižni trdnosti in trajnosti lepilnega spoja (Jež, 2011).

2.3 MELAMIN-UREA-FORMALDEHIDNA (MUF) LEPILA

Melamin-urea-formaldehidna (MUF) lepila spadajo med polikondenzacijska lepila oziroma v skupino aminoplastov. To so polimerni produkti, ki nastanejo pri reakciji aldehydov s snovmi, ki vsebujejo NH in NH_2 skupine (Resnik, 1989). MUF lepila so v osnovi grajena iz melamina in sečnine oz. uree ali sečnine($(NH_2)_2CO$) in formaldehida (CH_2O). Del melamina v MUF lepilu nadomešča ureo. Razmerje med melaminom in ureo mora biti med 50 : 50 in 30 : 70 (Kos, 2013).

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 MUF lepili se sprošča formaldehid (Veberič, 2015).

Glavno vodilo pri sintezi MUF lepil v proizvodnji je, da vedno uporabimo le toliko melamina, kot je potrebno. Odstotek melamina v MUF lepilih navadno variira med nekaj odstotki in 25 %. Že majhni deleži melamina UF lepilom izjemno izboljšajo strižno trdnost lepilnega spoja in njegovo odpornost proti vodi (Šernek in Kutnar, 2009).

2.4 FURNIRNE VEZANE PLOŠČE

Furnirne vezane plošče so plošče izdelane iz več slojev med seboj zlepljenih furnirjev pod pravim kotom, različnih debelin (4 – 50 mm) in različnih drevesnih vrst (bukev, bor, topol,...), lepljenih z različnimi lepili (MUF lepila, fenolna lepila,...). Različna sestava glede na drevesno vrsto ali njihovo kombinacijo pomeni različne mehanske lastnosti, različne barvne strukture in posledično različne uporabe plošč. Vezane plošče boljše kakovosti uporabljajo npr. pri izdelavi pohištva in glasbenih instrumentov, slabše kakovosti pa za izdelavo embalaže.

2.4.1 Izdelava furnirnih vezanih plošč

Če želimo izdelati furnirno vezano ploščo moramo furnirne liste zlepti skupaj tako, da je potek vlaken med furnirji pod pravim kotom, kar zmanjša možnost, da bi se les krčil in nabrekal. S tem dobimo bolj enakomerno porazdelitev mehanskih in fizikalnih lastnosti v vzdolžni in prečni smeri.

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 (Bedekovič in Leban, 2016).

2.5 VROČE LEPLJENJE IN STISKANJE LESA

Stiskanje v stiskalnici je potrebno, da se lepilne površine furnirnih listov čimbolj približajo med sabo, ker s tem zagotovimo boljšo penetracijo lepila v les. Stiskanje je lahko hladno ali vroče. Višja temperatura lepljenja pospeši fizikalno in kemično utrjevanje lepilnega spoja in skrajša čas utrjevanja lepila. Segrevanje je lahko klasično (t. j. kontaktno z grelnimi ploščami) ali visokofrekvenčno. Pri klasičnem segrevanju prehaja toplota iz grelnih plošč stiskalnice skozi les do lepilnega spoja. Pri visokofrekvenčnem lepljenju pa pride do notranjega segrevanja lepilnega spoja, zaradi tega je tovrstno lepljenje veliko hitrejše od klasičnega segrevanja z grelnimi ploščami. Poznamo različne izvedbe gretja plošč hidravličnih stiskalnic za toplo in vroče lepljenje. Te so lahko ogrevane na primer z električnimi grelci, z vročim oljem, z vodno paro... Pri lepljenju moramo nastaviti pravilne parametre stiskanja, ki jih določi proizvajalec lepila, ki so:

- čas stiskanja (osnovni + dodatni čas) [min]
- tlak stiskanja [N/m^2]

temperatura stiskanja [$^{\circ}\text{C}$]

Formula (1) za izračun časa stiskanja:

$$t_s = t_o + t_d \quad \dots(1)$$

t_s ... čas stiskanja [min]

t_o ... osnovni čas [min]

t_d ... dodatni čas [min]

Osnovni čas določi proizvajalec lepila, dodatni čas pa je čas, ki je potreben za prehod toplote iz grelne plošče stiskalnice preko lesa do lepilnega spoja in znaša 1 mm/min ter je izkustveno določen pri temperaturi 100 °C. Upošteva se pri lepljenju s klasično stiskalnico z grelnimi ploščami.



Slika 1: Laboratorijska stiskalnica za vroče lepljenje

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Melamin-urea-formaldehidno lepilo

V raziskavi je bilo uporabljeno MUF lepilo MELDUR H97, ki ga proizvaja Melamin kemična tovarna, d.d., iz Kočevja.

Preglednica 1: Fizikalno kemične lastnosti lepila Meldur H97

LASTNOST	VREDNOST
Suha snov	$(63 \pm 2) \%$
Iztočni čas (SISTEN ISO 2431)	80 – 200 sekund
Prosti formaldehid	Max. 0,5 %
Vrednost pH	9,2 – 9,5
Stabilnost pri 20 °C	2 meseca

Preglednica 2: Pogoji za utrjevanje lepila

POGOJI ZA UTRJEVANJE LEPILA	VREDNOST
Temperatura stiskanja	125 °C – 135 °C
Tlak stiskanja	1,8 N/mm ² – 2,5 N/mm ²
Odprti čas pri 25 °C	15 – 30 minut
Vlažnost lesa	6- 12 %
Čas	$\frac{1 \text{ min/1mm}}{2} + \text{osnovni čas (4 min)}$

3.1.2 Utekočinjen les

Uporabili smo UL, ki je bil pripravljen po postopku utekočinjenja lesa v stekleni reaktorski posodi z zunanjim gretjem v silikonski kopeli s stalnim mešanjem z el.mešalom. V stekleni reaktor damo 140 g lesnega iverja, 700 g dietilenglikola ter 21 g katalizatorja (paratoluen). Celotna reakcija poteka pri 170 °C s segrevanjem v silikonski kopeli. Brez uporabe ultrazvoka traja reakcija 120 min, z ultrazvokom pa samo 20 min. Ultrazvok služi za segrevanje in razbijanje delcev lesa in pomaga pri reakciji. V postopku utekočinjenja izpareva voda, ki je v lesu (vlažnost lesa 10 %) ter voda, ki nastane pri reakciji. Najprej razpade lignin, nato hemiceluloza in nato celuloza.



Slika 2: Stekleni reaktor z zunanjim grelcem in mešalom

3.1.3 Lepilna mešanica

Pri lepilni mešanici smo uporabili MUF lepilo (Meldur H97), utekočinjen les, moko ter katalizator amonformiat (AF 3,3). Pripravili smo pet različnih lepilnih mešanic z različnimi deleži UL.

3.1.4 Furnir

Za izdelavo furnirnih vezanih plošč smo uporabili bukov luščen furnir, ki smo ga dobili v podjetju Javor Pivka d.d.. Furnir je bil dimenzij 550 mm x 550 mm, povprečne debeline 2 mm in vlažnosti 8 %.

3.2 METODE

3.2.1 Priprava lepilne mešanice

Pri izdelavi troslojnih furnirnih vezanih plošč smo uporabili pet različnih lepilnih mešanic z različnimi deleži MUF lepila in UL. Uporabili smo MUF lepilo (Meldur H97), UL, utrjevalec ter moko. Vse sestavine smo z laboratorijsko tehtnico v razmerjih (preglednica3) odtehtali v stekleno čašo, v kateri smo nato z električnim mešalom vse zmešali v homogeno mešanico. Za izdelavo dveh plošč smo pri nanosu 200 g/m² teoretičnopotrebovali 242 g ene lepilne mešanice, vendar smo zaradi izgub lepila na pripomočkih pripravili nekoliko večjo količino (381,5 g).

Uporabljena receptura lepilne mešanice:

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

Preglednica 3: Izračun porabe sestavin za pet različnih lepilnih mešanic (MUF : UL) za izdelavo dveh furnirnih plošč na lepilno mešanico

LEPILNA MEŠANICA(MUFdelov/ULdelov)	MUF LEPILO (g)	UL (g)	UTRJEVALEC (g)	MOKA (g)
MUF100 / UL0	350	0	7	24,5
MUF90 / UL10	315	35	7	24,5
MUF80 / UL20	280	70	7	24,5
MUF70/UL30	245	105	7	24,5
MUF60/UL40	210	140	7	24,5

3.2.2 Sestava furnirnih vezanih plošč

Iz bukovih furnirjev smo skupno izdelali 18 troslojnih furnirnih vezanih plošč. Plošče smo sestavili tako, da smo na furnirje nanесли lepilno mešanico z ročnim valjčkom ter jih pod pravim kotom 90° položili eden na drugega. Nato smo jih dali v laboratorijsko stiskalnico z grelnimi ploščami, ki smo jo predhodno segreli. Za prvi del raziskave smo izdelali 10 plošč, po dve za vsako lepilno mešanico z različnim deležem dodanega UL. Te plošče smo stiskali pri temperaturi 135 °C. Za drugi del pa smo izdelali 8 plošč z dvema lepilnima mešanicama ter pri treh različnih temperaturah lepljenja.

Parametri lepljenja, ki smo jih uporabili :

- specifični tlak stiskanja 16 bar
- nanos lepilne mešanice 200 g/m²
- čas stiskanja 6 min
- temperatura stiskanja v prvi seriji 135 °C
- temperature stiskanja v drugi seriji 155 °C ,165 °C ,175 °C

3.2.3 Nanos lepila in lepljenje v klasični vroči stiskalnici

Po pripravi določene lepilne mešanice smo jo takoj nanesli na pripravljen bukov furnir, ter lepilo z ročnim valjčkom enakomerno razporedili po celotni površini. Nanos lepila smo odtehtali z elektronsko tehtnico in je znašal 200 g/m². Porabo lepila za konkretno lepilno površino furnirja smo izračunali po formuli za količino nanosa (2).

Formula (2) za količino nanosa lepila:

$$d = \frac{m}{S} \Rightarrow m = d \times S \quad \dots(2)$$

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

$m = 60,5 \text{ g}$ (nanos lepila za en lepilni spoj)

d ...količina nanosa lepila [g/m²]

m ...masa lepila [g]

S ...lepilna površina [m²]

Po nanosu lepila smo tri sloje furnirja sestavili pravokotno na potek lesnih vlaken ter jih vstavili v laboratorijsko stiskalnico, ki je bila predhodno segreta na temperaturo stiskanja. Specifičen tlak stiskanja je bil 16 bar in smo ga dosegli z ustrezno nastavitvijo tlaka olja stiskalnice. Pred sestavo furnirne plošče pa smo v lepilni spoj in na zunanjo površino vstavili še termo člen, s pomočjo katerega smo merili dejansko temperaturo v lepilnem spoju ter med grelno ploščo stiskalnice in furnirno ploščo. Čas stiskanja je bil 6 min.



Slika 3: Razporeditev lepilne mešanice po površini furnirja z ročnim valjčkom

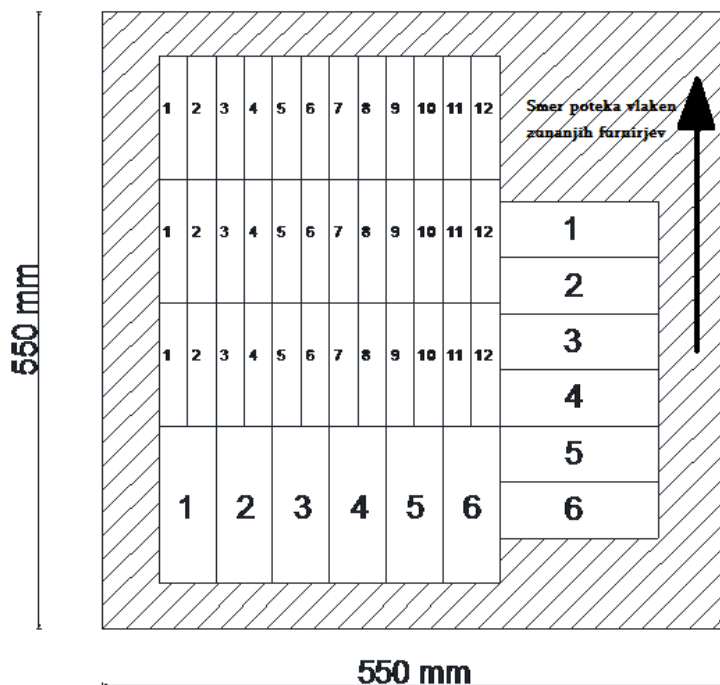
3.2.4 Izdelava in oznaka preskušancev

Iz 18 troslojnih furnirnih vezanih plošč, ki smo jih izdelali za prvi in drugi del raziskave, smo izžagali preskušance po načrtu razžagovanja (slika 4). Izdelani so bili po zahtevah standarda za določanje strižne trdnosti spojev za vezane plošče (SIST EN 314-1:2005), za določanje upogibne trdnosti (SIST EN310:1993) ter določanje gostote in vlažnosti (SIST EN322, SIST EN323:1993). Tako smo iz vsake plošče izžagali 3 skupine po 12 preskušancev za testiranje strižne trdnosti ter 6 vzdolžnih in 6 prečnih preskušancev za testiranje upogibne trdnosti. Strižne preskušance smo nato označili z oznakami (preglednica 5,6) in jim izmerili strižno površino. Po testiranju upogibne trdnosti smo iz teh preskušancev izžagali še vzorce za določanje gostote in vlage v plošči.

Preglednica 4: Dimenzije preskušancev za posamezno vrsto testiranja

VRSTA TESTIRANJA PRESKUŠANCEV	DIMENZIJE PRESKUŠANCEV (l x b)
Gostota:	50 x 50 mm
Upogibna trdnost:	140 x 50 mm
Vlažnost:	50 x 50 mm
Strižna trdnost lepilnega spoja:	110 x 25 mm

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



Slika 4: Krojna lista zazreza troslojne vezane plošče v preskušance



Slika 5: Izžagani preskušanci za upogibno in strižno trdnost 1.serije iz 10 zlepljenih plošč

Preglednica 5: Pomen oznak preskušancev zlepljenih v prvem delu raziskave

Oznaka lepilne mešanice	Oznaka plošče z enakimi parametri lepljenja	Režim priprave/zap. št. preskušanca	Parametri lepljenja			
			Temperatura lepljenja [°C]	Specif.tlak stiskanja [bar]	Čas stiskanja [min]	Nanos lepila [g/m ²]
A	A1,A2	1-3/1-12	135	16	6	200
B	B1,B2	1-3/1-12	135	16	6	200
C	C1,C2	1-3/1-12	135	16	6	200
D	D1,D2	1-3/1-12	135	16	6	200
E	E1,E2	1-3/1-12	135	16	6	200

Preglednica 6: Pomen oznak preskušancev zlepljenih v drugem delu raziskave

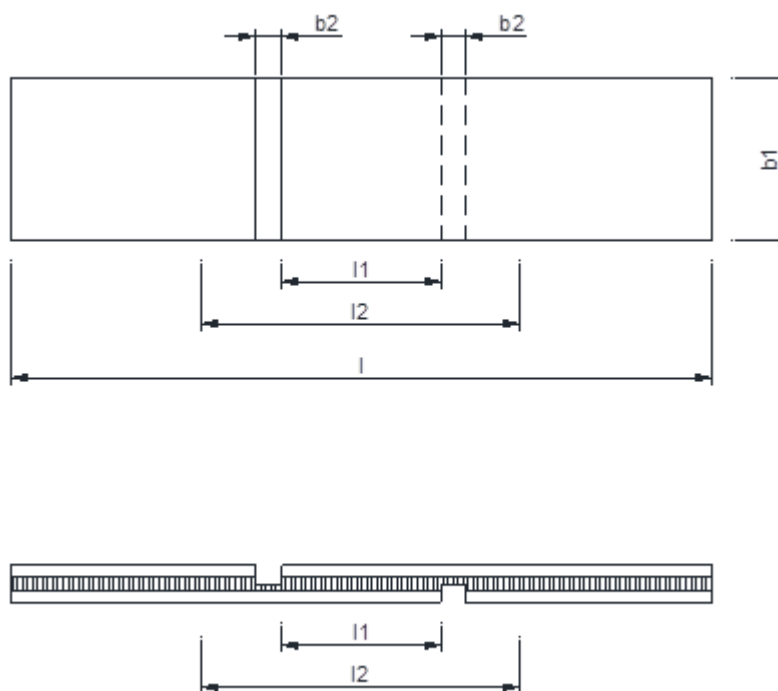
Oznaka lepilne mešanice	Oznaka plošče z enakimi parametri lepljenja	Režim priprave/zap. št. preskušanca	Parametri lepljenja			
			Temperatura lepljenja [°C]	Specif.tlak stiskanja [bar]	Čas stiskanja [min]	Nanos lepila [g/m ²]
A	A1,A2	1-3/1-12	155	16	6	200
D	D1,D2	1-3/1-12	155	16	6	200
D	D3,D4	1-3/1-12	165	16	6	200
D	D5,D6	1-3/1-12	175	16	6	200

Primer oznake preskušanca 3/9 B2 iz prvega dela raziskave, ki nam pove, da je ta preskušanec izžagan iz tretje vrste, režim priprave 3 (tabela 6) in deveti po vrstnem redu, ki je prikazan na krojnem listu razžagovanja (slika 4). Plošča pa je zlepljena z lepilno mešanico z oznako B (MUF90 / UL10) ter številka plošče 2.

Preglednica 7: Oznake lepilnih mešanic in razmerja med MUF in UL

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

Način izdelave in oblike preskušancev za posamezne teste za ugotavljanje fizikalnih in mehanskih lastnosti furnirnih vezanih plošč so prikazane na spodnjih slikah. Preskušanec za ugotavljanje strižne trdnosti lepilnega spoja je pravokotne oblike. Na obeh zunanjih furnirjih plošče ima narejene zareze do polovice debeline srednjega furnirja in sicer pravokotno na dolžino z vzporednim zamikom $l_1 = 25$ mm (slika 6). Z zareza se pri testiranju na trgalnem stroju doseže, da pride do loma lepilnega spoja ali loma po lesu na vnaprej znani površini preskušanca.



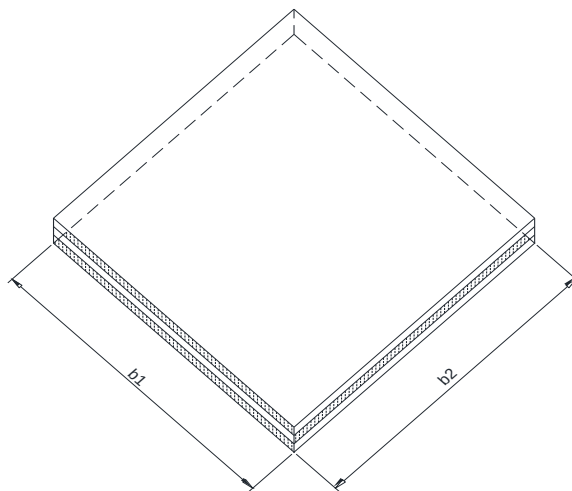
Slika 6: Preskušanec iz furnirne vezane plošče za ugotavljanje strižne trdnosti lepilnega spoja

- b_1 ... širina preskušanca ($25 \pm 0,5$) mm
- b_2 ... širina zareze (2,5 do 4 mm)
- l ... dolžina preskušanca 110 mm
- l_1 ... razdalja med utoroma ($25 \pm 0,5$) mm
- l_2 ... razdalja med točkama vpetja preskušanca (min. 50) mm



Slika 7: Preskušanci iz furnirne vezane plošče za ugotavljanje upogibne trdnosti

- l... dolžina preskušanca 110 mm
- b_1 ... širina preskušanca ($50 \pm 0,5$) mm



Slika 8: Preskušanec iz furnirne vezane plošče za ugotavljanje gostote in vlažnosti

- b_1, b_2 ... širina in dolžina preskušanca ($50 \pm 0,1$) mm
- t..... debelina preskušanca [mm]

Preglednica 8: Režimi priprave preskušancev za testiranje strižne trdnosti furnirnih vezanih plošč namenjenih za uporabo v suhih, vlažnih in zunanjih prostorih

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

Po pripravi preskušancev po treh različnih režimih, kot jih predpisuje standard, smo jih stestirali na testirnem stroju Zwick / Roell Z005 za ugotavljanje strižne trdnosti lepilnih spojev, ki izpolnjuje zahteve standarda.

3.2.5 Ugotavljanje mehanskih in fizikalnih lastnosti plošč ter nekaterih lastnosti lepila

3.2.5.1 Ugotavljanje strižne trdnosti za uporabo plošč v različnih pogojih po standardu SIST EN 314 – 1

Strižno trdnost smo določali s testiranjem preskušancev na testirnem trgalnem stroju Zwick / Roell Z005, ki je podprt z računalniškim programom »testXpertII«. Preskušancem smo z elektronskim kljunastim merilom najprej izmerili širino in dolžino strižne ploskve na 0,1 mm natančno ter dimenzije vnesli v računalniški program testirnega stroja. Na podlagi teh podatkov je kasneje računalniški program pri testiranju avtomatično izračunal strižno trdnost (f_v). Po meritvi strižnih ploskev smo preskušance pripravili po treh različnih režimih in sicer za uporabo plošč v suhih, vlažnih in zunanjih pogojih (razredi zlepljenosti 1, 2, in 3) po standardu SIST EN 314 – 1:2005.

Razred zlepljenosti 1

Preskušance smo pripravili po režimu, ki ga za ta razred zlepljenosti predpisuje standard SIST EN 314 – 1 in sicer tako, da smo jih za 24 ur potopili v hladno vodo (20 ± 3) °C. Po preteklem času namakanja smo preskušance vzeli iz vode ter še mokre stestirali na trgalnem stroju.

Razred zlepljenosti 2

Preskušance za določanje strižne trdnosti furnirnih vezanih plošč za uporabo v vlažnih pogojih smo pripravili tako, da smo jih 6 ur kuhali v vreli vodi ter nato najmanj 1 uro hladili v hladni vodi (20 ± 3) °C. Po pripravi smo preskušance posamezno vpeli v čeljusti trgalnega stroja in jih stestirali.



Slika 9: Kuhanje strižnih preskušancev na el.kuhalniku v stekleni čaši z vrelo vodo

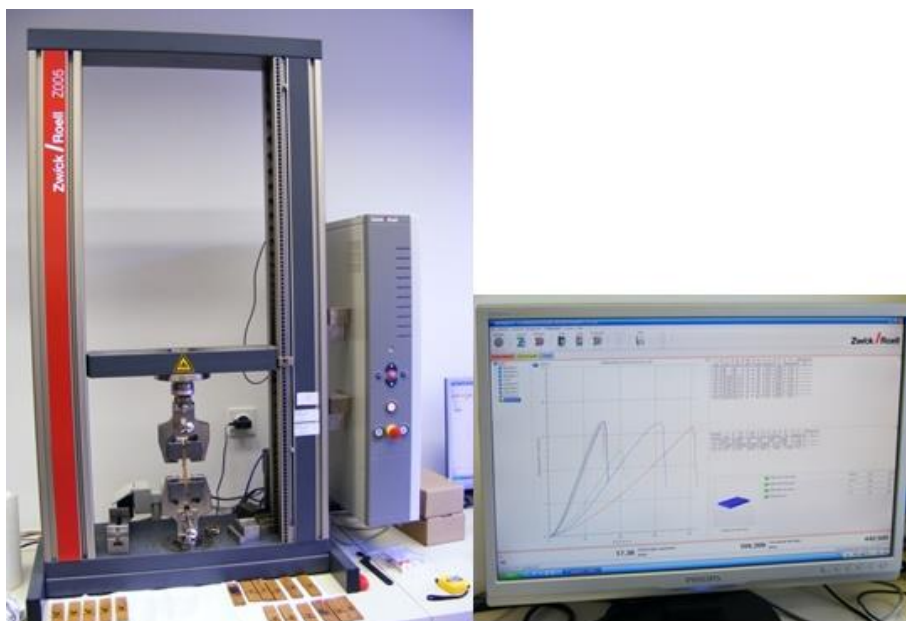
Razred zlepljenosti 3

Režim za pripravo strižnih preskušancev za uporabo plošč v zunanjih pogojih je najostrejši režim za umetno staranje furnirnih vezanih plošč, ki ga predpisuje standard. Tako smo preskušance najprej 4 ure kuhali v vreli vodi, nato smo jih 16 - 20 ur sušili v sušilniku pri $(60 \pm 3) ^\circ\text{C}$. Po sušenju smo jih ponovno 4 ure kuhali v vreli vodi in jih nato še minimalno 1 uro ohlajali v hladni vodi $(20 \pm 3) ^\circ\text{C}$. Po koncu priprave smo preskušance stestirali na trgalnem stroju.

Preskušanci z večjim deležem UL v lepilni mešanici so med kuhanjem razpadli, zato jih nismo mogli testirati.



Slika 10: Razpadli strižni preskušanci med kuhanjem



Slika 11: Testirni trgalni stroj Zwick / Roell Z005 (na levi) in program »testXpert II« (na desni)

Testiranje na trgalnem stroju Zwick / Roell Z005 je potekalo tako, da smo preskušanece vpeli v čeljust stroja (slika 12). Nato smo v program testXpertII vpisali dimenzije strižne površine, ki smo jih preskušancem izmerili pred izpostavitvijo režimom. Hitrost je morala biti po standardu tolikšna, da je prišlo do loma v času (30 ± 10) s od pričetka delovanja sile na preskušanece. Določili smo jo izkustveno po testiranju vsakega prvega preskušanca v seriji in je bila med 4 mm/min in 10 mm/min. S temi nastavitvami smo preko programa sprožili delovanje testirnega stroja, ki je natežno obremenil vpet preskušanec ter strižno obremenil lepilni spoj do porušitve. Računalnik je nato na podlagi vnesenih dimenzij strižne površine ter izmerjene sile loma s pomočjo formule (3) izračunal strižno trdnost (f_v [N/mm²]) ter izrisal graf (slika 11), na katerem je prikazal strižno trdnost (f_v) v odvisnosti od časa.

Formula (3) za izračun strižne trdnosti:

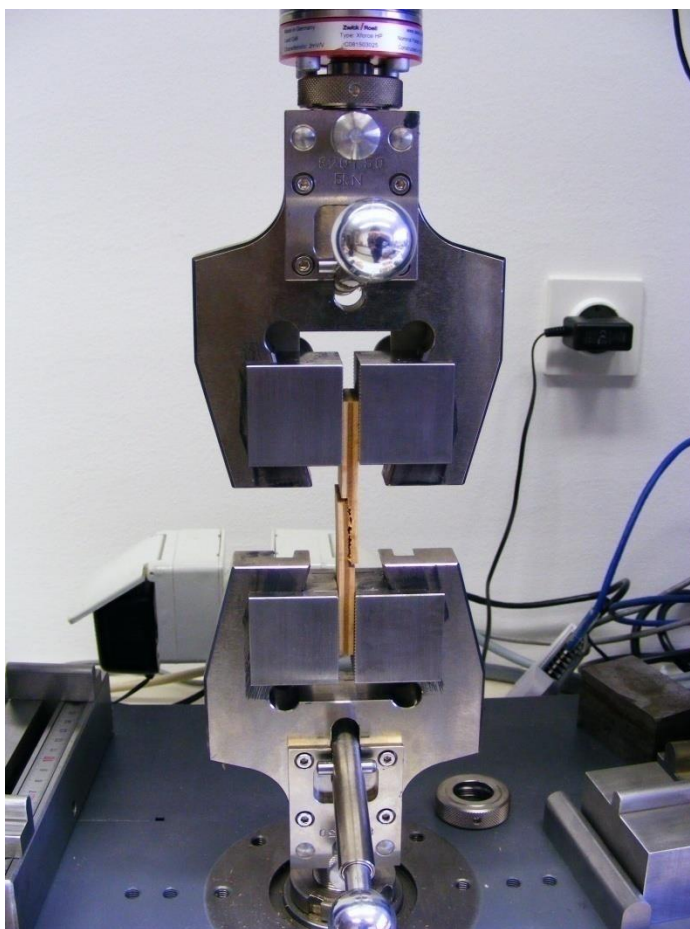
$$f_v = \frac{F}{(l \times b)} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad \dots(3)$$

f_v ... strižna trdnost [N/mm²]

F ... sila ob porušitvi [N]

l ... dolžina strižne ploskve [mm]

b ... širina strižne ploskve [mm]



Slika 12: Vpetje preskušanca za določanje strižne trdnosti v čeljusti trgalnega stroja Zwick / Roell Z005

Dobljene rezultate testiranja smo statistično obdelali, na porušenih preskušancih pa smo vizualno ocenili delež loma po lesu v odstotkih od 0 % do 100 % na 5 % natančno. Lom po lesu ocenjen z 0 % je pomenil lom lepilnega spoja v celoti po lepilu, lom ocenjen s 100 % pa v celoti po lesu. Iz dobljenih podatkov smo tako za vsako lepilno mešanico MUF lepila in UL ter vsako temperaturo lepljenja izračunali povprečne strižne trdnosti v N/mm^2 , standardni odklon od strižne trdnosti in povprečni delež loma po lesu v %. Rezultate testiranja, kjer je prišlo do loma po zunanem furnirju, smo izločili zaradi napake v furnirju (slika 14).



Slika 13: Ocena loma po opravljenem testiranju [%]



Slika 14: Nepravilen lom preskušanca po zunanjem furnirju (izločenameritev)

Vsi trije razredi kakovosti zlepljenosti morajo po standardu izpolnjevati dva kriterija in sicer določeno povprečno strižno trdnost ter določen povprečni delež loma lepilnega spoja po lesu, kot je prikazano v preglednici 9.

Preglednica 9: Zahteve standarda SIST EN 314–2:1996 za vse tri razrede zlepljenosti

Povprečna strižna trdnost f_v [N/mm ²]	Povprečni delež loma po lesu [%]
$0,2 \leq f_v < 0,4$	≥ 80
$0,4 \leq f_v < 0,6$	≥ 60
$0,6 \leq f_v < 1,0$	≥ 40
$1,0 \leq f_v$	ni zahteve

3.2.5.2 Ugotavljanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti

Za določanje upogibne trdnosti smo iz furnirne vezane plošče glede na usmerjenost vlaken zunanjih furnirjev pripravili po 12 prečnih in 12 vzdolžnih preskušancev iz dveh plošč na eno lepilno mešanico. Pred testiranjem na testirnem stroju »ZwickZ100« (slika 16), ki je prirejen za tritočkovno testiranje upogibne trdnosti, smo po zahtevah standarda SIST EN 310 preskušance najprej klimatizirali v komori (slika 15) do konstantne mase pri temperaturi $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ in relativni zračni vlažnosti (RZV) $(65 \pm 5) \%$. Ko je masa vzorcev po dveh zaporednih tehtanjih dosegla konstantno maso z manj kot 0,1 % odstopanjem v intervalu 24 ur, je bilo kondicioniranje v konstantni klimi zaključeno. Takoj za tem je sledilo testiranje na testirnem stroju, ki je opremljen z orodjem za tritočkovni test za določanje upogibne trdnosti (slika 16).

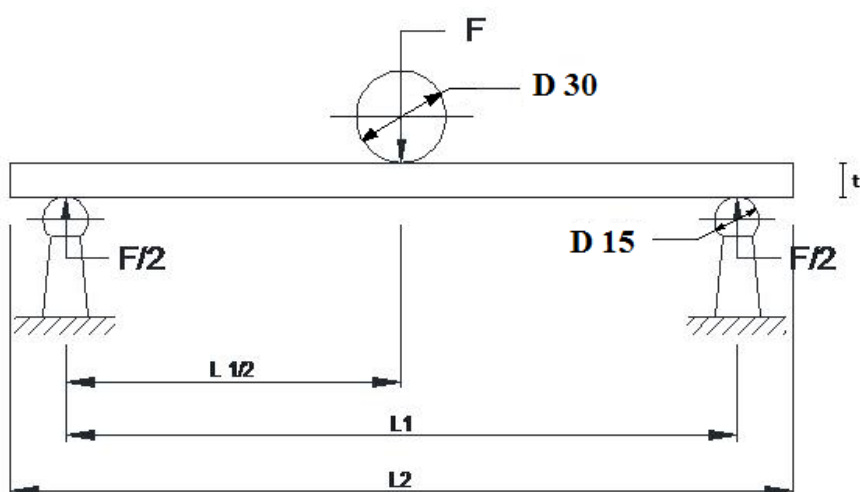


Slika 15: Klimatizacijska komora za kondicioniranje preskušancev



Slika 16: Testirni stroj Zwick Z100 za ugotavljanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti (levo) in program »testXpert II« (desno)

Pred pričetkom testiranja smo v računalniški program vnesli dimenzije preskušancev (širino in debelino). Nastaviti smo morali tudi hitrost pomika pritisknega valja, ki je morala biti tolikšna, da je prišlo do maksimalne sile loma preskušanca ($F_{\max}$) v času (60 ± 30) s. Znašala je med 10 mm/min in 25 mm/min, odvisno od tega, ali smo testirali vzdolžne ali prečne vzorce. Računalnik nam je na podlagi pridobljenih in izmerjenih podatkov izračunal upogibno trdnost f_m (formula 4) in modul elastičnosti E_m (formula 5).



Slika 17: Shema upogibnega testa na testirnem stroju

Formula (4) za izračun upogibne trdnosti:

$$f_m = \frac{3 \times F_{\max} \times l_1}{2 \times b \times t^2} \quad \dots(4)$$

f_m ... upogibna trdnost [N/mm²]
 $F_{\max}$... maksimalna sila loma [N]
 l_1 ... razdalja med podporama [mm]
 t ... debelina preskušanca [mm]
 b ... širina preskušanca [mm]

Formula (5) za izračun modula elastičnosti:

$$E_m = \frac{l_1^3 \times (F_{40} - F_{10})}{4 \times b \times t^3 \times (a_{40} - a_{10})} \quad \dots(5)$$

E_m ... modul elastičnosti [N/mm²]
 F_{40} ... 40% maksimalne sile loma [N]
 F_{10} ... 10% maksimalne sile loma [N]
 l_1 ... razdalja med podporama [mm]
 t ... debelina preskušanca [mm]
 b ... širina preskušanca [mm]
 a_{40} ... poves pri 40% maksimalne sile loma [N]
 a_{10} ... poves pri 10% maksimalne sile loma [N]

3.2.5.3 Ugotavljanje gostote in vlažnosti furnirnih vezanih plošč

Za ugotavljanje gostote plošč smo uporabili preskušance dimenzij 50 mm x 50 mm, ki smo jih izžagali iz upogibnih preskušancev po testiranju upogibne trdnosti. Gostoto smo določali po standardu SIST EN 323:1993. Preskušance smo najprej kondicionirali v klimatizacijski komori po enakem postopku, kot upogibne preskušance v poglavju 3.2.5.2 in s tem zagotovili enako vlažnost medpreskušanci. Nato smo s kljunastim merilom izmerili točno širino in dolžino preskušancev na 0,01 mm natančno ter z mikrometrom na sredini ploskve še debelino na 0,01 mm natančno. Potem smo jih še stehali z laboratorijsko tehtnico na 0,01 g natančno ter po formuli (6) izračunali gostoto furnirne vezane plošče.

Formula (6) za izračun gostote preskušancev:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad \rho = \frac{m}{b_1 \times b_2 \times t} \quad \dots(6)$$

ρ ... gostota preskušanca [g/mm³]

m ... masa preskušanca [g]

V ... prostornina preskušanca [mm³]

b_1 ... širina preskušanca [mm]

b_2 ... dolžina preskušanca [mm]

t ...debelina preskušanca [mm]

Vlažnost plošč smo določali z gravimetrično metodo po standardu SIST EN 322:1993. Preskušance smo najprej stehali z laboratorijsko tehtnico na 0,01 g natančno ter jih nato dali v sušilnik, kjer smo jih pri temperaturi (103 ± 2) °C posušili do absolutno suhega stanja. Po sušenju smo jih v eksikatorski posodi ohladili na sobno temperaturo in jih ponovno stehali. Iz dobljenih mas preskušancev v vlažnem in absolutno suhem stanju smo nato po formuli (7) izračunali vlažnost plošč.

Formula (7) za izračun vlažnosti:

$$H = \frac{m_H - m_0}{m_0} \times 100 \quad \dots(7)$$

H ... vlažnost preskušanca [%]

m_H ... masa vlažnega preskušanca [g]

m_0 ... masa absolutno suhega preskušanca [g]

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

Proučevali smo vpliv temperature lepljenja in deleža UL v lepilni mešanici z MUF lepilom na kakovost zlepljenosti furnirnih vezanih plošč iz bukovega furnirja. Lepljenje je potekalo v klasični stiskalnici z grelnimi ploščami. V prvem delu raziskave smo izdelali furnirne vezane plošče pri enaki temperaturi lepljenja (135 °C) z različnimi lepilnimi mešanicami z deleži UL od 0 % do 40 % glede na delež MUF lepila v lepilni mešanici. V drugem delu raziskave pa smo izdelali plošče z dvema lepilnima mešanicama z 0 % in 30 % vsebnostjo UL, ki smo jih lepili pri različnih temperaturah (155 °C, 165 °C ter 175 °C). Tako smo v prvem delu primerjali vpliv različnih lepilnih mešanic na kakovost zlepljenosti plošč, v drugem delu pa vpliv višanja temperature na kakovost zlepljenosti plošč. Za vsako povprečno vrednost strižne trdnosti v preglednicah smo pripravili in stestirali 24 preskušancev. Tako smo za vse kombinacije testiranj strižne trdnosti glede na razrede zlepljenosti, glede na lepilno mešanico in glede na temperaturo skupno izdelali ter stestirali 648 strižnih preskušancev. Izdelali in stestirali smo tudi preskušance za določanje upogibne trdnosti in sicer skupno 216 preskušancev za upogib.

4.1 MEHANSKE IN FIZIKALNE LASTNOSTI

4.1.1 Strižna trdnost lepilnih spojev

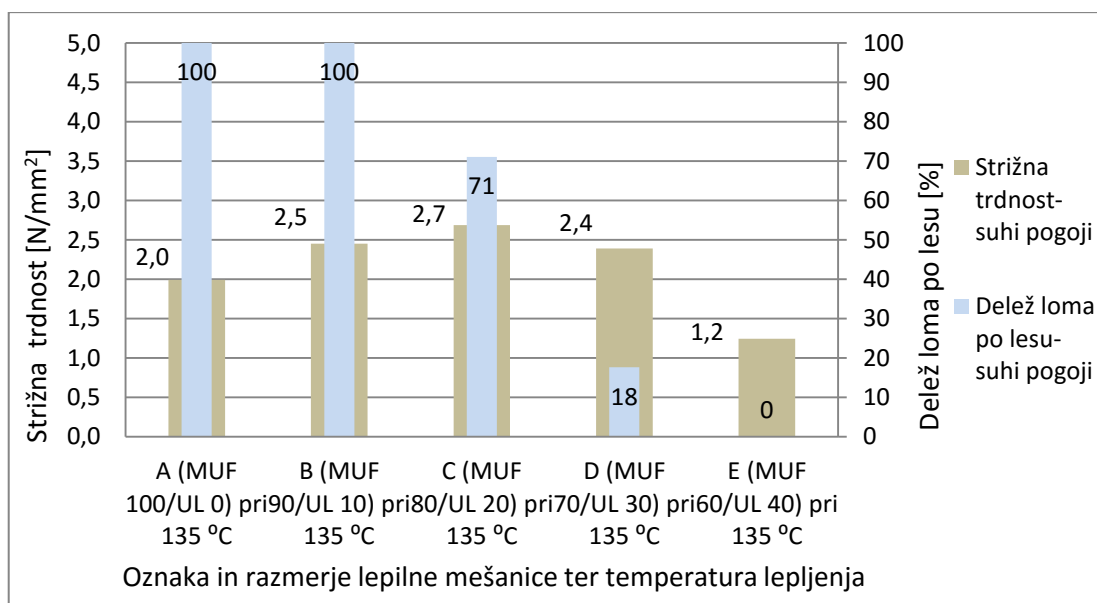
4.1.1.1 Kakovost zlepljenosti lepilnih spojev za uporabo furnirnih vezanih plošč v suhih pogojih

V preglednici 10 so zbrane povprečne vrednosti testiranj strižne trdnosti preskušancev, ki so bili pripravljeni za razred zlepljenosti 1 po standardu SIST EN 314-2:1996, za uporabo furnirnih vezanih plošč v suhih pogojih (24 h namakanje v hladni vodi). Preskušanci so bili lepljeni pri enaki temperaturi 135 °C z različnimi deleži UL (od 0 % do 40 %) v lepilnih mešanicah z MUF lepilom.

Preglednica 10: Povprečne vrednosti strižne trdnosti in deleža loma po lesu preskušancev za razred zlepljenosti 1 (uporaba v suhih pogojih)

Oznaka in razmerje lepilne mešanice ter temperatura lepljenja	Strižna trdnost [N/mm ²]-suhi pogoji	Delež loma po lesu [%]-suhi pogoji	Standardni odklon strižne trdnosti-suhi pogoji
A (MUF100 / UL0) pri 135 °C	1,991	100	0,22
B (MUF90 / UL10) pri 135 °C	2,452	100	0,25
C (MUF80 / UL20) pri 135 °C	2,689	71	0,53
D (MUF70 / UL30) pri 135 °C	2,389	18	0,24
E (MUF60 / UL40) pri 135 °C	1,245	0	0,15

Testiranja so pokazala, da so vse uporabljene lepilne mešanice zadostile zahtevam standarda za razred zlepljenosti 1, saj so vse dosegle strižno trdnost večjo kot 1 N/mm², kar je minimalna zahteva za razrede zlepljenosti. Kot je razvidno iz grafa (slika 18), je povprečna strižna trdnost z večanjem deleža UL v lepilni mešanici narasla iz 2 N/mm² pri 0 % UL na 2,7 N/mm² pri 20 % UL v lepilni mešanici z MUF lepilom. Pri 40 % deležu UL pa je strižna trdnost padla na 1,2 N/mm², kar še vedno zadostuje za razred zlepljenosti 1. Delež loma po lesu pa je pri prvih dveh lepilnih mešanicah znašal 100 %, kar pomeni, da je lom potekal v celoti po lesu. Pri lepilni mešanici s 40 % deležem UL pa je lepilni spoj pri testiranju popustil po lepilnem spoju, zato je lom po lesu ocenjen z 0 %.



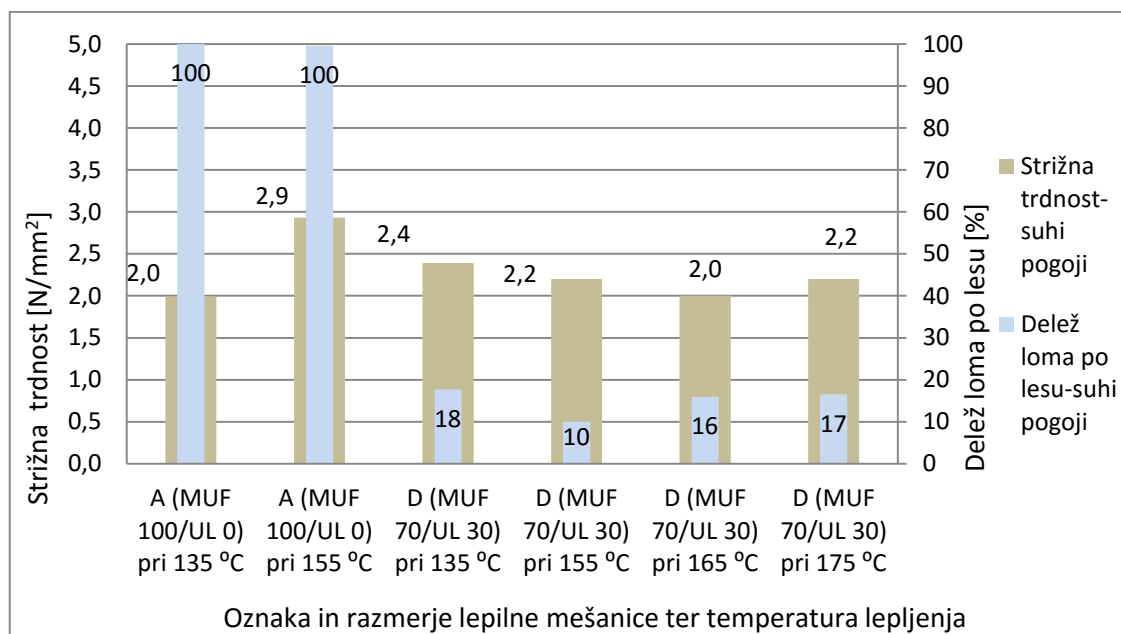
Slika 18: Vpliv dodatka UL na strižnotrdnost in lom po lesu preskušancev za uporabo v suhih pogojih

V preglednici 11 iz 2.dela raziskave so prikazane povprečne strižne trdnosti, deleži loma po lesu ter standardni odklon preskušancev, zlepljenih z dvema lepilnima mešanicama (A100 / 0 in D70 / 30) pri različnih temperaturah (135 °C, 155 °C, 165 °C ter 175 °C), pripravljeni po režimu za uporabo plošč v suhih pogojih. Preskušanci lepljeni z lepilno mešanico A(100 / 0) so bili lepljeni samo pri dveh različnih temperaturah (135 °C in 155 °C).

Preglednica 11: Povprečne vrednosti strižne trdnosti in deleža loma po lesu preskušancev lepljenih pri različnih temperaturah za razred zlepljenosti 1 (uporaba v suhih pogojih)

Oznaka in razmerje lepilne mešanice ter temperatura lepljenja	Strižna trdnost [N/mm ²]-suhi pogoji	Delež loma po lesu [%]-suhi pogoji	Standardni odklon strižne trdnosti-suhi pogoji
A (MUF100 / UL0) pri 135 °C	1,991	100	0,22
A (MUF100 / UL0) pri 155 °C	2,930	100	0,62
D (MUF70 / UL30) pri 135 °C	2,389	18	0,24
D (MUF70 / UL30) pri 155 °C	2,200	10	0,51
D (MUF70 / UL30) pri 165 °C	2,000	16	0,49
D (MUF70 / UL30) pri 175 °C	2,200	17	0,48

Iz slike 19 je razvidno, da se povprečna strižna trdnost v tem razredu zlepljenosti (razred 1) pri lepilni mešanici D(MUF70 / UL30) z višanjem temperature ni bistveno spremenila, oziroma je v nekaterih primerih celo padala. Pri lepilni mešanici A(MUF100 / UL0) pa je povprečna strižna trdnost iz 2 N/mm² (pri temperaturi 135 °C) narastla na 2,9 N/mm² (pri temperaturi 155 °C). Prav tako je delež loma po lesu ostal skoraj nespremenjen in je pri lepilni mešanici A(MUF100 / UL0) znašal 100 %, pri D(MUF70 / UL30) pa med 10 % in 18 %. Zahtevam standarda za razred zlepljenosti 1 tako ustrezata obe lepilni mešanici pri vseh uporabljenih temperaturah lepljenja.



Slika 19: Sprememba strižne trdnosti in loma po lesu preskušancev glede na temperaturo lepljenja in delež UL za uporabo v suhih pogojih

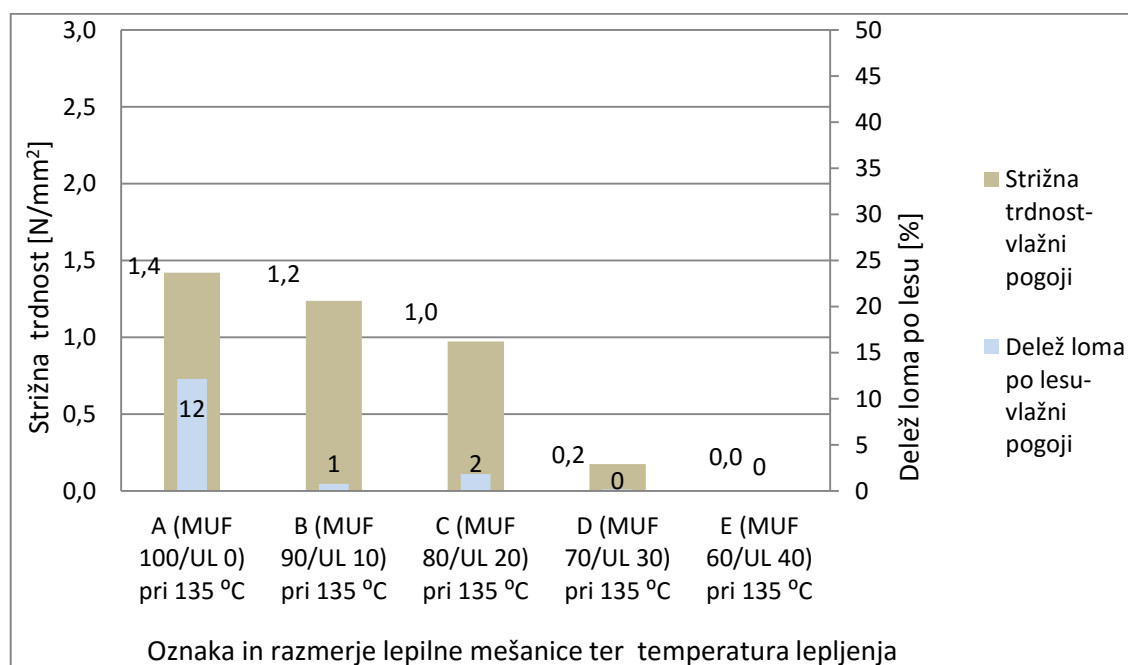
4.1.1.2 Kakovost zlepljenosti lepilnih spojev za uporabo furnirnih vezanih plošč v vlažnih pogojih

Rezultati testiranja preskušancev za določanje strižne trdnosti, ki so namenjeni za uporabo furnirnih vezanih plošč v vlažnih pogojih, so prikazani v preglednici 12. Preskušanci so bili pripravljani po režimu za razred zlepljenosti 2 (6h kuhanja ter 1h hlajenja v hladni vodi). Prikazane so povprečne vrednosti strižne trdnosti, povprečni delež loma po lesu za vsako lepilno mešanico pri enaki temperaturi lepljenja (135 °C) ter standardni odklon strižne trdnosti.

Preglednica 12: Povprečne vrednosti strižne trdnosti in deleža loma po lesu preskušancev za razred zlepljenosti 2 (uporaba v vlažnih pogojih)

Oznaka in razmerje lepilne mešanice ter temperatura lepljenja	Strižna trdnost [N/mm ²]-vlažni pogoji	Delež loma po lesu [%]-vlažni pogoji	Standardni odklon strižne trdnosti-vlažni pogoji
A (MUF100 / UL0) pri 135 °C	1,421	12	0,17
B (MUF90 / UL10) pri 135 °C	1,237	1	0,12
C (MUF80 / UL20) pri 135 °C	0,973	2	0,59
D (MUF70 / UL30) pri 135 °C	0,176	0	0,33
E (MUF60 / U40) pri 135 °C	0,000	0	0,00

Na sliki 20 je prikazan vpliv deleža UL v lepilni mešanici z MUF lepilom na strižno trdnost ter delež loma po lesu. Pri pripravi (kuhanju) preskušancev za razred zlepljenosti 2 so pri lepilni mešanici E(MUF60 / UL40), z največjim deležem UL v naši raziskavi, že med kuhanjem popustili lepilni spoji in so razpadli vsi preskušanci. Prav tako je že več kot polovica preskušancev, ki so bili zlepljeni z lepilno mešanico D(MUF70 / UL30) s 30 % dodatkom UL, med pripravo razpadlo, vendar smo jih nekaj vseeno lahko stestirali na trgalnem stroju. Zahtevam standarda so tako ustrezale lepilne mešanice z manjšim deležem UL do 20 %, torej lepilne mešanice A(MUF100 / UL0), B(MUF90 / UL10) ter C(MUF80 / UL20). Delež loma po lesu je bil pri preskušancih zlepljenih z lepilno mešanico A(MUF100 / UL0) 12 %, pri ostalih pa je bil večinoma v celoti po lepilnem spoju in je bil ocenjen z 0 %.



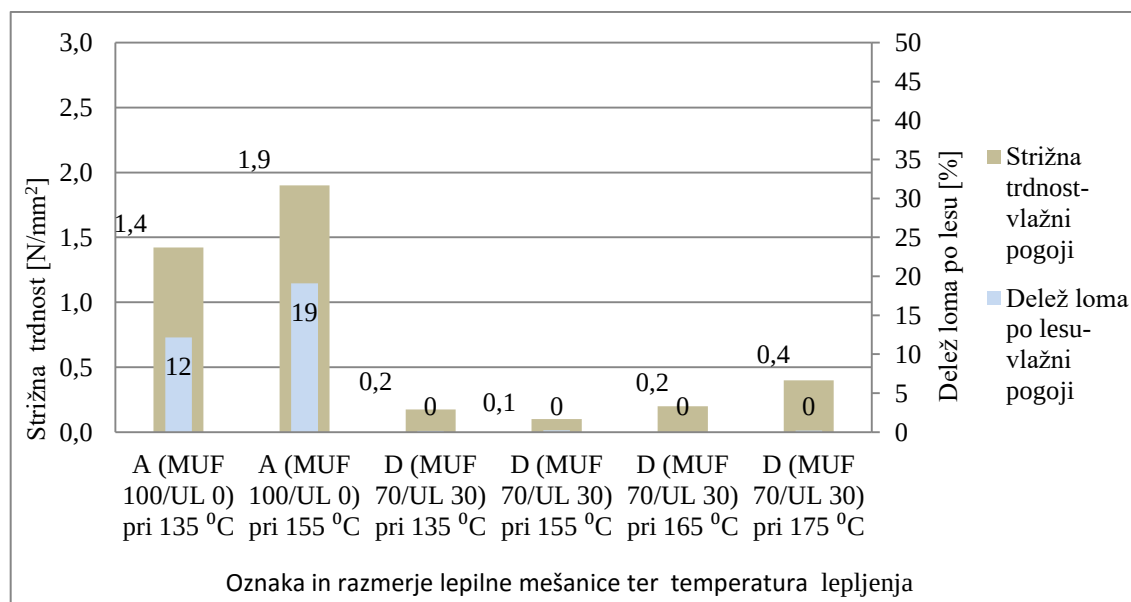
Slika 20: Sprememba strižne trdnosti in loma po lesu preskušancev za uporabo v vlažnih pogojih

V preglednici 13 so prikazani rezultati 2. dela raziskave in sicer povprečne vrednosti strižne trdnosti, deleža loma po lesu ter standardni odklon testiranih preskušancev za razred kakovosti zlepljenosti 2, ki so bili lepljeni z dvema lepilnima mešanicama A (MUF100 / UL0) in D (MUF70 / UL30) pri različnih temperaturah.

Preglednica 13: Povprečne vrednosti strižne trdnosti in deleža loma po lesu preskušancev lepljenih pri različnih temperaturah za razred zlepljenosti 2 (uporaba v vlažnih pogojih)

Oznaka in razmerje lepilne mešanice ter temperatura lepljenja	Strižna trdnost [N/mm ²]-vlažni pogoji	Delež loma po lesu [%]-vlažni pogoji	Standardni odklon strižne trdnosti-vlažni pogoji
A (MUF100 / UL0) pri 135 °C	1,421	12	0,17
A (MUF100 / UL0) pri 155 °C	1,900	19	0,33
D (MUF70 / UL30) pri 135 °C	0,176	0	0,33
D (MUF70 / UL30) pri 155 °C	0,100	0	0,33
D (MUF70 / UL30) pri 165 °C	0,200	0	0,30
D (MUF70 / UL30) pri 175 °C	0,400	0	0,46

Kot je razvidno iz slike 21, se pri lepilni mešanici D (MUF70 / UL30) z višanjem temperature lepljenja povprečna strižna trdnost ni bistveno povečala. Pri temperaturi lepljenja 155 °C je celo nekoliko padla, potem pa je pri najvišji (175 °C) malenkost narasla za 0,2N/mm² glede na najnižjo strižno trdnost te lepilne mešanice, lepljene pri 135 °C. Pri preskušanih, lepljenih s čistim MUF lepilom, se je ta pri dvigu temperature lepljenja povečala iz 1,4N/mm² (pri temperaturi 135 °C) na 1,9 mm² (pri temperaturi 155 °C). Delež loma po lesu je ostal skoraj enak pri obeh lepilnih mešanicah ne glede na višanje temperature lepljenja. Lepilni mešanici D (MUF70 / UL30) tako z zviševanjem temperature lepljenja do 175 °C nismo uspeli izboljšati povprečne strižne trdnosti nad zahtevano vrednost 1 N/mm² za ta razred kakovosti zlepljenosti.



Slika 21: Sprememba strižne trdnosti in loma po lesu preskušancev glede na temperaturo lepljenja za uporabo v vlažnih pogojih

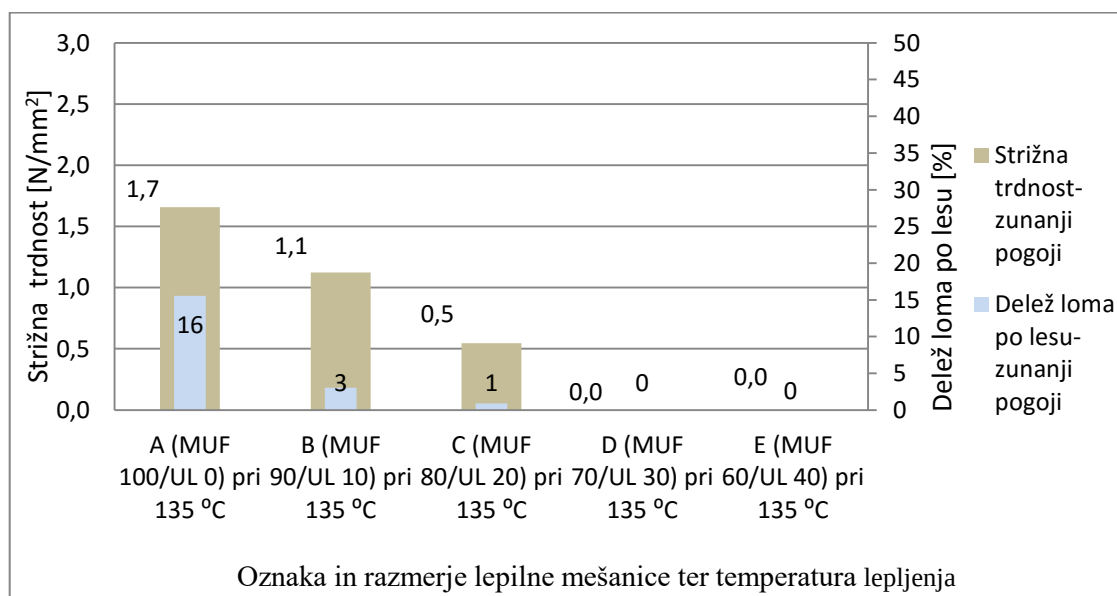
4.1.1.3 Kakovost zlepljenosti lepilnih spojev za uporabo furnirnih vezanih plošč v zunanjih pogojih

V preglednici 14 so predstavljeni rezultati testiranja strižne trdnosti za kakovostni razred zlepljenosti furnirnih vezanih plošč, ki se uporabljajo v zunanjih pogojih (razred zlepljenosti 3, preglednica 8). Preskušanci so bili zlepljeni z različnimi lepilnimi mešanicami in pri enaki temperaturi lepljenja 135 °C.

Preglednica 14: Povprečne vrednosti strižne trdnosti in deleža loma po lesu preskušancev za razred zlepljenosti 3 (uporaba v zunanjih pogojih)

Oznaka in razmerje lepilne mešanice ter temperatura lepljenja	Strižna trdnost [N/mm ²]-zunanji pogoji	Delež loma po lesu [%]-zunanji pogoji	Standardni odklon strižne trdnosti-zunanji pogoji
A (MUF100 / UL0) pri 135 °C	1,658	16	0,43
B (MUF90 / UL10) pri 135 °C	1,123	3	0,12
C (MUF80 / UL20) pri 135 °C	0,547	1	0,48
D (MUF70 / UL30) pri 135 °C	0,000	0	0,00
E (MUF60 / UL40) pri 135 °C	0,000	0	0,00

Na sliki 22 je razvidno, da so zahtevano povprečno strižno trdnost za ta kakovostni razred zlepljenosti dosegle samo lepilne mešanice z 0% ter 10 % dodanim deležem UL. Zahteva za ta razred je minimalna strižna trdnost 1N/mm². Pri lepilnih mešanicah z največ dodanega UL (30 % in 40 %) so preskušanci razpadli že med pripravo (kuhanjem) po režimu za razred zlepljenosti 3 (uporaba v zunanjih pogojih), zato smo upoštevali vrednosti strižne trdnosti 0 N/mm² ter oceno loma 0 %.



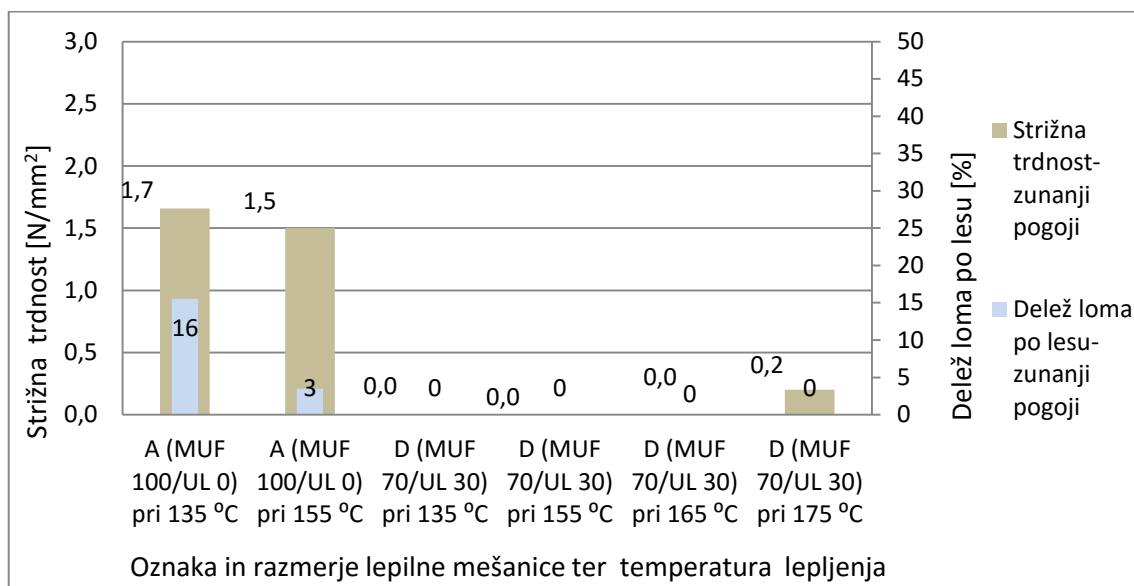
Slika 22: Sprememba strižne trdnosti in loma po lesu preskušancev za uporabo v zunanjih pogojih

V preglednici 15so prikazani povprečni rezultati testiranja strižne trdnosti lepilnega spoja, standardni odklon ter povprečna ocena deleža loma po lesu za drugi del raziskave, kjer smo ugotavljali kvaliteto zlepljenosti lepilnih spojev plošč, zlepljenih z dvema različnima lepilnima mešanicama pri različnih temperaturah lepljenja.

Preglednica 15: Povprečne vrednosti strižne trdnosti, deleža loma po lesu in standardnega odklona preskušancev lepljenih pri različnih temperaturah za razred zlepljenosti 3 (uporaba v zunanjih pogojih)

Oznaka in razmerje lepilne mešanice ter temperatura lepljenja	Strižna trdnost [N/mm ²]-zunanji pogoji	Delež loma po lesu [%]-zunanji pogoji	Standardni odklon strižne trdnosti-zunanji pogoji
A (MUF100 / UL0) pri 135 °C	1,658	16	0,43
A (MUF100 / UL0) pri 155 °C	1,500	3	0,31
D (MUF70 / UL30) pri 135 °C	0,000	0	0,00
D (MUF70 / UL30) pri 155 °C	0,000	0	0,00
D (MUF70 / UL30) pri 165 °C	0,000	0	0,00
D (MUF70 / UL30) pri 175 °C	0,200	0	0,31

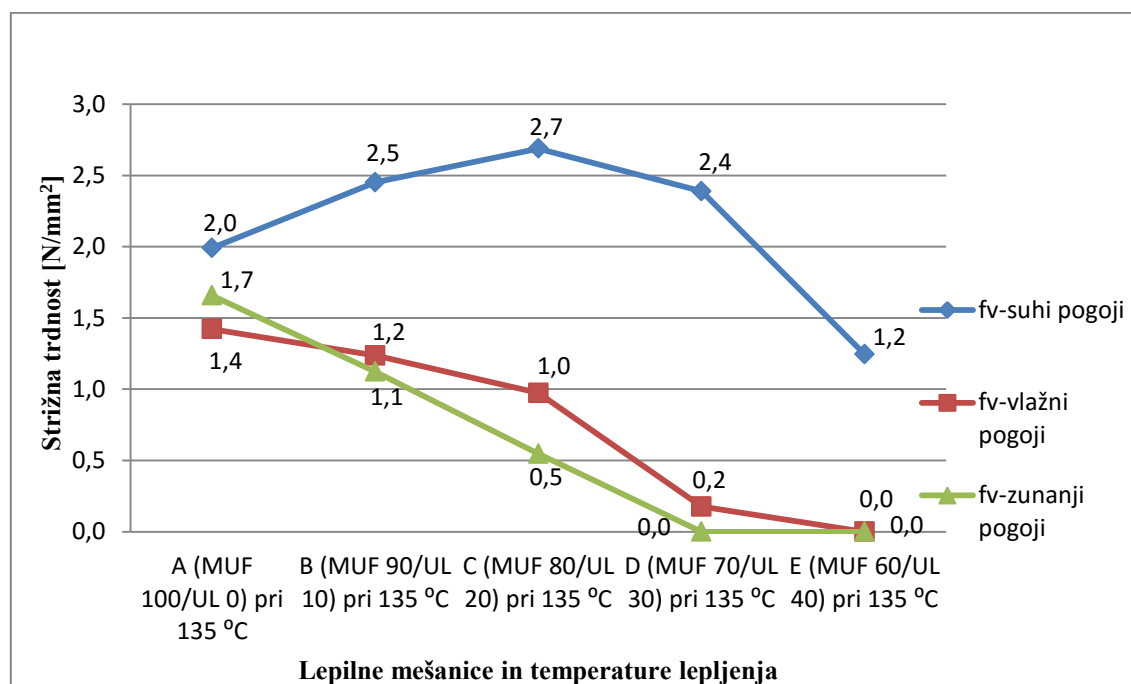
V najostrejšem režimu priprave preskušancev za uporabo v zunanjih pogojih smo ugotovili, da se je pri lepilni mešanici D z dodanim 30 % deležem UL povprečna strižna trdnost začela dvigovati pri temperaturi lepljenja 175 °C, kar je bila tudi naša najvišja temperatura lepljenja v tej raziskavi. Narasla je iz 0 N/mm² na 0,2N/mm². Pogoj minimalne strižne trdnosti je pri obeh temperaturah lepljenja (135 °C ter 155 °C) dosegla le lepilna mešanica s samim MUF lepilom.



Slika 23: Sprememba strižne trdnosti in loma po lesu preskušancev glede na temperaturo lepljenja za uporabo v zunanjih pogojih za lepilni mešanici A(MUF100 / UL0) in D(MUF70 / UL30)

4.1.1.4 Primerjava povprečnih strižnih trdnosti lepilnega spoja preskušancev glede na pogoje uporabe, vrsto lepilne mešanice in temperaturo lepljenja

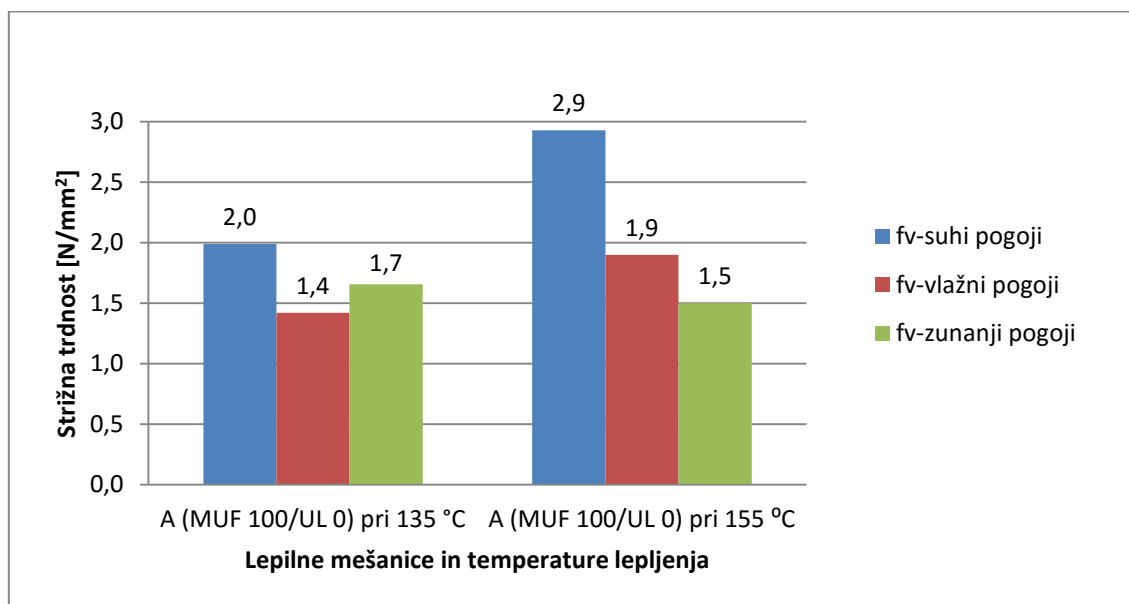
Na sliki 24 so prikazane povprečne strižne trdnosti lepilnih spojev iz vseh razredov zlepljenosti, ter vseh lepilnih mešanic od 0 % do 40 % dodanega UL, lepljenih pri isti temperaturi 135 °C v klasični stiskalnici z grelnimi ploščami. Ugotovili smo, da je v suhih pogojih z dodajanjem UL do 20 % v kombinaciji z MUF lepilom povprečna strižna trdnost celo naraščala, nato pa je pri večanju deleža UL nad 20 % začela padati. Za uporabo v suhih pogojih so glede na strižno trdnost ustrezale vse lepilne mešanice, saj so vse dosegale minimalno vrednost 1 N/mm². Pri testiranju preskušancev za uporabo furnirnih vezanih plošč v vlažnih in zunanjih pogojih pa je strižna trdnost začela padati že takoj po dodajanju najmanjšega deleža UL k lepilni mešanici z MUF lepilom. Tako so za uporabo v vlažnih pogojih še bile ustrezne lepilne mešanice z deležem UL do 20 %, za uporabo v zunanjih pogojih pa le še lepilne mešanice z dodanim UL do 10 %.



Slika 24: Sprememba strižne trdnosti lepilnih spojev po razredih zlepljenosti glede na delež UL v lepilni mešanici pri temperaturi lepljenja 135 °C

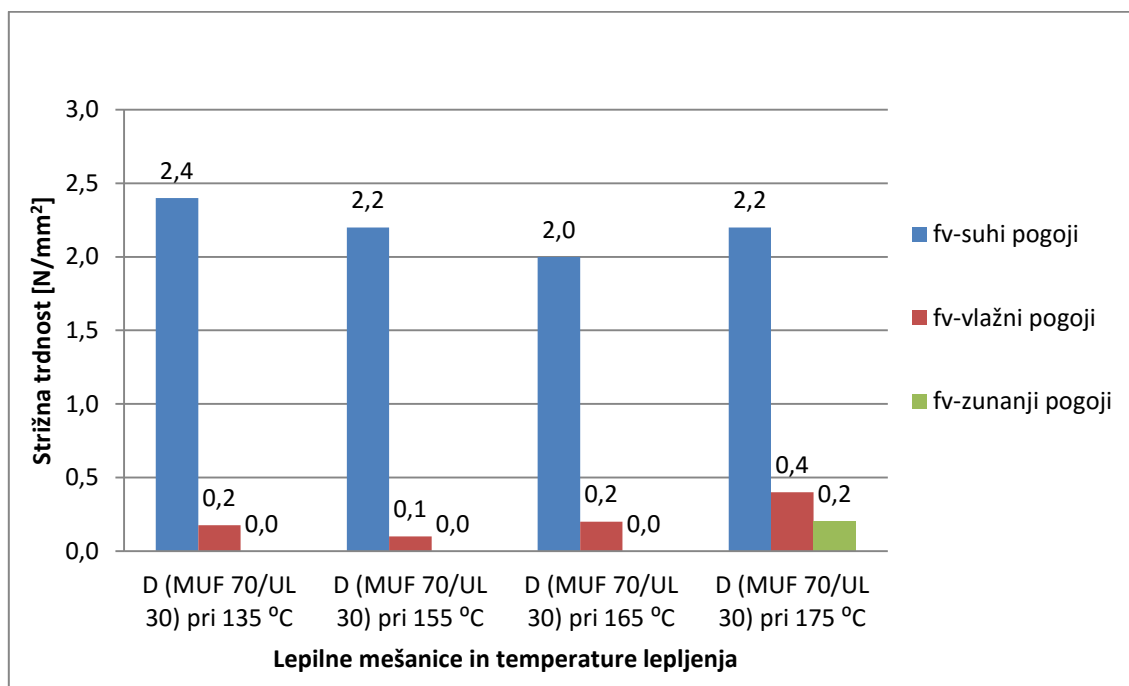
Spremembe strižne trdnosti dveh lepilnih mešanic A (MUF100 / UL0) in D (MUF70 / UL30) glede na temperaturo lepljenja od 135 °C do 175 °C v vseh treh razredih zlepljenosti so razvidne na sliki 25 in sliki 26. Lepilni mešanici »A« z 0 % deležem UL se je po izpostavitvi preskušancev režimu za uporabo furnirnih vezanih plošč v suhih prostorih strižna trdnost (s povišanjem temperature lepljenja iz 135 °C na 155 °C) povečala za 0,9 N/mm². Prav tako se je pri tej lepilni mešanici v razredu zlepljenosti za uporabo v vlažnih pogojih izboljšala kakovost lepilnega spoja za 0,5 N/mm² pri enakem povišanju

temperature lepljenja. Pri najostrejših izpostavitvenih pogojih za uporabo v zunanjih pogojih pa je strižna trdnost lepilne mešanice s 100 % MUF lepilom nekoliko padla pri 155 °C. Zahteve standarda je ta lepilna mešanica izpolnjevala pri vseh treh izpostavitvenih razredih ter pri obeh temperaturah lepljenja (135 °C in 155 °C).



Slika 25: Povprečne strižne trdnosti lepilne mešanice A(MUF100 / UL0) pri dveh različnih temperaturah lepljenja v različnih pogojih uporabe

Pri lepilni mešanici »D« s 30 % UL in 70 % MUF lepila je povprečna strižna trdnost pri suhih pogojih uporabe z naraščanjem temperature lepljenja nekoliko padala do temperature 165 °C, pri temperaturi lepljenja 175 °C pa je spet začela naraščati. Zahteve standarda za uporabo plošč v suhih pogojih je ta lepilna mešanica izpolnjevala pri vseh temperaturah lepljenja (od 135 °C do 175 °C). Zahtevam za uporabo v vlažnih in zunanjih prostorih pa lepilna mešanica s 30 % deležem UL v lepilni mešanici ni zadostovala, saj je povprečna strižna trdnost za ta dva razreda daleč pod zahtevano (1 N/mm^2). Vendar se je pri temperaturi lepljenja 175 °C strižna trdnost lepilnih spojev v razredu zlepljenosti 2 in 3 spet začela večati. To pomeni, da se je pri tej temperaturi začela povečevati vodoodpornost lepilnih spojev zlepljenih s to lepilno mešanico (30 % UL ter 70 % MUF lepila).



Slika 26: Povprečne strižne trdnosti lepilne mešanice D(MUF70 / UL30) pri štirih različnih temperaturah lepljenja v različnih pogojih uporabe

4.1.2 Upogibna trdnost in modul elastičnosti furnirnih vezanih plošč

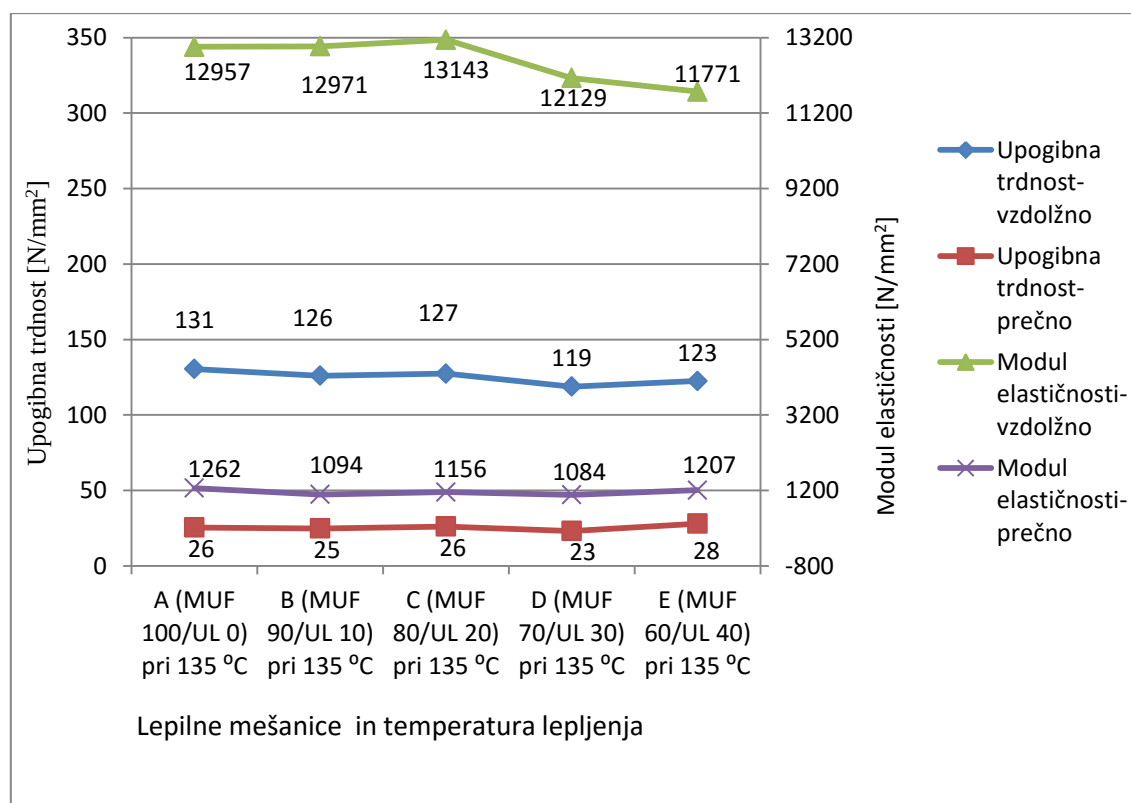
Povprečne vrednosti upogibne trdnosti in modula elastičnosti niso bistveno odstopale med seboj, kljub temu, da smo testirali preskušance, zlepljene z lepilnimi mešanicami z različnimi deleži UL. Bile pa so večje razlike med vzdolžnimi in prečnimi preskušanci, saj je upogibna trdnost furnirne vezane plošče zelo odvisna od usmeritve vlaken zunanjih furnirjev glede na dolžino preskušanca.

Preglednica 16: Povprečne vrednosti upogibne trdnosti in modula elastičnosti za vzdolžne in prečne preskušance za pet lepilnih mešanic, lepljenih pri enakih temperaturah

Oznaka in razmerje lepilne mešanice ter temperatura lepljenja	Upogibna trdnost [N/mm ²]		Modul elastičnosti [N/mm ²]	
	Vzdolžno	Prečno	Vzdolžno	Prečno
A (MUF100 / UL0) pri 135 °C	130,500	25,515	12957	1262
B (MUF90 / UL10) pri 135 °C	126,000	24,860	12971	1094
C (MUF80 / UL20) pri 135 °C	127,429	26,170	13143	1156
D (MUF70 / UL30) pri 135 °C	118,857	23,190	12129	1084
E (MUF60 / UL40) pri 135 °C	122,571	28,050	11771	1207

Pri vzdolžni usmeritvi preskušancev so bile strižne trdnosti kar nekajkrat večje, kot pri prečni, ker je spodnji zunanji furnir pri upogibu obremenjen z natezno silo, natezna trdnost lesa (furnirja) pa je v vzdolžni smeri glede na potek vlaken največja. Tako je maksimalno upogibno trdnost (131 N/mm^2) dosegel vzdolžno usmerjen preskušanec zlepljen z lepilno mešanico »A« z 0 % deležem UL. Največji modul elastičnosti pa je dosegla lepilna mešanica »C« z 20 % UL.

Na modul elastičnosti vplivajo različni dejavniki, kot so: vrsta lesa, orientiranost lesnih vlaken, razpoke v lesu (razpoke v furnirju zaradi napak pri luščenju), vlažnost lesa, gostota lesa, razne napake v lesu itd. Če se vlažnost lesa spremeni za 1 %, se modul elastičnosti spremeni za 2 %.



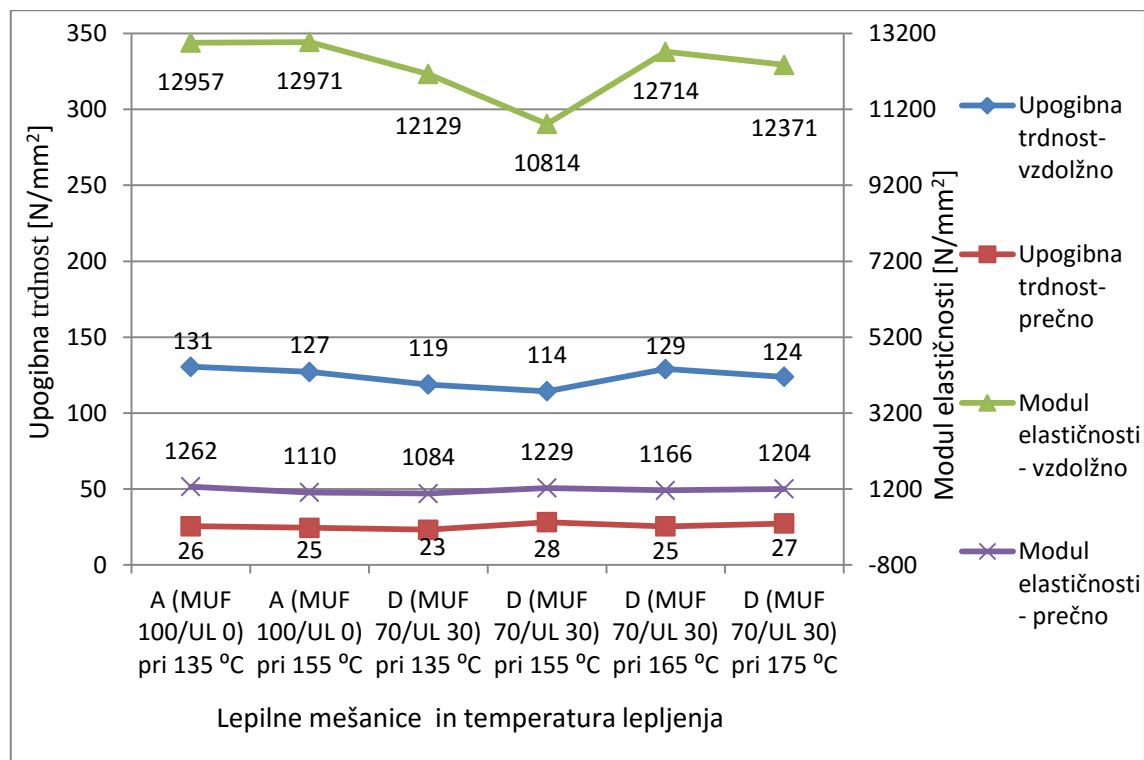
Slika 27: Upogibna trdnost in modul elastičnosti preskušancev, ki so bili zlepljeni z različnimi lepilnimi mešanicami pri temperaturi 135°C

4.1.2.1 V preglednici 17 so meritve prečnih in vzdolžnih preskušancev, ki so bili lepljeni z dvema lepilnima mešanicama ter pri štirih različnih temperaturah.

Preglednica 17: Povprečne vrednosti upogibne trdnosti in modula elastičnosti za vzdolžne in prečne preskušance za dve lepilni mešanici, lepljeni pri različnih temperaturah

Oznaka in razmerje lepilne mešanice ter temperatura lepljenja	Upogibna trdnost [N/mm ²]		Modul elastičnosti [N/mm ²]	
	vzdolžno	prečno	vzdolžno	prečno
A (MUF100 / UL0) pri 135 °C	130,500	25,515	12957	1262
A (MUF100 / UL0) pri 155 °C	127,143	24,543	12971	1110
D (MUF70 / UL30) pri 135 °C	118,857	23,190	12129	1084
D (MUF70 / UL30) pri 155 °C	114,429	28,214	10814	1229
D (MUF70 / UL30) pri 165 °C	129,000	25,486	12714	1166
D (MUF70 / UL30) pri 175 °C	123,857	27,357	12371	1204

Na sliki 28 so razvidne upogibne trdnosti in moduli elastičnosti preskušancev, zlepljenih z dvema lepilnima mešanicama pri različnih temperaturah. Tudi tu ni bistvenih razlik med lepilnimi mešanicama ter temperaturami lepljenja. Najvišji modul elastičnosti so dosegli preskušanci, zlepljeni z lepilno mešanico »A« brez dodanega UL, pri temperaturi lepljenja 155 °C.



Slika 28: Upogibna trdnost in modul elastičnosti preskušancev, ki so bili zlepljeni z dvema lepilnima mešanicama pri različnih temperaturah lepljenja

4.1.3 Gostota in vlažnost zlepljenih furnirnih vezanih plošč

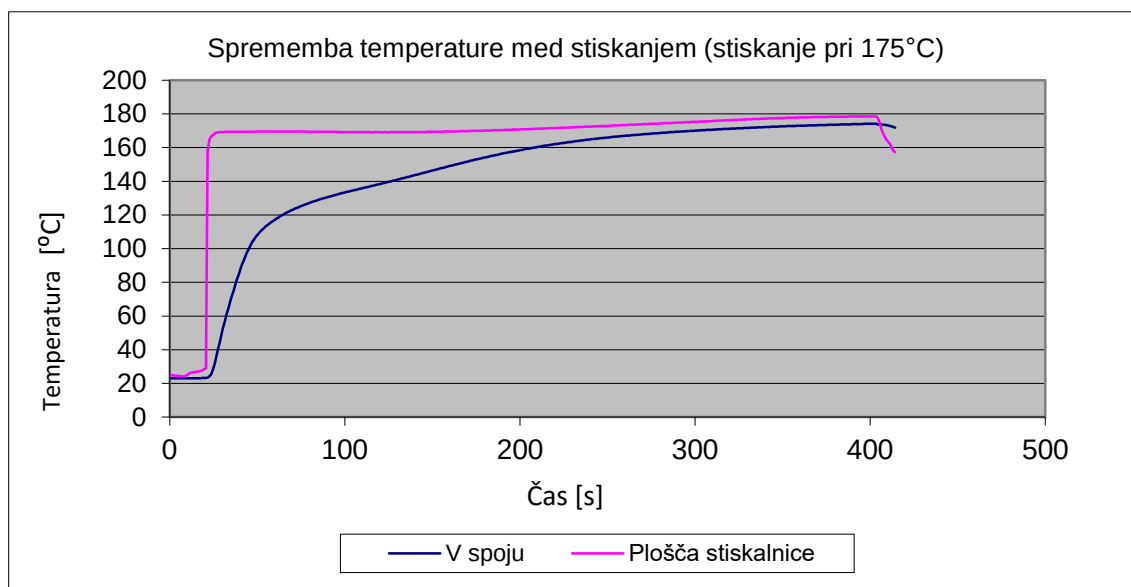
V preglednici 18 so predstavljene povprečne vrednosti vlažnosti ter gostote furnirnih vezanih plošč, zlepljenih z lepilnima mešanicama A (MUF 100/UL 0) in E (MUF 60/UL 40) pri temperaturi 135 °C. Glede na razliko v deležu UL (med 0 % in 40 %) v lepilnih mešanicah je razlika v vsebnosti vlage med ploščami ter razlika v njihovi gostoti zanemarljiva.

Preglednica 18: Vlažnost in gostota furnirnih vezanih plošč

Oznaka in razmerje lepilne mešanice ter temperatura lepljenja	Povprečna vlažnost [%]	Povprečna gostota [kg/m ³]
A (MUF100 / UL0) pri 135 °C	9,3	751
E (MUF60 / UL40) pri 135 °C	9,5	744

4.1.4 Rast temperature v lepilnem spoju

Pri sestavi furnirne vezane plošče smo v lepilni spoj (med furnir) ter na zunanjo površino vstavili termočlen, s pomočjo katerega smo merili naraščanje dejanske temperature med stiskanjem plošče v klasični laboratorijski stiskalnici z grelnimi ploščami. Računalnik je vsako sekundo zabeležil temperaturo, ter na koncu po 6 minutah stiskanja izrisal graf dejanske rasti temperature v lepilnem spoju, ter na sami grelni plošči stiskalnice. Slika 29 prikazuje naraščanje temperature pri nastavljeni temperaturi lepljenja 175 °C. Za vsako temperaturo lepljenja smo izvedli po eno meritev, tako da smo pri vseh lahko spremljali, kako prehaja toplota iz grelne plošče stiskalnice na zunanjo površino lepljenca (furnirne vezane plošče), preko lesa (furnirja) do lepilnega spoja. Ugotovili smo, da je temperatura lepilnega spoja pri vseh temperaturah stiskanja (135 °C, 155 °C, 165 °C in 175 °C) naraščala do končne temperature v enakem času (6 min). Pri vseh temperaturah stiskanja je lepilni spoj dosegel željeno temperaturo ravno v času odprtja stiskalnice, tako da je bilo lepilo izpostavljeno nastavljeni temperaturi le nekaj trenutkov, potem pa se je lepilni spoj že začel ohlajati. S podaljšanjem časa stiskanja bi lahko izboljšali kakovost zlepljenosti lepilnega spoja, saj bi lepilo lahko daljši čas utrjevalo pri najvišji temperaturi.



Slika 29: Prikaz naraščanja temperature v lepilnem spoju ter med grelno ploščo stiskalnice in površino furnirne vezane plošče v odvisnosti od časa stiskanja

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

V diplomski nalogi smo v prvem delu raziskave proučevali, kakšen vpliv imajo različni deleži UL (0 %, 10 %, 20 %, 30 %, ter 40 %) v lepilni mešanici z MUF lepilom na kakovost zlepljenosti lepilnih spojev bukovih troslojnih furnirnih vezanih plošč, lepljenih pri temperaturi 135 °C. V drugem delu pa smo proučevali vpliv različnih temperatur stiskanja (135 °C, 155 °C, 165 °C, 175 °C) na kakovost zlepljenosti lepilnih spojev za lepilni mešanici z 0 % in 30 % dodanega UL v lepilni mešanici z MUF lepilom. Proučili smo strižne trdnosti za 3 razrede zlepljenosti lepilnih spojev po standardu SIST EN 314-1:2005, upogibne trdnosti in module elastičnosti po standardu SIST EN 310:1993 ter izmerili gostoto in vlažnost furnirnih vezanih plošč po standardih SIST EN 323:1993 in SIST EN 322:1993. Pri lepljenju smo tudi spremljali dejansko rast temperature v lepilnem spoju s pomočjo termočlena, vstavljenega v lepilni spoj.

Pri prvi seriji plošč, lepljenih s 5 različnimi deleži UL v lepilnih mešanicah pri temperaturi 135 °C, smo ugotovili, da je kakovost lepilnih spojev za uporabo v suhih pogojih (razred 1) z večanjem deleža UL do 20% celo naraščala, nato pa je z nadaljnjim večanjem deleža UL do 40% v lepilni mešanici z MUF lepilom padala. Tako je najvišja povprečna strižna trdnost za kakovostni razred zlepljenosti 1 znašala 2,7 N/mm² (pri 20 % dodanega UL), najnižja pa 1,2 N/mm² (pri 40% dodanega UL). Zahtevam uporabe plošč v suhih pogojih so tako ustrezale vse uporabljene lepilne mešanice. Za uporabo v vlažnih pogojih pa so zadostile pogojem plošče, zlepljene z lepilno mešanico z največ 20 % dodanega UL. Pri najostrejšem režimu uporabe v zunanjih pogojih pa je uporabna lepilna mešanica z največ 10 % dodanega UL.

Pri drugi seriji plošč, lepljenih s čistim MUF lepilom (pri temperaturi lepljenja 135 °C in 155 °C) ter z lepilno mešanico MUF70 / UL30 (pri temperaturi lepljenja 135 °C, 155 °C, 165 °C in 175 °C), pa smo ugotovili, da je povprečna strižna trdnost pri lepilni mešanici z 0 % deležem UL narasla z dvigom temperature lepljenja pri vseh razredih kakovosti zlepljenosti, razen pri najostrejšem režimu za uporabo v zunanjih pogojih (slika 25). Pri lepilni mešanici MUF70 / UL30 pa je kljub povišanju temperature lepljenja strižna trdnost lepilnega spoja pri vseh treh razredih zlepljenosti ostala skoraj enaka (slika 26). Pri najvišji temperaturi (175 °C) je tako dosegla 2,2 N/mm² za uporabo v suhih pogojih. Glede na lepljenje pri 135 °C se je pri zvišanju na temperaturo lepljenja 175 °C lepilni mešanici MUF70/UL30 znatno dvignila strižna trdnost preskušancem za uporabo v vlažnih (iz 0,2 N/mm² na 0,4 N/mm²) in zunanjih pogojih (iz 0 N/mm² na 0,2 N/mm²).

Ker je čisto MUF lepilo vodoodporno, je bilo tudi pričakovati, da bo ustrezalo vsem trem razredom zlepljenosti. Z dodajanjem UL k MUF lepilu pa se je vodoodpornost lepilnega

spoja, lepljenega s takšnim lepilom, zelo zmanjšala. Ker je UL neodporen na vlago, so posledično tudi lepilne mešanice z večjim deležem UL (MUF60 / UL40) bile manj odporne v vlažnih in zunanjih pogojih. Z večanjem deleža UL v lepilni mešanici z MUF lepilom se strižna trdnost lepilnega spoja pri uporabi v suhih pogojih ni bistveno zmanjševala. Močno pa se je zmanjšala vodoodpornost takšnega lepilnega spoja, kar je razvidno iz povprečnih strižnih trdnosti za uporabo plošč v vlažnih in zunanjih pogojih.

Upogibna trdnost in modul elastičnosti se pri obeh serijah plošč glede na lepilno mešanico in glede na temperaturo lepljenja nista bistveno razlikovala (Slika 28). Glede na lepilno mešanico je najvišji vzdolžni modul elastičnosti dosegla lepilna mešanica MUF80 / 20 s 13143 N/mm^2 , prečni pa lepilna mešanica MUF100 / UL0 s 1262 N/mm^2 . Glede na temperaturo lepljenja je najvišji vzdolžni modul elastičnosti dosegla lepilna mešanica MUF100 / UL0 pri $155 \text{ }^\circ\text{C}$ (12971 N/mm^2), pri prečnem pa enaka lepilna mešanica, lepljena pri $135 \text{ }^\circ\text{C}$ (1262 N/mm^2).

Vlažnost in gostota troslojnih furnirnih vezanih plošč se glede na lepilno mešanico MUF100 / UL0 in MUF60 / UL40 nista bistveno razlikovali. Vlažnost se je razlikovala za 0,2 %, gostota pa za 7 kg/m^3 . Manjšo gostoto je tako imela plošča, lepljena z lepilno mešanico MUF60 / UL40 in sicer 744 kg/m^3 .

5.2 SKLEPI

V raziskavi smo ugotovili, da se lahko v lepilni mešanici MUF / UL za izdelavo furnirnih vezanih plošč uporabi do 40 % UL za uporabo v suhih pogojih, za uporabo v vlažnih pogojih do 20 % UL, ter za uporabo v zunanjih pogojih do 10 % UL v lepilni mešanici z MUF lepilom. Do podobnih rezultatov so prišli tudi pri drugih podobnih diplomskih raziskovalnih nalogah (Veberič, 2015). Z višanjem temperature lepljenja, od $135 \text{ }^\circ\text{C}$ do $175 \text{ }^\circ\text{C}$ pri lepilni mešanici MUF70 / UL30, nismo ugotovili posebnega izboljšanja kvalitete zlepljenosti lepilnih spojev. Opazili pa smo malenkostno izboljšanje odpornosti lepilnega spoja na vlažne in zunanje pogoje, vendar pa še vedno ne dovolj za doseganje zahtev standarda. Predvidevamo lahko, da bi se kvaliteta zlepljenosti lepilnega spoja s to lepilno mešanico lahko povečala z višjo temperaturo lepljenja (nad $175 \text{ }^\circ\text{C}$) ter z daljšim časom stiskanja (nad 6 min.).

Z raziskavo in dobljenimi rezultati smo prišli do zaključka, da je uporaba UL kot dodatka k MUF lepilom pri izdelavi furnirnih vezanih plošč zelo perspektivna rešitev, saj s tem lahko zmanjšamo dodane količine melaminskih smol. Zmanjša se tudi obremenitev okolja s škodljivimi snovmi, po drugi strani pa se uporabi večji delež naravnih surovin, kot je les, ki je obnovljivi vir. Pri izdelavi UL se lahko porabijo tudi slabše izkoriščeni lesni ostanki, kot so žagovina, lesni prah, krajniki, ter se s tem izboljša izkoristek lesa v lesni industriji.

6 POVZETEK

Namen diplomske naloge je bil raziskati, koliko UL lahko še dodamo v lepilno mešanico z MUF lepilom, da bodo 3-slojne furnirne vezane plošče, zlepljene s takšno lepilno mešanico pri temperaturi 135 °C še zadostile trem posameznim kakovostnim razredom zlepljenosti po standardu SIST EN 314-2. Prav tako smo raziskovali vpliv različnih temperatur lepljenja pri dveh lepilnih mešanicah z 0 % in 30 % dodanega UL v lepilni mešanici na mehanske in fizikalne lastnosti plošč.

Najprej smo izdelali 10 furnirnih vezanih plošč pri temperaturi lepljenja 135 °C in sicer po dve na eno lepilno mešanico. Uporabljena razmerja med MUF lepilom in UL so bila: MUF100 / UL0, MUF90 / UL10, MUF80 / UL20, MUF70 / UL30 ter MUF60 / UL40. V drugem delu pa smo izdelali 8 plošč z lepilnima mešanicama MUF100/UL0 pri temperaturi lepljenja 155 °C ter MUF70 / UL30, ki smo jih lepili pri temperaturah 155 °C, 165 °C in 175 °C. Uporabljen bukov furnir je bil iz podjetja Javor Pivka d.d., MUF lepilo (Meldur H97) je bilo iz podjetja Melamin Kočevje, UL pa je bil iz Kemijskega inštituta v Ljubljani.

Med izdelavo 3-slojnih furnirnih vezanih plošč v klasični stiskalnici za vroče lepljenje smo s pomočjo termočlena, vstavljenega v lepilni spoj med furnirnimi listi, spremljali dejansko rast temperature v lepilnem spoju med vročim stiskanjem plošče.

Iz plošč smo izdelali preskušance za ugotavljanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti, preskušance za ugotavljanje strižne trdnosti ter za ugotavljanje vlažnosti in gostote plošč. Nato smo preskušance za ugotavljanje strižne trdnosti v laboratoriju na Oddelku za lesarstvo pripravili po režimih za umetno staranje lepilnih spojev, za 3 kakovostne razrede zlepljenosti, ki so določeni v standardu SIST EN 314-1:2005. Tako pripravljene preskušance za vsak razred zlepljenosti posebej smo nato testirali na trgalnem stroju Zwick / Roell Z005. Preskušance za določanje strižne trdnosti in modula elastičnosti smo pripravili po standardu SIST EN 310:1993 ter nato testirali na testirnem stroju Zwick Z100. Za določanje gostote in vlažnosti pa smo preskušance pripravili po standardih SIST EN 323:1993 ter SIST EN 322:1993.

Na podlagi dobljenih rezultatov raziskave smo ugotovili, da za uporabo plošč v suhih pogojih (razred zlepljenosti 1) ustrezajo furnirne vezane plošče, zlepljene z lepilnimi mešanicami MUF lepila in UL, ki jim je dodano do 40 % UL. Za uporabo v vlažnih pogojih (razred zlepljenosti 2) ustrezajo plošče, zlepljene z lepilnimi mešanicami, ki jim je dodano do 20 % UL ter za uporabo v zunanjih pogojih (razred zlepljenosti 3) furnirne vezane plošče z največ 10 % dodanega UL v lepilni mešanici.

Upogibna trdnost in modul elastičnosti se nista bistveno spreminjala niti glede različnih deležev UL v lepilni mešanici in tudi ne glede na različne temperature lepljenja.

Vlažnost in gostota sta se med ploščami zlepljenimi z lepilno mešanico z največjim dodanim deležem UL (MUF60 / UL40) in z lepilno mešanico brez dodanega UL (MUF100 / UL0) zelo minimalno razlikovali. Tako je najvišjo vlažnost ter istočasno najnižjo gostoto dosegla furnirna vezana plošča zlepljena z lepilno mešanico z največjim dodanim deležem UL (MUF60 / UL40) in sicer vlažnost 9,5 % ter gostoto 744 kg/m^3 .

Ugotovili smo, da višina deleža UL k lepilni mešanici z MUF lepilom ne vpliva toliko na proučevane trdnostne lastnosti plošč, vendar vpliva predvsem na odpornost lepilnih spojev proti vlagi in vplivom zunanjih pogojev uporabe.

Uporaba UL kot dodatka k MUF lepilom je zelo smiselna tako iz ekonomskega, kot tudi iz ekološkega vidika:

- zmanjšajo se emisije prostega formaldehida v okolje (zaradi manjše vsebnosti v lepilni mešanici ter dodatne vezave prostega formaldehida z UL),
- poveča se uporaba naravne surovine-lesa,
- poveča se izkoristek lesa v predelovalni verigi lesa (uporaba lesa slabše kakovosti, uporaba lesnih ostankov),
- nova dodana vrednost lesa,
- ponovna uporaba-reciklaža že uporabljenega lesa.

7 VIRI

- Bedekovič K., Leban I. 2016. Lesne plošče. Srednja lesarska šola Škofja Loka.
http://www.cpi.si/files/cpi/userfiles/Lesarstvo_tapetnistvo/lesne_plosce.pdf
(9.6.2016)
- Bukev .Wikipedia.<https://sl.wikipedia.org/wiki/Bukev>(01.06.2016)
- Celuloza, Wikipedia, <https://sl.wikipedia.org/wiki/Celuloza>, (01.06.2016)
- Čuk N. 2008. Optimizacija utekočinjenja lesa različnih drevesnih vrst. Diplomsko delo.
Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 68 str.
- Fengel D., Wegener G. 1984. Woodchemistry, ultrastructure, reactions. Berlin, Walter de Gruyter: 613 str.
- Formaldehidne smole
http://studentski.net/gradivo/ulj_fkt_kil_pol_sno_fenol_formaldehidne_smole_01?r=1 (09.06.2016)
- Jež B. 2011. Izdelava opazne plošče z lepilom na osnovi utekočinjenega lesa. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 32 str.
- Kos J. 2013. Kakovost lepljenja z različnimi mešanicami utekočinjenega lesa in MUF lepila. Magistrska naloga. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 13 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
- Les. Wikipedia <https://sl.wikipedia.org/wiki/Les> (01.06.2016)
- Lignin. Wikipedia. <https://sl.wikipedia.org/wiki/Lignin>(01.06.2016)
- Petrič M., Nagode K., Lampe M., Trobec M., Kržišnik M. Utekočinjen les.
http://projekti.gimvic.org/2011/2a/utekocinjen_les/(01.06.2016)
- Resnik J. 1989. Lepila in lepljenje lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 103 str.
- Rowell R.M. 2005. Handbook of wood chemistry and wood composites. Boca Raton, CRC Press: 487 str.

SIST EN 310, Lesne plošče – Določanje modula elastičnosti in strižne trdnosti, 1993

SIST EN 314-1, Vezan Les – Kakovost zlepljenih spojev – 1. del: preskusne metode, 2005

SIST EN 314-2, Vezan Les – Kakovost zlepljenih spojev – 1. del: zahteve, 1996

SIST EN 322, Lesne plošče – Določanje vlažnosti, 1993

SIST EN 323, Lesne plošče – Določanje gostote, 1993

Šernek M., Kutnar A. 2009. Aminoplastična lepila. Les, 61, 2:47-53

Tišler V. 2002. Utekočinjen les in njegova uporaba. Les, 54, 9: 284-291

<http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:doc-A6X3FOWU> (29.8.2016)

Tohmura S., Li G., Qin T. 2005. Preparation and characterization of wood polyalcohol-based isocyanate adhesives. Journal of applied polymer science, 98, 2: 791-795

Veberič R. 2015. Uporaba visokofrekvenčne tehnologije za lepljenje furnirnih vezanih plošč z mešanicami utekočinjenega lesa in MUF lepila. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 43 str.

ZAHVALA

Za mentorstvo in strokovno pomoč pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem prof. dr. Milanu Šerneku.

Zahvaljujem se tudi viš. pred. mag. Bogdanu Šegi za vso strokovno podporo ter vso pomoč pri praktičnem delu in za recenzijo diplomske naloge.

Prav tako pa bi se rad zahvalil vsem domačim ter prijateljem za pomoč in podporo pri nastajanju diplomske naloge.