

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Franko DOLGAN

**VPLIV HLADNEGA PREDSTISKANJA NA
LASTNOSTI TEŽKO GORLJIVE VEZANE PLOŠČE**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2010

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Franko DOLGAN

**VPLIV HLADNEGA PREDSTISKANJA NA LASTNOSTI TEŽKO
GORLJIVE VEZANE PLOŠČE**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**INFLUENCE OF COLD PRE-PRESSING ON PROPERTIES OF
HEAVILY BURNABLE PLYWOOD**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2010

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer smo izvedli meritve gostote in vlažnosti, upogibne ter strižne trdnosti pri furnirnih vezanih ploščah. Preizkušanci so bili izdelani v podjetju JAVOR Pivka d.d.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval izr. prof. dr. Milana Šerneka, za recenzenta pa doc. dr. Sergeja Medveda.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Franko Dolgan

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Vs
DK UDK 630*832.282
KG furnir/hladno predstiskanje/težko gorljiva furnirna plošča/mehanske lastnosti
AV DOLGAN, Franko
SA ŠERNEK, Milan (mentor)/MEDVED, Sergej (recenzent)
KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI 2010
IN VPLIV HLADNEGA PREDSTISKANJA NA LASTNOSTI
TEŽKO GORLJIVE VEZANE PLOŠČE
TD Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP X, 56 str., 18 pril., 13 sl., 3 pril., 17 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Ugotavljali smo vpliv hladnega predstiskanja na lastnosti težko gorljive vezane plošče. Bukov furnir smo tretirali z vodnimi raztopinami boraksa in borove kisline, ga zopet posušili ter iz njega izdelali z melamin-urea-formaldehidnim (MUF) lepilom zlepljene furnirne plošče. Pred vročim stiskanjem smo plošče različno dolgo (9,5 min ter 29,5 min) hladno predstiskali. Kasneje smo iz plošč izdelali preizkušance, katerim smo ugotavljali vprešek, gostoto in vlažnost, kakovost zlepljenosti ter upogibno trdnost in modul elastičnosti. Na osnovi rezultatov preizkušanja mehanskih lastnosti plošč smo ovrednotili vpliv hladnega predstiskanja na kakovost lepljenja. Ugotovili smo, da lahko vplivamo na mehanske lastnosti težko gorljive vezane plošče že z 9,5 minutnim hladnim predstiskanjem, saj se je strižna trdnost povečala za 5,7 % glede na plošče pri katerih nismo uporabili hladnega predstiskanja. Umetno staranim ploščam pa se je zaradi predstiskanja strižna trdnost povečala za 8,3 %. Upogibna trdnost se je v vzdolžni smeri povečala za 13,3 %, v prečni pa za 18,3 %. Modul elastičnosti se je v vzdolžni smeri povečal za 6 %, v prečni pa za 8,3 %. Pri daljšem hladnem predstiskanju (29,5 min) se je strižna trdnost lepilnega spoja namakanih preizkušancev zmanjšala za 8,6 % v primerjavi s preizkušanci iz plošč, izdelanih brez hladnega predstiskanja. Umetno starani preizkušanci so imeli za 12,5 % manjšo trdnost. Po 29,5 minutnem hladnem predstiskanju se je upogibna trdnost povečala, vendar je bilo to povečanje manjše kot pri 9,5 minutnem predstiskanju. Modul elastičnosti v vzdolžni smeri se je pri 29,5 minutnem hladnem predstiskanju povečal, vendar za samo 3,1 %, medtem ko se je v prečni smeri zmanjšal za 1,3 %.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs
DC UDC 630*832.282
CX veneer/cold pre-pressing/heavily burnable plywood/mechanical properties
AU DOLGAN, Franko
AA ŠERNEK, Milan (supervisor)/MEDVED, Sergej (co-advisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c.VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2010
TI INFLUENCE OF COLD PRE-PRESSING ON PROPERTIES OF HEAVILY BURNABLE PLYWOOD
DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO X, 56 p., 18 tab., 13 fig., 3 ann., 17 ref.
LA sl
AL sl/en
AB We observed the influence of cold pre-pressing on properties of heavily burnable plywood. Beech veneer was impregnated with Borax and Boric acid water solutions. Then it was dried again and veneer boards, glued with melamine-urea-formaldehyde glue, were produced. In the manufacture of plywood, 2 different periods of cold pre-pressing time (9.5 min and 29.5 min) were compared. To determine thickness loss, density and moisture content, bonding quality, bending strength and modulus of elasticity plywood specimens were prepared. Based on the results of testing of plywood mechanical properties, the impact of cold pre-pressing on the quality of adhesion was evaluated. We found out that we could influence mechanical properties of heavily burnable plywood already with 9.5 min cold pre-pressing, because the shear strength increased for 5.7 % regarding to the non-cold pre-pressed plywood. Due to cold pre-pressing of artificially aged plywood boards, the shear strength increased for 8.3 %. The bending strength in the longitudinal direction increased for 13.3 %, in transverse for 18.3 %. Modulus of elasticity in the longitudinal direction increased for 6 %, in the transverse for 8.3 %. At longer (29.5 min) cold pre-pressing time, the shear strength of adhesive bond of soaked specimens decreased for 8.6 %, compared to that of non-cold pre-pressing specimens. Strength of artificially aged specimens was 12.5 % lower. After 29.5 minutes, the cold pre-pressing of the bending strength increased, but the increase was less than at 9.5 minutes long cold pre-pressing. At 29.5 minutes long cold pre-pressing, the modulus of elasticity was 3.1 % higher in longitudinal direction, while in the transverse direction it decreased for 1.3 %.

KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VIII
KAZALO SLIK	IX
KAZALO PRILOG	X
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	2
1.2 DELOVNE HIPOTEZE IN CILJI	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 SPLOŠNI DEL	3
2.2 FURNIRJI	3
2.2.1 Delitev furnirjev	3
2.2.1.1 Po načinu izdelave	3
2.2.1.2 Po uporabi	3
2.2.2 Surovine za proizvodnjo furnirja	4
2.2.2.1 Hlodovina za luščen furnir	4
2.2.3 Hidrotermična obdelava hlodovine	4
2.2.3.1 Segrevanje lesa	4
2.2.3.2 Parjenje lesa	5
2.2.4 Proizvodnja luščenega furnirja	6
2.2.4.1 Tehnika luščenja furnirja	6
2.2.5 Sušenje furnirja	7
2.2.5.1 Tehnično sušenje furnirja	7
2.3 LEPILA IN LEPLJENJE LESA	8
2.3.1 Zahteve pri lepljenju lesa	8
2.3.2 Lepilni spoj	9
2.3.3 Teorije lepljenja	9
2.3.3.1 Mehanska teorija adhezije	10
2.3.3.2 Molekularno – adsorpcijska teorija adhezije	10
2.3.3.3 Električna teorija adhezije	10
2.3.3.4 Difuzijska teorija adhezije	10
2.3.3.5 Kemijska teorija adhezije	10

2.3.4	Utrjevanje lepila	11
2.3.4.1	Razdelitev glede na surovinsko osnovo	11
2.3.4.2	Razdelitev lepil glede na namen uporabe v lesni industriji.....	12
2.3.5	Dejavniki pri lepljenju lesa	13
2.4	FURNIRNA PLOŠČA	15
2.4.1	Furnirne plošče.....	15
2.4.2	Osnovne konstrukcijske zahteve.....	17
2.4.3	Izguba debeline.....	18
2.4.4	Lastnosti lesa in lesnih kompozitov	18
2.4.5	Mehanske in fizikalne lastnosti lesa.....	19
2.4.5.1	Trdota lesa	19
2.4.5.2	Trdnost lesa	19
2.4.6	Okoljevarstvene lastnosti.....	21
2.4.7	Požarne lastnosti.....	21
2.4.7.1	Antipiretik	22
2.4.8	Lastnosti vezane plošče B1	23
2.4.9	Lastnosti bukve.....	24
3	MATERIAL IN METODE.....	26
3.1	ZASNOVA EKSPERIMENTA	26
3.2	MATERIAL	26
3.2.1	Uporabljen les.....	26
3.2.2	Uporabljeno lepilo.....	26
3.2.2.1	Melamin-urea-formaldehidno lepilo (MUF).....	26
3.2.2.2	Področje uporabe MUF lepil	27
3.2.2.3	Lepilo MELDUR H 97.....	28
3.2.3	Ognjezadrževalno sredstvo oz. antipiretik	28
3.3	METODE DELA	28
3.3.1	Izdelava furnirnih vezanih plošč.....	28
3.3.2	Določanje izgube debeline	31
3.3.3	Načrt razžagovanja preizkušancev.....	32
3.3.4	Klimatiziranje preizkušancev	33
3.3.5	Ugotavljanje gostote po SIST EN 323 in vlažnosti po SIST EN 322	34
3.3.6	Ugotavljanje strižne trdnosti po SIST EN 314-1	34
3.3.6.1	Ocenjevanje loma po lesu	36
3.3.7	Ugotavljanje upogibne trdnosti po SIST EN 310	36
4	REZULTATI	38
4.1	IZGUBA DEBELINE PLOŠČ	38
4.2	GOSTOTA IN VLAŽNOST PLOŠČ	39
4.3	STRIŽNA TRDNOST in lom po lesu PREIZKUŠANCEV	40
4.4	UPOGIBNA TRDNOST PREIZKUŠANCEV	44

5	RAZPRAVA IN SKLEPI	45
5.1	Razprava.....	45
5.1.1	Izguba debeline plošč	45
5.1.2	Gostota in vlažnost plošč	46
5.1.3	Strižna trdnost in ocena loma po lesu	47
5.1.4	Upogibna trdnost in modul elastičnosti.....	50
5.2	SKLEPI	52
6	POVZETEK.....	55
7	VIRI.....	56

ZAHVALA
PRILOGE

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Glavne faze sprememb lesa, ki jih povzroča segrevanje (Humar, 2006).....	21
Preglednica 2: Mehanske lastnosti bukovine (Čufar, 1997)	25
Preglednica 3: Osnovne lastnosti lepila Meldur H97 (Melamin Kočevje, 2007)	28
Preglednica 4: Sestava lepilne mešanice za Meldur H97.....	28
Preglednica 5: Parametri lepljenja plošč	30
Preglednica 6: Zahteve za kvaliteten lepilni spoj (SIST EN 314-2)	36
Preglednica 7: Povprečne vrednosti izgube debeline.....	38
Preglednica 8: Povprečne vrednosti gostote in vlažnosti preizkušancev	39
Preglednica 9: Povprečje strižnih trdnosti po lepilnih parih pri namakanih preizkušancih.....	40
Preglednica 10: Povprečje strižnih trdnosti po lepilnih parih pri kuhanih preizkušancih.....	41
Preglednica 11: Povprečje strižnih trdnosti po lepilnih parih pri namakanih preizkušancih...	41
Preglednica 12: Povprečje strižnih trdnosti po lepilnih parih pri kuhanih preizkušancih.....	42
Preglednica 13: Povprečje strižnih trdnosti po lepilnih parih pri namakanih preizkušancih...	42
Preglednica 14: Povprečje strižnih trdnosti po lepilnih parih pri kuhanih preizkušancih.....	43
Preglednica 15: Povprečje strižnih trdnosti po lepilnih parih pri namakanih preizkušancih...	43
Preglednica 16: Povprečje strižnih trdnosti po lepilnih parih pri kuhanih preizkušancih.....	44
Preglednica 17: Povprečne vrednosti upogibne trdnosti in E-Modula.....	44
Preglednica 18: Povprečne vrednosti strižne trdnosti ter loma po lesu	47

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Idealizirana veriga členov, ki predstavlja lepilni spoj (Marra,1992).....	9
Slika 2: Načini zlaganja furnirnih listov (Nikolić, 1988).....	17
Slika 3: Vrste furnirnih vezanih plošč - pyrosply	23
Slika 4: Načrt razžagovanja plošče v preizkušance	32
Slika 5: Načini zažagovanja preizkušancev za ugotavljanje strižne trdnosti.....	35
Slika 6: Tritočkovni upogib	37
Slika 7: Izguba debeline glede na vrsto plošče	45
Slika 8: Gostota plošč.....	46
Slika 9: Vlažnost plošč.....	47
Slika 10: Povprečne vrednosti strižnih trdnosti glede na način priprave preizkušancev.	48
Slika 11: Povprečne vrednosti lomov po lesu glede na način priprave preizkušancev.....	49
Slika 12: Povprečne vrednosti upogibne trdnosti glede na smer preizkušanca v plošči.....	50
Slika 13: Povprečne vrednosti E – Modula glede na smer preizkušanca v plošči.	51

KAZALO PRILOG

- Priloga A: Izmerjena debelina furnirnih listov ter izračunana debelina vezanih plošč
- Priloga B: Gostota in vlažnost furnirnih vezanih plošč
- Priloga C: Upogibna trdnost furnirnih vezanih plošč v vzdolžni in prečni smeri

1 UVOD

Razvoj lesne industrije je privedel do izdelovanja lesnih kompozitov, kamor spadajo tudi furnirne vezane plošče. V ZDA so pričeli z industrijsko proizvodnjo vezanih plošč že v začetku 19. stoletja, vendar so se intenzivno začele razvijati šele po I. svetovni vojni. Vezana plošča je rezultat prizadevanja, da se masiven les zamenja s lesnim kompozitom, ki ima izboljšane fizikalne in mehanske lastnosti.

Proizvodnja vezanih in mizarskih plošč v podjetju Javor sega v leto 1934. Tovarna vezanih in mizarskih plošč z žago v Pivki je bila ena od treh tovarn, ki so sestavljale v letu 1951 novoustanovljeno podjetje Javor. Program vezanega lesa je kvalitativno rasel in združeval heterogene proizvodnje luščenega furnirja, vezanih plošč in krivljenih elementov, mizarskih plošč ter pohištva.

Danes Javor Pivka posluje kot skupina Javor Pivka d.d., ki združuje lesne dejavnosti v več profitnih centrih.

V profitnem centru Vezane plošče v Pivki se odvija proizvodnja vezanih plošč za splošno uporabo, furniranih vezanih plošč, specialnih vezanih plošč in ladijskih rešetk. Prihodnost tega programa gradijo na specializiranih izdelkih na osnovi vezanega lesa ob sočasni uporabi drugih sodobnih in tehnično najprimernejših materialov iz kovin, plastike in gume. Zato veliko pozornosti namenjajo raziskavam in razvoju novih izdelkov za najrazličnejše tržne niše, prav tako pa tudi tehnološkim posodobitvam.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Potrebe po protipožarni zaščiti lesnih izdelkov se povečujejo. Predpisi predpisujejo uporabo težko gorljivih materialov (stene, talne obloge itn.) v bolnišnicah, šolah, športnih halah ter objektih kulturnega in zgodovinskega značaja.

Da bi dosegli težko gorljivo furnirno vezano ploščo, je predhodno potrebno furnir tretirati z ognjezadrževalnimi sredstvi. Tako pripravljen furnir pa vpliva na lepljenje in lastnosti lepilnega spoja. Zaradi tega se v proizvodnji podjetja JAVOR pogosto pojavi problem razslojevanja po lepilnem spoju, zato je potrebno spremeniti tehnološki proces izdelave vezanih plošč oziroma uvesti hladno predstiskanje.

1.2 DELOVNE HIPOTEZE IN CILJI

Predvidevamo, da bo lepilni spoj kvalitetnejši pri neimpregniranih preizkušancih v primerjavi z impregniranimi. S hladnim predstiskanjem impregniranih preizkušancev pričakujemo boljšo penetracijo lepila, kar se kasneje rezultira v boljših lastnostih težko gorljive vezane plošče.

Z izvedbo preizkusov želimo priti do rezultatov, ki bodo jasno prikazali, kateri čas predstiskanja je zadosten. Preizkušance bomo predhodno impregnirali z borati. Nekaj preizkušancev ne bo impregniranih. Pri impregniranih preizkušancih bomo imeli različne čase hladnega predstiskanja. Kot končni rezultat želimo ugotoviti vpliv časa hladnega predstiskanja impregniranega furnirja na lastnosti težko gorljive vezane plošče.

2 PREGLED OBJAV

2.1 SPLOŠNI DEL

Za vgrajeni material je pomembno, da je odporen proti ognju. Ustrezno zaščiten les in lesni kompoziti imajo bistveno večjo požarno odpornost kot pa jeklo in armirani beton (Zbašnik Senegačnik, 2001).

Impregniran furnir je bolj higroskopičen kot neimpregniran. Zaradi tega prodre lepilo pri impregniranem furnirju globlje v les. Pri neimpregniranem furnirju pa ostane večji delež lepila na površini in tvori na ta način trdnejši spoj dveh sosednjih furnirjev. Dodatki ognjezadrževalnega sredstva v furnirno ploščo vplivajo na zmanjšanje njenih mehanskih trdnosti (Šega, 1992).

Uvedba predstiskanja ne vpliva bistveno na spremembo strižne trdnosti, izgubo debeline in gostote furnirnih plošč. Edini vpliv je viden pri stopnji zlepljenosti, ki se poveča na trikratno vrednost (pri 20 min predstiskanju) glede na plošče, ki niso bile predstisnjene (Požar, 1996).

2.2 FURNIRJI

Furnirji so listi lesa debeline od 0,4 – 10 mm pridobljeni pri:

- rezanju,
- luščenju in
- žaganju ustrezne hlodovine.

2.2.1 Delitev furnirjev

2.2.1.1 Po načinu izdelave

- rezane (pridobivamo jih s tehniko rezanja na furnirskih rezalnikih),
- luščene (pridobivamo jih s tehniko centričnega ali ekscentričnega luščenja na luščilnih strojih),
- žagane (pridobivamo jih na specialnih strojih s krožnimi žagami).

2.2.1.2 Po uporabi

- plemeniti furnirji (izkoriščamo dekorativne lastnosti lesa, ter ga uporabljamo za furnirje ravnih, reliefing in robnih ploskev lesnih plošč),
- slepi furnirji ali konstrukcijski (izkoriščamo mehansko-fizikalne lastnosti in ga zato uporabljamo pri izdelavi slojnega lesa, za embalažo...).

2.2.2 Surovine za proizvodnjo furnirja

Za proizvodnjo luščenih in rezanih furnirjev se uporablja hlodovina, ki ima lastnosti in določena svojstva furnirjev, ter profitabilnost proizvodnje. Gleda na to ali želimo proizvesti plemenite furnirje z določenimi estetskimi lastnostmi in sposobnostmi za površinsko obdelavo, ali slepe furnirje, delimo surovino na.

- hlodovino za izdelavo rezanega furnirja (plemenitega),
- hlodovino za izdelavo luščenega furnirja (slepi oz., konstrukcijski).

2.2.2.1 Hlodovina za luščen furnir

Hlodovina za luščenje je predvsem namenjena proizvodnji furnirja za vezan les (vezane ali mizarske plošče). Pri tej hlodovini izkoriščamo zlasti mehansko-fizikalne lastnosti lesa. Od domačih drevesnih vrst luščimo hlodovino: bukve, topola, javorja, vrbe, lipe, smreke, breze in jelke.

Hlodovina mora biti iz zimske sečnje, razen bukovine, topolovine in vrbovine, ki je lahko tudi iz poletne sečnje. Hlodovina mora ustrezati določenim normam, oziroma mora biti: zdrava, s pravnimi letnicami, normalne barve, s srcem približno v sredini, brez grč in slepih poganjkov.

2.2.3 Hidrotermična obdelava hlodovine

S ciljem zagotavljanja izdelave furnirja določene debeline in odgovarjajoče kvalitete, je potrebno hlodovino priverst v stanje, ki bo optimalno zagotovilo proces izdelave takšnega furnirja. To je mogoče doseči s hidrotermično obdelavo hlodovine s procesi:

- kuhanja,
- parjenja in
- segrevanja.

2.2.3.1 Segrevanje lesa

Segrevamo tiste drevesne vrste, pri katerih ne želimo spremeniti barve, dosežemo pa samo mehanske spremembe lesa. Pri tem les postane bolj plastičen, kar je pogoj za kvaliteten rez furnirja.

2.2.3.2 Parjenje lesa

Pri parjenju dosežemo plastifikacijo in spremembo barve lesa. S parjenjem se iz lesa ekstrahirajo, oziroma izločajo lesne polioze, pri čemer nastajajo monosaharidi (pentoze, heksoze) in nižje molekularne organske kisline (mravljična, očetna). Pod vplivom visoke temperature in v prisotnosti vode, se v lesu odvijajo kemične spremembe, ki vplivajo na spremembo elastičnosti, higroskopičnosti in zmanjšano trdnost.

Proces hidrotermične obdelave, oziroma parjenja se odvija v treh fazah:

- segrevanje,
- parjenje ali kuhanje in
- izenačevanje temperature.

Faza segrevanja

Je čas od začetka parjenja in traja, dokler les, oziroma, hlod ne doseže enotne temperature po celem preseku. Odvisen je od začetne temperature in traja 3 – 6 ur, želena temperatura pa se doseže postopoma. Temperatura segrevanja pri blažjih režimih znaša 30 – 50 °C, pri ostrejših v zimskem času pa 70 – 90 °C.

Faza izenačevanja

Traja od trenutka prekinitve dovajanja toplotne energije, do odprtja bazena in se odvija postopoma, zaradi preprečevanja pojava razpok na hlodovini. V procesu hidrotermične obdelave hlodovine, ki je namenjena za proizvodnjo furnirja, se pri nekaterih vrstah lesa pojavljajo določene spremembe kot so: sprememba vlage, sprememba trdnosti, sprememba plastičnosti, sprememba barve, tudi sterilizacija lesa in izluženje nekaterih čreslovin.

Parjenje izvajamo na dva načina in sicer:

- direktni,
- indirektni.

Direktno parjenje se izvaja tako, da se v jamo izpušča para pod majhnim tlakom. Cevi za dovajanje pare so razporejene po dnu jame in imajo luknjice premera 5 mm. Nad cevmi je zaslonska pločevina, ki varuje les pred direktnim brizganjem pare, les pa je izpostavljen temperaturi okrog 100 °C.

Indirektno parimo les tako, da ogrevamo plast vode, globoke 40 – 50 cm, ki se nahaja na dnu jame. Pri segrevanju se razvija para, ki enakomerno segreje hlodovino. Indirektno parjenje traja nekoliko dlje, toda les je bolj enakomerno plastificiran in manj poka.

Kuhanje lesa

Kuhamo tiste vrste lesa, ki so izredno trde, ali pa vsebujejo mnogo tanina, smole ali masti. Tako izlužimo nekatere dodatne snovi v lesu. Hlodovino kuhamo v vodi, ki je ogreta na 60 – 80 °C.

2.2.4 Proizvodnja luščenega furnirja

Na strojih za luščenje furnirja, oziroma luščilnikih izdelujemo.

- slepi furnir za proizvodnjo vezanega lesa,
- furnir za embalažo, vžigalic in
- furnir za proizvodnjo slojnatega lesa.

V ožjem smislu razumemo luščenje furnirja, kot rezanje hlodovine s furnirskim nožem po določeni krivulji, ki ima obliko Arhimedove spirale, nastane pa kot kombinacija obračanja hloda in premočrtnega pomika suporta s furnirskim nožem. Proces se izvaja na luščilnih strojih v več izvedbah, in sicer kot:

- normalno luščenje,
- centrično luščenje in
- ekscentrično luščenje.

2.2.4.1 Tehnika luščenja furnirja

Centriranje hloda je prva faza v postopku luščenja furnirja, izvaja pa se z namenom doseganja boljšega izkoristka.

Pri avtomatskem centriranju naprava dvigne hlod s transporterja, ga postavi v ustrezen položaj in ga avtomatsko vpne. Najnovejše računalniško vodene naprave za centriranje s pomočjo svetlobnih žarkov upoštevajo obliko in tudi stopnjo ukrivljenosti hloda. Po vpetju posebni mehanizem zavrti hlod in istočasno približa furnirski nož, ter tlačno letev, nakar se prične luščenje. Hlod luščimo do določenega premera (okoli 15 cm, brez-vretensko do 5 cm).

Hitrost luščenja je odvisna od:

- debeline hloda,
- drevesne vrste in
- števila obratov vretena.

Pri konstantnem številu obratov se hitrost luščenja spreminja v odvisnosti od premera hloda. Hitrost luščenja se giblje od 80 – 200 m/min, pod 30 m/min pa se ne priporoča zaradi slabe kvalitete furnirja. Na kvaliteto luščenega furnirja poleg hitrosti luščenja vpliva še položaj noža, tlačne letve in kot luščenja.

2.2.5 Sušenje furnirja

Po rezanju, oziroma luščenju furnirja, moramo le tega na ustrezen način posušiti na določeno vlažnost in ga tako pripraviti za nadaljnjo obdelavo. Sušenje opravimo čim prej, oziroma najkasneje v 24 urah, ker se na furnirju zaradi visoke vlažnosti lahko hitro pojavi obarvanje ali celo plesen.

Na začetku sušenja furnir vsebuje od 40 – 110 % vlage, najpogosteje pa 50 – 80 % vlage, kar pa je odvisno od:

- priprave hlodovine,
- drevesne vrste.

Plemenite furnirje sušimo na končno vlažnost 8 – 12 %, slepe furnirje pa na vlažnost 6 – 8 %.

Sušenje furnirja delimo na dva načina in sicer na:

- sušenje glede na način sušenja (naravno, tehnično),
- sušenje glede na prenos toplote (kontaktno, konveksno, kombinirano).

2.2.5.1 Tehnično sušenje furnirja

Tehnično sušimo furnir v eno ali več etažnih sušilnicah različnih konstrukcij. Tako kot pri naravnem sušenju je tudi pri tehničnem sušenju trajanje sušenja odvisno od:

- temperature sušenja,
- drevesne vrste,
- začetne in končne vlažnosti furnirja ter
- debeline furnirja.

V okviru tehničnega sušenja furnirja se uporablja več načinov, oziroma izvedb sušenja:

- stacionarno sušenje v sušilnih komorah in
- pretočno sušenje furnirja.

V praksi se največ uporablja pretočno sušenje. Furnir se na zahtevano vlago posuši v času prehoda skozi sušilnico, in sicer v:

- tračnih sušilnicah (dekorativni furnir),
- valjčnih sušilnicah (konstrukcijski furnir).

Najpogostejša oblika tračnih sušilnic so šobne sušilnice, kjer skozi posebne šobe z obeh strani dovajamo vroč zrak temperature od 80 – 205 °C in s hitrostjo 30 – 50 m/s.

2.3 LEPILA IN LEPLJENJE LESA

Les lepimo zaradi: omejenosti v dimenzijah, izboljšanja dimenzijske stabilnosti, izboljšanja mehanskih lastnosti, izdelave lesnih kompozitov, konstrukcijske povezave, izboljšanja izkoristka, oplemenitenja, oblikovanja in zaščite lesa.

Pod pojmom lepljenje razumemo vezanje dveh enakih ali različnih materialov z veznim materialom. Lesna industrija po svetu proizvaja stotine različnih proizvodov, katerih osnova so les v različnih oblikah, različni polproizvodi in tvoriva, ter različne tehnologije obdelave in predelave lesa.

Les je naravni material specifične zgradbe in lastnosti, med samo obdelavo in včasih tudi med uporabo in lepljenjem, pa se pokažejo tudi nekatere pogojno rečeno negativne lastnosti lesa, kot so:

- anizotropija (nehomogen material, ki je tudi porozen),
- variabilnost fizikalnih in mehanskih lastnosti,
- higroskopnost,
- slaba toplotna prevodnost.

Našteti lastnosti sicer ne moremo odpraviti, lahko pa jih delno omilimo in zato:

- les sušimo,
- njegove dimenzije povečujemo z različnimi oblikami lepljenja (dolžinsko, širinsko in debelinsko),
- z namenom dimenzijske stabilizacije izdelujemo različne sestavljene proizvode in ga z različnimi sredstvi zaščitimo pred zunanjimi vplivi in škodljivci.

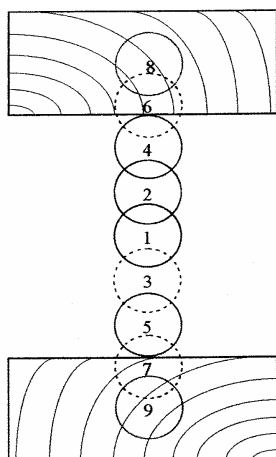
2.3.1 Zahteve pri lepljenju lesa

Lepila, ki se uporabljajo v lesni industriji, morajo imeti predvsem naslednje lastnosti:

- ustrezno vezivno trdnost,
- za različne namene uporabe različne hitrosti vezanja/utrjevanja,
- ustrezen odprti in zaprti čas lepljenja,
- da so kemijsko čimbolj nevtralna in ne povzročajo barvnih sprememb na lesu,
- po utrjevanju morajo biti dovolj elastična,
- morajo dajati kvalitetne spoje,
- da čimmanj obrabljajo obdelovalno orodje,
- doba skladiščenja mora biti čim daljša.
- da so zdravju neškodljiva,
- da so enostavna za pripravo in uporabo,
- odporna na mikroorganizme, insekte, glive, svetlobo, mraz, staranje,
- odporna na klimatske spremembe,
- odporna na kemikalije, kemijske vplive,
- lepilo ne sme biti ekološko oporečno.

2.3.2 Lepilni spoj

Zgradbo lepilnega spoja lahko predstavimo z verigo (slika 1), ki je sestavljena iz devetih členov (Marra, 1992).



Legenda:

- 1 nevtralni sloj filma – lastnost lepilnega filma (kohezijske sile),
- 2 in 3 mejni sloj lepilnega filma,
- 4 in 5 točka dotika lepila in lepljenca – vzpostavljena privlačnost med molekulami lesa in lepila (adhezijske sile),
- 6 in 7 podpovršinski sloj lepljenca,
- 8 in 9 skrajna člena v verigi (lastnost lepljenca).

Slika 1: Idealizirana veriga členov, ki predstavlja lepilni spoj (Marra, 1992)

Trdnost lepilnega spoja je enaka trdnosti najšibkejšega člena, zato je vsak od devetih členov pomemben pri oblikovanju lepilnega spoja (Marra, 1992).

2.3.3 Teorije lepljenja

Teorije lepljenja proučujejo vzroke in posledice sil, ki omogočajo lepljenje dveh enakih ali različnih, poroznih ali neporoznih materialov. Vse teorije temeljijo na adhezijskem, kohezijskem ali kombiniranem delovanju sil.

- adhezija je definirana kot privlačnost med dvema različnima materialoma. To pomeni, da sta dve površini povezani med seboj zaradi delovanja površinskih sil,
- kohezija je definirana kot privlačnost znotraj istega materiala. Torej predstavlja privlačnost med osnovnimi gradniki snovi (atomi ali molekulami).

Adhezijske in kohezijske sile delujejo na zelo majhnih razdaljah. To so razdalje velikosti nanometra med molekulami in atomi v trdnih snoveh in tekočinah (Šega, 2003)

2.3.3.1 Mehanska teorija adhezije

Mehanska teorija adhezije temelji na tem, da kapilarne sile vsrkajo lepilo v pore in razpoke lepljenca, kjer po utrditvi izoblikuje neke vrste sidra, ki pomenijo močno medsebojno povezavo. To pa dosežemo z ustrezno viskoznostjo lepila, ki omogoča penetracijo, hkrati pa prepreči pust lepilni spoj. Ta teorija ne pojasnjuje lepljenja neporoznih materialov. Ravno tako ne pojasnjuje dejstva, da imajo lepila relativno nizke strižne in upogibne trdnosti (Resnik, 1989).

2.3.3.2 Molekularno – adsorpcijska teorija adhezije

Proces vezanja je pogojen s privlačnostjo med atomi lepila in lepljenca. Pogoj je dobra omakalnost lepila, ki naj omogoči prehod molekul lepila proti površini lepljenca, ki jih absorbira. Medsebojno delovanje polarnih molekul pa oblikuje še elektrostatične sile, ki pa z naraščanjem temperature naglo padajo. Teorija ima pomanjkljivost, ker ne pojasnjuje lepljenje nepolarnih materialov (Šernek, 1999).

2.3.3.3 Električna teorija adhezije

Pojasnjuje sile adhezije z elektrostatično privlačnostjo, ki jo najdemo v kondenzatorjih. Pri tej teoriji gre za dvojno električno polje les-lepilni film-les. Ta teorija ne pojasnjuje adhezivne vezi med podobnimi polimeri, med nepolarnimi polimeri in med polimeri, ki prevajajo električni tok (Resnik, 1989).

2.3.3.4 Difuzijska teorija adhezije

Temelji na izhodišču, da makromolekule lepila difundirajo v površino lepljenca in se z njo stopijo. Tako se poveča površina stika. Trdnost vezi raste s časom in temperaturo (Resnik, 1989)

2.3.3.5 Kemijska teorija adhezije

Kemijska ali kovalentna teorija adhezije temelji na tem, da je trdnost lepilne vezi kemijske narave. Pri UF lepilih so to vezi med hidroksilno (OH) skupino, makromolekulami celuloze in metilnimi (CH₂OH) skupinami ob nastanku estrskih vezi. Pri adheziji nastopajo tako primarne kot sekundarne vezi. Sekundarne ali Van der Waalsove sile običajno prispevajo velik delež k trdnosti lepilnega spoja (Šernek, 1999).

2.3.4 Utrjevanje lepila

Utrjevanje lepil je zelo kompleksen postopek, ki ga največkrat sestavlja več medsebojno dopolnjujočih se faz. Postopek oblikovanja lepilnega spoja poteka v več stopnjah:

- nanos in tok lepila,
- prenos lepila,
- penetracija lepila,
- omočitev površine lesnih celic in
- utrditev.

Lepilo se med utrjevanjem spremeni iz tekočega stanja preko gel stanja v trdno stanje. Pogoji za prehod v trdno stanje so reagenti, temperatura, tlak in čas. Postopek utrjevanja lahko poteka zaradi oddaje disperzijskega sredstva, ohlajevanja, koagulacije ali kemijske reakcije in ob kombiniranem delovanju dveh ali več omenjenih oblik.

Z omočitvijo površine, ki je pogoj za kvalitetno lepljenje, je ustvarjen neposredni stik med lepilom in lepljencem. Omakalnost tekočine je v zvezi s površinsko napetostjo, ki je rezultat delovanja molekulskih sil v tekočini. S tem v zvezi je tudi pojav kapilarnosti. Posledice površinske napetosti so:

- oblikovanje kapljic,
- koloidnih kristalov,
- poroznih snovi z veliko površino,
- tankih kožic,
- niti in itd.

Površinsko napetost ponazorimo z delovanjem sil na meji med tekočino in zrakom, tekočino in trdim telesom in trdim telesom in zrakom.

2.3.4.1 Razdelitev lepil glede na surovinsko osnovo

Naravna lepila

Lepila rastlinskega izvora:

- škrobna in dekstrinska lepila,
- lepila iz soje in kikirikija,
- lepila iz naravne gume,
- celulozna lepila.

Lepila živalskega izvora (proteinska lepila):

- glutinska lepila (lepila iz kož, kit, kosti, roževine in ribje kože),
- kazeinska lepila (lepila iz mleka),
- lepila iz krvnega albumina.

Druga:

- šelak lepilo,
- bitumensko lepilo,
- vodno steklo,
- ostala.

Sintetična lepila

Polimerizacijska lepila:

- polivinilacetatna lepila (PVAc),
- polivinilalkoholna lepila,
- polivinilkloridna lepila,
- poliakrilatna lepila,
- lepila iz sintetičnega kavčuka.

Polikondenzacijska lepila:

- urea-formaldehidna (UF),
- melamin-formaldehidna (MF),
- fenol-formaldehidna (FF),
- resorcinol-formaldehidna (RF),
- poliamidna lepila,
- poliestrska lepila.

Poliadicijska lepila:

- poliuretanska lepila (PUR),
- epoksidna lepila.

Ostale oblike lepil:

- talilna,
- na osnovi tanina,
- na osnovi lignina.

2.3.4.2 Razdelitev lepil glede na namen uporabe v lesni industriji

Glede na namen uporabe v lesni industriji, bi lahko lepila razdelili na:

- lepila za montažna in konstrukcijska lepljenja,
- lepila za slojna lepljenja in furnirje,
- lepila za iverne in vlaknene plošče,

Glede na način utrjevanja:

- kemijsko (hladno, vroče),
- fizikalno.

Glede na temperaturo utrjevanja:

- hladno,
- toplo,
- vroče,

2.3.5 Dejavniki pri lepljenju lesa

Odprti čas

Je čas med nanosom lepila in približanjem obeh lepilnih ploskev. Odprtega časa ne smemo prekoračiti, ker se lahko zgodi, da se fizikalni in kemijski del reakcije ne ujemata (Resnik, 1989).

Tlak lepljenja

Potreben je, da se lepilo prenese na nasprotni lepljenec in penetrira v pore. Pri tem iztisne odvečno lepilo iz lepilnega spoja, ter ne dovoli premikanja lepljencev. S tlakom dosežemo primeren stik med površinama in ustrezno penetracijo lepila. Odvisen je od kvalitete površine in ne oziroma manj od vrste lepila. Višji tlaki se uporabljajo pri grobih površinah, ki se slabo prilegajo med seboj in za lepljenje gostejših lesov.

Temperatura lepljenja oziroma utrjevanja lepila

Temperatura lepljenja vpliva na fizikalno in kemijsko reakcijo. Poznamo:

- hladno (do 35 °C),
- toplo (med 35 in 90 °C) in
- vroče (nad 90 °C) lepljenje.

Čas lepljenja

Je odvisen od vrste lepila in oblike konstrukcije, ki jo lepimo. Poznamo dva časa:

- čas, v katerem neko lepilo utrdi pri določeni temperaturi,
- čas, da dosežemo temperaturo v lepilnem spoju.

Dodatni čas znaša 1 minuto na 1mm debeline plošče pri temperaturi 80 – 140 °C.

Načini segrevanja

Poznamo tri vrste segrevanja lepljencev:

- kontaktno – lepljenca vložimo med vroči plošči,
- konvekcijsko – zaradi samega postopka ne pride v poštev,
- VF (visokofrekvenčno) – ki se čedalje bolj uveljavlja kljub temu, da ima tudi slabosti, ki so najbolj vidne zaradi lesnih napak – smolni kanali, smolike, grče.

Receptura

Je navodilo, ki ga da proizvajalec lepila in v katerem predpisuje vse kar je potrebno dodati lepilu, da bi dobili v končni fazi dober lepilni spoj.

Viskoznost

Viskoznost lepila ima velik vpliv na penetracijo lepila v les in na omočitev površine. S temperaturo viskoznost pada, narašča pa s starostjo lepila.

pH

S spremembo pH vrednosti – z utrjevalci, ki so lahko tudi kisline, se pH hitro zmanjša pri povečanju temperature. Za lepljenje pri nižjih temperaturah so potrebni agresivnejši pospeševalci.

Pufri – zadrževalci

Pufre dodajamo lepilu takrat, ko imamo prehiter padec pH vrednosti. S pufri povzročimo bolj linearno spremembo pH vrednosti.

Gostota lesa in poroznost

Vplivata na razpored trdnosti in s tem tudi na penetracijo lepila.

Voda v lesu

Suh les bolj vpija disperzijsko sredstvo, zato proizvajalci predpišejo vlažnost lesa, da bi zagotovili kvalitetno lepljenje.

Lastnosti površine

Nekateri lesovi imajo bistveno več smol kot drugi, kar pa preprečuje omočitev lesa z lepilom. Pri sušenju leze smola proti površini snovi in s tem onesnažujejo površino. Tudi oksidacija lepilne površine otežuje lepljenje. Problem predstavljajo tudi grče in druge anomalije, kjer prihaja do lomov zaradi spremembe kotov smeri letnic.

2.4 FURNIRNA PLOŠČA

Furnirna plošča spada med vezane plošče. Vezane plošče izdelujemo tako, da med seboj lepimo več slojev lesa ali drugih materialov kot so:

- furnirji,
- deske,
- vlaknene plošče,
- iverne plošče,
- sintetični izolacijski material,
- itd.

V primerjavi z masivnim lesom imajo vezane plošče izboljšane lastnosti:

- zaradi križnega položaja posameznih slojev je krčenje in nabrekanje lesa zanemarljivo (0,1 – 0,4 %),
- trdnost je precej izenačena v vzdolžni in prečni smeri,
- povečana odpornost proti razpokanju,
- možnost proizvodnje ukrivljenih plošč.

2.4.1 Furnirne plošče

Kot surovina za izdelavo furnirnih plošč se uporablja furnir in lepilo. Furnirna plošča je lesni kompozit, ki je sestavljen iz lihega števila furnirnih listov zlepljenih med seboj pod pravim kotom. Proizvajamo jih iz lesa različnih drevesnih vrst, predvsem pa iz bukovine in topolovine.

Furnirne plošče razvrščamo na razne načine in sicer:

Po številu slojev:

- troslojne (tripleks) furnirne plošče,
- večslojne (multipleks) furnirne plošče.

Po namenu (glede na vrsto lepila):

- plošče za notranjo uporabo,
- plošče za prostore s povečano stopnjo vlažnosti,
- plošče za zunanjo uporabo,
- plošče za ladjedelništvo.

Po načinu uporabe:

- za pohištveno proizvodnjo,
- za izdelavo vrat,
- za gradbeništvo,
- za železniške vagone, karoserijo, silose,
- za embalažo.

Tehnološki proces proizvodnje furnirnih plošč delimo v tri faze:

- proizvodnja luščenega furnirja,
- priprava furnirja,
- izdelava plošč.

Zaporedje delovnih operacij tehnološkega procesa proizvodnje furnirskih plošč je:

- skladiščenje furnirske hlodovine,
- čiščenje, čeljenje in krojenje hlodovine v luščence,
- hidrotermična obdelava luščencev,
- luščenje furnirja na luščilnicah,
- krojenje furnirja in izrez napak na mokrih škarjah,
- sušenje furnirja v sušilnicah,
- sortiranje furnirja po sušenju in krpanju grč,
- obrezovanje furnirja na paketnem rezkalniku ali škarjah,
- širinsko sestavljanje furnirja,
- nanos lepila,
- konstrukcija in stiskanje furnirnih plošč,
- formatno obžagovanje plošč,
- kondicioniranje plošč,
- krpanje in popravilo napak,
- brušenje plošč na brusnem stroju,
- klasifikacija in skladiščenje plošč.

Konstrukcija in stiskanje furnirnih plošč

Furnirne liste sortiramo v liste za:

- lice (najboljša kakovost),
- hrbtno stran (proti lice),
- sredico (najslabša kakovost).

Temperatura stiskanja je odvisna od vrste lepila:

- urea-formaldehidno lepilo 90° - 120 °C
- melamin-formaldehidno lepilo ~ 140 °C
- fenol-formaldehidno lepilo ~ 140 °C

Specifični tlak stiskanja je predvsem odvisen od drevesne vrste:

- mehki les (topol, vrba, okume) 6 – 13 bar
- srednje trdi les (breza, jelša) 13 – 18 bar
- trdi les (bukev) 18 – 25 bar

Če stiskamo plošče sestavljene iz različnih vrst furnirja, določimo tlak po najmehkejši drevesni vrsti. Čas stiskanja določamo po.

- vrsti lepila,
- debelini plošče.

Formatno obžagovanje, kondicioniranje in brušenje plošč

Po končanem stiskanju obžagamo plošče na predpisane dimenzije na formatnih krožnih žagalnih strojih. Obenem jih pregledamo in izločimo tiste, ki so potrebne popravila. Zaradi visokih temperatur v stiskalnicah vlaga v furnirnih ploščah ni enakomerno razporejena, lepilo pa še ni doseglo največje trdnosti. Plošče zato kondicioniramo in s tem dosežemo:

- izenačevanje vlage,
- izenačevanje notranjih napetosti,
- ravnovesje z vlago okolja,
- dokončno utrjevanje lepila.

Plošče obojestransko brusimo na širokotračnih ali valjčnih brusilnih strojih. Na ta način izenačimo debelino, očistimo lepilo ter umazanijo. Dokončno obdelane plošče razvrstimo v kakovostne razrede in skladiščimo.

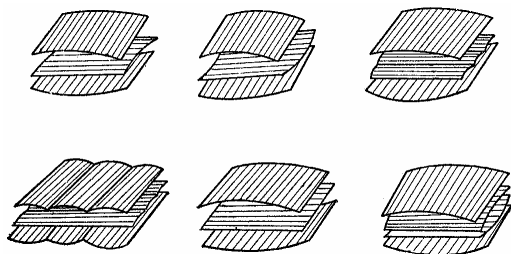
2.4.2 Osnovne konstrukcijske zahteve

Plošča mora biti simetrično sestavljena, tako da gre simetrala po sredini debeline plošče (slika 2). Na obeh polovicah mora biti slika enaka. Z simetrijo zagotavljamo dimenzijsko stabilnost.

Simetrija:

- pravilna orientacija furnirjev (zgoraj, spodaj),
- na obeh straneh osi enaka debelina furnirjev,
- na obeh straneh osi enako število furnirjev,
- na obeh straneh osi enaka lesna vrsta furnirjev,
- na obeh straneh osi enaka vlažnost furnirjev.

Plošče so lahko iz lihega ali sodega števila furnirjev. Če je število furnirjev sodo, potem simetrija poteka po lepilnem spoju, sredinska lista pa enako usmerimo. Sodo je lahko samo število furnirjev, ne pa število slojev. Dva furnirska lista, ki sta zlepljena med seboj vzporedno, se štejeta za en sloj.



Slika 2: Načini zlaganja furnirnih listov (Nikolić, 1988)

Poznamo:

- homogene furnirne vezane plošče (furnirski listi iz enake drevesne vrste),
- heterogene furnirne vezane plošče (v plošči so furnirji iz različnih drevesnih vrst).

Načini zlaganja furnirja:

- križno zlaganje furnirjev (dno tovornjaka),
- srednji prečno, ostali vzdolžno (gradbene konstrukcije),
- zvezdasto zlaganje (enakomerna porazdelitev napetosti v plošči),
- vsi furnirji v isto smer.

2.4.3 Izguba debeline

Zaradi vpliva tlaka in temperature v stiskalnici pride do zmanjšanja debeline furnirne plošče. Izgubo debeline imenujemo vprešek in ga računamo po formuli 1:

$$v = \frac{\Sigma d_f - d_p}{\Sigma d_f} \cdot 100 [\%] \quad \dots(1)$$

Legenda:

v ... vprešek [%]

d_f ... debelina vseh furnirjev [mm]

d_p ... debelina plošče [mm]

Vprešek je trajna plastična deformacija, ki nastane zaradi tlaka v stiskalnici in pri tem plošča izgubi največ debeline. Po končanem klimatiziranju plošče pride do majhne elastične deformacije, kjer plošča nekoliko pridobi na debelini.

Izguba debeline je odvisna od:

- tlaka v stiskalnici,
- temperature v stiskalnici,
- drevesne vrste,
- debeline furnirja,
- vlažnosti furnirja,
- časa stiskanja in
- števila slojev.

2.4.4 Lastnosti lesa in lesnih kompozitov

Skozi zgodovino človeštva je bil les eden od najpomembnejših materialov in je še dandanes. Les je človeku in okolju prijazen material, je elastičen, žilav, trden ter naravno obnovljivi material. Pomemben je kot:

- gradbeni material,
- material za pohištveno industrijo,
- za vlivanje modelov (kalupi),
- osnovna surovina za izdelavo papirja in lesnih kompozitov,
- vir energije.

Tehnologija lepljenja lesa omogoča izdelavo proizvodov poljubnih dimenzij, najrazličnejših kompozitov, oblik in prerezov. Lesni kompoziti so namenjeni različnim namenom uporabe in imajo med seboj lahko zelo različne lastnosti.

2.4.5 Mehanske in fizikalne lastnosti lesa

V to skupino tehnoloških lastnosti lesa spadajo tiste lastnosti, ki se pojavljajo takrat, ko na les delujejo zunanje mehanske sile. Zunanje sile, ki delujejo na les, povzročajo spremembo prostornine in oblike lesa. Te spremembe imenujemo deformacije. Velikost deformacij je odvisna od vrste lesa oziroma njegove zgradbe, od jakosti sile in od smeri sile. Deformacije potekajo počasi pri stopnjevanem tlaku in hitro pri udarcu.

2.4.5.1 Trdota lesa

Trdota je odpor, ki ga nudi les pri prodiranju drugega telesa vanj. Vse znanstvene metode ugotavljanja trdote temeljijo v glavnem na sami definiciji trdote, to je vtiskanja tršega telesa v lesno snov. To pa so lahko kovinska kroglica, polkroglica, valj, igla in podobno. Pri samem vtiskanju sta pomembna sila in čas vtiskanja.

2.4.5.2 Trdnost lesa

Definirana je kot sposobnost materiala, da se upira spremembi dimenzije, zaradi sile, delujoče na ta material. Notranje sile, ki vežejo molekule gradiva, imenujemo kohezijske sile. Vsoto kohezijskih sil, ki delujejo na enoto prereza, imenujemo trdnost. Trdnost se razlikuje glede na smer, v kateri jo preizkušamo; odvisna je od ksilotomske ravnine.

Napetost je definirana kot enota sile, delujoča na enoto površine. Napetosti so lahko normalne in tangencialne. Normalne napetosti nastanejo pod vplivom sile, ki je pravokotna na opazovani prerez. Mednje štejemo natezno, tlačno in upogibno napetost. Tangencialne napetosti nastanejo zaradi zunanjih sil, ki delujejo v opazovanem prerezu kot strižna napetost.

V primeru obremenitve lesa do same meje elastičnosti (proporcionalnosti), se bo ta po razbremenitvi vrnil v prvotno stanje – reverzibilna deformacija. Nad to mejo deformacija ostane permanentna oz. ireverzibilna – les ne bo imel več prvotnih dimenzij. V uporabi nas zanima predvsem obnašanje lesa v območju elastičnosti.

Do meje proporcionalnosti je zveza med napetostjo in specifično deformacijo linearna in velja Hookeov zakon (formula 2):

$$\sigma = E \times \varepsilon \quad \dots(2)$$

Legenda:

σ ... napetost (sila / presek)

E ...faktor proporcionalnosti (modul elastičnosti)

ε ... specifična deformacija (sprememba dimenzije / prvotna dimenzija)

Razmerje med napetostjo in specifično deformacijo je konstanta, imenovana modul elastičnosti oz. Youngov modul. Ta nam pove:

- naklonski kot krivulje,
- je mera relativne togosti materiala oz. lesa,
- bolj strma kot je krivulja, večji je modul elastičnosti in bolj tog je les,
- večji modul pomeni, da je deformacija ob dani obremenitvi manjša.

Les lahko označimo z:

- maksimalno (porušno) silo, ki jo še prenese,
- mejo proporcionalnosti,
- modulom elastičnosti.

Trdnost je odpor lesa proti delovanju zunanjih sil; če so zunanje sile previsoke pride do porušitve. Trdna telesa se upirajo delovanju zunanjih sil, ki jim hočejo spremeniti obliko. Zunanje sile, ki delujejo na trdno telo, povzročajo v notranjosti telesa notranje sile. Če so sile večje od sil med molekulami, se telo poruši, če pa so manjše, pa pride do napetosti v gradivu. Notranje sile, ki vežejo molekule gradiva, imenujemo kohezijske sile. Vsoto kohezijskih sil, ki delujejo na enoto prereza, imenujemo trdnost.

Upogibna trdnost

Upogibna trdnost je pri lesu večja od tlačne in manjša od natezne trdnosti. Pomembna je pri uporabi lesa v rudarstvu, ladjedelništvu, pri lesenih mostovih in najrazličnejših drugih gradbenih konstrukcijah, kjer se uporabljajo masivni in lepljeni nosilci. Trdnost je pomembna mehanska lastnost lesa. Pomembna je pri raznih gradbenih konstrukcijah, kjer nastopajo najrazličnejše obremenitve. Les pa ima pomembno mesto med gradbenimi materiali tudi zaradi ugodnega razmerja med gostoto in trdnostjo, saj ima ob sorazmerno majhni gostoti zelo veliko trdnost.

2.4.6 Okoljevarstvene lastnosti

Ko uporabljamo les za izdelke ali gradimo z lesom, skrbimo za boljše okolje. Les je naraven in človeku prijazen material. Je razgradljiv material ter nudi možnost recikliranja. Pri izdelavi kompozitov (začetki tehnologije) smo se v preteklosti malce oddaljili od okoljevarstva. Sedaj pa vedno manj uporabljamo okolju oporečne surovine pri izdelavi lesnih kompozitov. Za to se je poskrbelo z ozaveščenostjo proizvajalcev ter s predpisi, zakoni, standardi itn.

2.4.7 Požarne lastnosti

Les je vnetljiv in gorljiv material, kar zmanjšuje njegovo uporabno vrednost. Gorenje lesa je termični razkroj lesa oz. piroliza (Humar, 2006).

Glavne faze sprememb lesa, ki jih povzroča segrevanje, so prikazane v preglednici 1.

Preglednica 1: Glavne faze sprememb lesa, ki jih povzroča segrevanje (Humar, 2006)

Temperatura	Faze sprememb lesa
80 – 100 °C:	izparevanje vode in hlapnih komponent (faza sušenja, les se mehansko ne spremeni),
90 – 160 °C:	razvijanje gorljivih plinov - produktov razkroja. Pokanje lesa, les potemni,
150 – 270 °C:	gorenje sproščenih plinov, les na površini gori, površina poogleni,
270 °C:	razkroj lesa se nadaljuje. Zaradi izolatorskih lastnosti pooglenele plasti les preneha goreti, če odstranimo vir gorenja,
270 – 300 °C:	vnetišče lesa,
330 – 470 °C:	temperatura samovžiga,
300 – 600 °C:	gorenje se nadaljuje samo, tudi če vir gorenja umaknemo,
nad 600 °C:	intenzivno gorenje in razkroj lesa.

Hitrost gorenja je odvisna od:

- gostote lesa (bolj porozen les gori bolje),
- kemične sestave lesa,
- vrste lesa,
- dimenzije lesnega izdelka,
- površine lesa in
- vlažnosti lesa.

Zaščita lesa pred gorenjem:

- vgraditev lesa večjih dimenzij,
- vgraditev lesa, ki se težje vname,
- oblaganje lesa s protipožarnimi oblogami in
- kemična zaščita z antipiretiki.

2.4.7.1 Antipiretik

Med gorenjem lesa (zaščitenega z antipiretiki) poteka tudi piroliza antipiretika. Zaščita lesa pred ognjem je uspešna le, če piroliza lesa in antipiretika potekata v istem temperaturnem območju (Humar, 2006).

Anorganski antipiretiki

Najpogosteje uporabljane komponente anorganskih antipiretikov so spojine, ki vsebujejo:

- dušik (amonijeve soli),
- fosfor (fosfati, kot npr. amonijev fosfat),
- bor (boroava kislina in borati, boraks).

Prednost anorganskih antipiretikov:

- so zelo učinkovita protipožarna zaščitna sredstva.

Pomanjkljivosti anorganskih antipiretikov:

- so topni v vodi in niso odporni proti izpiranju,
- so higroskopi (dimenzijska nestabilnost, trdnost s povišano vlažnostjo pada),
- povzročajo korozijo kovinskih elementov v lesu,
- neestetski zunanji izgled lesa,
- omejene možnosti površinske obdelave protipožarno zaščitenega lesa.

Organski antipiretiki

Po sestavi so to različne amino smole, z dodanimi anorganskimi komponentami.

Prednosti organskih antipiretikov:

- odporni proti izpiranju,
- dimenzijsko stabilni pri povišani vlagi (nehigroskopni),
- možnost površinske obdelave (nanašanje različnih dekorativnih premazov).

Pomanjkljivost organskih antipiretikov:

- od anorganskih antipiretikov so manj učinkoviti.

Delitev antipiretikov:

Glede na način nanašanja

- antipiretike, ki jih v les vnašamo s kotelskimi postopki (postopki polnih celic),
- protipožarne premaze.

Glede na način delovanja

- Nenabrekajoči: so premazi na osnovi boratov in silikatov, ki preprečujejo dostop zraka in s tem zavirajo gorenje. V primerjavi z nabrekajočimi premazi so manj učinkoviti.
- Nabrekajoči: najprej se zmeščajo in sproščajo negorljive pline. Plini se ujamejo v peno. Plast pene, ki nastane, je lahko tudi do 50x debelejša od prvotnega premaza. Pena deluje tudi kot toplotni izolator. Površina pene poogleni in se strdi (Humar, 2006).

2.4.8 Lastnosti vezane plošče B1

Pyrosply (slika 3) je težko gorljiva vodoodporna vezana plošča, ki jo izdeluje podjetje JAVOR d.d. Uporablja se jo predvsem pri opremlenju objektov (za predelne stene in tla v gledališčih, hotelih, šolah, bolnišnicah,...). Primerna pa je tudi za izdelavo sten, tal in oblog raznih vozil (vlakov, avtobusov, dostavnih vozil) ter plovil. Izdelana je iz bukovega furnirja, ki je pred lepljenjem z vodoodpornim melamin-urea-formaldehidnim (MUF) lepilom impregniran s sredstvom za zaščito pred ognjem (borati).

Plošče glede gorljivosti spadajo v razred B1 po DIN 4102 oz. B-s1,d0 po EN 13501-1. Pri gorenju sproščajo netoksične pline.

Slika 3 prikazuje različne vrste furnirnih vezanih plošč. Če se pri izdelavi plošč uporabi furnir tretiran z ognjezadrževalnim sredstvom, so vse te plošče težko gorljive vezane plošče (pyrosply plošče).



Slika 3: Vrste furnirnih vezanih plošč - pyrosply

2.4.9 Lastnosti bukve

Bukev (*Fagus Silvatica* L.) je drevo s polnolesnim ravnim deblom, če raste v gostih sestojih. Drevo doseže višino do 30 m, lahko tudi 40 m in več ter premere 100 – 150 cm. Dolžina debla brez vej znaša 15 m in več. Skorja je gladka, v starosti ima biseren lesk in je srebrnosive barve.

Les bukve je rdečkasto bel. Diskoloriran les je rdeče rjav v prečnem prerezu oblakast. Če les bukve parimo dobimo s tem postopkom rdečkasto do rdečerjavo barvo. Branike so razločno vidne, kasni les je temnejši z manj trahejami. Traheje so majhne, difuzno razporejene in so brez lupe v vseh treh prerezih komaj vidne. Trakovi so dveh različnih velikosti in so zelo široki in visoki in so s prostim očesom dobro vidni. Trakovi so v prečnem prerezu na letnicah razširjeni, v radialnem prerezu pa so vidni, kot bleščeča zrcala. Trakovi v tangencialnem prerezu so vidni, kot značilna 2 – 4 mm visoka temna vretena. Izgled lesa je nedekorativen, le rahlo progast na radialnem prerezu oz. plamenast v tangencialnem prerezu. Je zelo trden in se zelo krči in nabreka. Dimenzijska stabilnost je neugodna, trdnostne lastnosti so dobre (preglednica 2). Les je žilav, elastičen in trd. Delež juvenilnega lesa je zanemarljiv, možen je obilnejši pojav tenzijskega lesa.

Po poseku je bukovina podvržena okužbam z glivami in insekti, zato jo je potrebno takoj odpeljati na skladišče hlodovine ter jo zaščititi. V poletnih mesecih jo zaščitimo z namakanjem ali skladiščenjem v bazenih z vodo. Bukovino parimo kot hlodovino, deske ali decimirane elemente. S parjenjem se zmanjšajo notranje napetosti in dosežemo izenačenje barve. Tako se po parjenju zmanjša nevarnost pokanja in zvijanja, les pa dobi bolj enakomerno barvo.

Za izdelavo luščenega furnirja, vezanih plošč in izdelkov iz slojastega lesa, se pri nas uporablja kot surovina skoraj 90 % bukovina. Vzrok za to so njene dobre mehanske lastnosti in za enkrat še dovolj velika ponudba surovine. Dobro toplotno obdelana se lepo lušči in reže. Dobro se tudi lepi z vsemi vrstami lepil in z vsemi postopki lepljenja.

Na trgu se prodaja bukovina kot hlodovina, žagan les, furnirji, vezan les in razni polizdelki. Uporablja se za gradbeno mizarstvo, stopnice, opaže, parket, pohištvo, pri čemer se uporablja masiven, krivljen ali vezan les. Impregnirana bukovina je odlična za izdelavo železniških pragov. V proizvodnji oplemenitenih lesnih kompozitov se uporablja kot zgoščen masiven les in kot zgoščeni laminati. Uporablja se jo za furnirne in mizarске plošče ter iverne plošče.

Bukove vezane plošče so namenjene za uporabo v pohištveni industriji za nosilne elemente pohištva, v avtomobilski industriji, za železniške vagone, v kovinski industriji pa za razne šablone.

Preglednica 2: Mehanske lastnosti bukovine (Čufar, 1997)

Lastnosti		
Gostota	ρ_o [kg/m ³]	490...680...880
Gostota	ρ_{15} [kg/m ³]	540...720...910
Upogibna trdnost	f_m [N/mm ²]	105
Modul elastičnosti	E_m [N/mm ²]	16000
Strižna trdnost	f_v [N/mm ²]	8
Natezna trdnost	f_t [N/mm ²]	135
Tlačna trdnost	f_c [N/mm ²]	53

Srednje vrednosti za E- modul in trdnost veljajo za vzorce brez napak z vlažnostjo $u=12$ % (Čufar, 1997)

3 MATERIAL IN METODE

3.1 ZASNOVA EKSPERIMENTA

V eksperimentu smo ugotavljali fizikalne in mehanske lastnosti težko gorljivim furnirnim vezanim ploščam in sicer: izgubo debeline, gostoto in vlažnost, stopnjo zlepljenosti, upogibno trdnost ter elastični modul. Na osnovi zadnjih treh ugotavljanj smo ovrednotili vpliv hladnega predstiskanja na te plošče.

V eksperimentu smo izdelali 20 sedemslojnih furnirnih plošč (štirje vzorci po pet plošč oz. ponovitev), dimenzij 500 mm x 500 mm. Uporabljen je bil bukov furnir nazivne debeline 2,1 mm pridobljen iz proizvodnje Podjetja JAVOR – PC Vezane plošče. Prav tako je bilo uporabljeno standardno lepilo (Meldur H97), ki ga uporabljajo v proizvodnji. Receptura za pripravo lepilne mešanice je bila po navodilih proizvajalca lepila (Melamin Kočevje), nanos mešanice pa po navodilih tehnologov iz podjetja. Plošče smo izdelali v laboratoriju podjetja JAVOR Pivka in jih preizkušali na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete.

3.2 MATERIAL

3.2.1 Uporabljen les

Furnir za izdelavo furnirnih vezanih plošč je bil dobljen iz redne proizvodnje v podjetju Javor – PC Vezane plošče. Plošče za ugotavljanje lastnosti so bile izdelane iz bukovega furnirja nazivne debeline 2,1 mm. Velikost furnirja je bila pogojena z velikostjo plošč laboratorijske stiskalnice, ki je znašala 560 mm x 560 mm. Furnir je bil centrično luščen, posušen na vlažnost 14 – 16 % in nato tretiran z ognjezadrževalnim sredstvom ter posušen na končno vlažnost 6 – 8 %. Preizkušanec (A) je bil kot kontrolni vzorec, zato za izdelavo le tega ni bilo potrebno furnirja tretirati (35 listov).

3.2.2 Uporabljeno lepilo

3.2.2.1 Melamin-urea-formaldehidno lepilo (MUF)

Za izdelavo furnirne plošče je bilo uporabljeno melamin-urea-formaldehidno (MUF) lepilo. Proizvaja ga Melamin Kočevje in je tipa Meldur H97. Kot utrjevalec je bil uporabljen amonklorid (NH_4Cl). MUF lepila spadajo med sintetična lepila, ki utrjujejo s kemijsko reakcijo polikondenzacije. Osnovne sestavine so melaminska smola, urea (sečnina) ter formaldehid. Pri proizvodnji lepil kemijsko reakcijo prekinejo na želeni stopnji in stabilizirajo s tem, da dvignejo pH (okrog 9).

Parametri lepljenja z MUF lepili:

- vlažnost lesa 5 - 12 %,
- nanos 150 - 250 g/m²,
- odprti čas do 45 min,
- temperatura 90 - 140 °C,
- čas lepljenja odvisen od temperature, debeline,...

Dobre lastnosti MUF lepil:

- kvalitetni, trdni spoji,
- odporna proti vlagi in vodi,
- kemijsko in mehansko odporna,
- za vse vrste lepljenja,
- odporni na insekte,
- relativno poceni,
- enostavna za delo,
- dolg čas skladiščenja,

Slabe lastnosti MUF lepil:

- so trda in obrablajo orodja,
- sproščajo formaldehid,
- preboj lepila,
- trdnost zelo odvisna od debeline spoja.

3.2.2.2 Področje uporabe MUF lepil

Za izdelavo vodoodpornih lepljencev pri tehničnem lepljenju:

- vezane plošče,
- panelne plošče,
- opažne plošče,
- vodoodporne iverne plošče,
- primerna za impregnacijo površin lesnih plošč.

3.2.2.3 Lepilo MELDUR H 97

Z vsako dobavo lepila proizvajalec pošlje analizni certifikat, ki vsebuje lastnosti lepila (preglednica 3). Proizvajalec predpiše tudi recepturo za pripravo lepilne mešanice (preglednica 4).

Preglednica 3: Osnovne lastnosti lepila Meldur H97 (Melamin Kočevje, 2007)

Lastnosti	Šarža: 148/07	
	Specifikacije	Izmerjena vrednost
1. Suha snov [%]	61 - 65	61,9
2. Viskoznost [s]	80 – 200	97
3. pH vrednost	9,2 – 9,5	9,5
4. Prosti formaldehid [%]	Max 0,5	0,2
5. Izgled	Mlečno bela tekočina	Mlečno bela tekočina

Preglednica 4: Sestava lepilne mešanice za Meldur H97

Lepilna mešanica	Utežni deleži
Meldur H97	100
Pšenična moka (Klasje)	6
Utrjevalec NH ₄ Cl	1,5

3.2.3 Ognjezadrževalno sredstvo oz. antipiretik

Za tretiranje bukovega furnirja smo kot ognjezadrževalno sredstvo uporabili:

- Boraks dekahidrat, dinatrijev tetraborat dekahidrat (Na₂B₄O₇ x 10H₂O)
- Borovo kislino (H₃BO₃ ali B₂O₃ x 3H₂O)

3.3 METODE DELA

3.3.1 Izdelava furnirnih vezanih plošč

Priprava furnirja:

Furnir smo v pretočni valjčni sušilnici posušili na vlažnost 14 – 16 % zaradi boljše retencije antipiretika ter ga nato 45 min namakali v raztopini tega sredstva (Raztopina = boraks dekahidrat : borova kislina = 1:1) pri temperaturi 50 °C. Nato smo ga posušili na končno vlažnost 6 – 8 %. Tako pripravljenemu furnirju je bila izmerjena debelina na vseh štirih vogalih z mikrometrom na stotinko milimetra natančno.

Priprava in poraba lepilne mešanice

Lepilna mešanica je bila pripravljena po recepturi proizvajalca (preglednica 4). Mešanica je zorela 30 min. Ob znanem nanosu (200 g/m^2) in dimenzijah ter številu furnirnih listov smo izračunali porabo lepilne mešanice.

Osnovna izhodišča za izračun:

Površina furnirnega lista:	$0,56 \text{ m} \times 0,56 \text{ m}$	$= 0,314 \text{ m}^2$
Število lepilnih spojev v plošči:	6 spojev	$= 6 \text{ spojev}$
Skupna lepilna površina v plošči:	$6 \times 0,314 \text{ m}^2$	$= 1,884 \text{ m}^2$
Potrebna količina mešanice za eno ploščo:	$1,884 \text{ m}^2 \times 200 \text{ g/m}^2$	$= 376,8 \text{ g}$
Potrebna količina mešanice za eno kombinacijo:	$376,8 \text{ g} \times 5 \text{ plošč}$	$= 1884 \text{ g}$
Skupna potrebna količina mešanice:	$1884 \text{ g} \times 4 \text{ vzorci}$	$= 7536 \text{ g}$

Priprava lepilne mešanice je potekala v laboratoriju podjetja JAVOR. Lepilne mešanice je bilo pripravljeno le toliko, kolikor jo je bilo potrebno za eno kombinacijo, ki je obsegala pet plošč. Tako smo mešanico pripravili štirikrat (za vsako kombinacijo posebej). Ker smo morali upoštevati izgubo lepilne mešanice, ki je ostala na stenah in dnu posode, v kateri smo jo pripravljali, je bilo potrebno to količino povečati za 10 %. Tako je bilo v plastično posodo zatehtano 8289,7 g lepilne mešanice (7711,3 g lepila, 462,7 g pšenične moke in 115,7 g utrjevalca). Tehtanje posameznih komponent smo izvajali na digitalni tehtnici z natančnostjo 0,1 g.

Sestava svežnja ter stiskanje plošč

Posamezen list furnirja smo postavili na digitalno tehtnico in nanj nanesli 62,8 g lepilne mešanice. Lepilno mešanico smo nanašali le na vsako zgornjo stran furnirnega lista. V sveženj je bilo danih sedem furnirnih listov po osnovnih konstrukcijskih zahtevah (poglavje 2.4.2).

Izračun potrebne količine lepilne mešanice za en furnirni list:

Dimenzija furnirja:	$0,56 \text{ m} \times 0,56 \text{ m}$	$= 0,314 \text{ m}^2$
Nanos lepilne mešanice:	200 g/m^2	
Potrebna količina lepilne mešanice:	$0,314 \text{ m}^2 \times 200 \text{ g/m}^2$	$= 62,8 \text{ g/m}^2$

Določitev parametrov lepljenja plošč

Lepljenje plošč je potekalo v laboratorijski stiskalnici JAVOR. Temperatura stiskanja je znašala 128 °C, ostali parametri lepljenja pa so prikazani v preglednici 5.

Preglednica 5: Parametri lepljenja plošč

Preizkušanec	Predstiskanje		Stiskanje		
	Čas [min]	Specifični tlak [bar]	Čas [min]	Specifični tlak [bar]	Temperatura [°C]
A	/	/	8,5	18	128
B	/	/	8,5	18	128
C	9,5	5,5	8,5	18	128
D	29,5	5,5	8,5	18	128

Preizkušanec (A) je bil izdelan iz furnirja, ki ni bil tretiran ter brez hladnega predstiskanja. Uporabljen je bil kot primerjalni oziroma referenčni vzorec. Preizkušanec (B) je bil iz tretiranega furnirja, vendar brez predstiskanja. Preizkušanca (C) in (D) sta bila izdelana iz tretiranega furnirja ter hladno predstiskana. Vmesni čas je pri vseh ploščah znašal 17 min.

Ker smo plošče izdelovali na ogreti laboratorijski stiskalnici (128 °C), je bilo potrebno za hladno predstiskanje uporabiti izolacijske plošče. Kot izolacijske plošče so bile uporabljene furnirne vezane plošče dimenzij 620 mm x 620 mm x 42 mm. Ena na spodnji plošči stiskalnice in druga na zgornji.

Čas lepljenja smo izračunali po formuli 3.

$$t_l = t_o + t_p \quad \dots(3)$$

Legenda:

t_l ... čas lepljenja [min]

t_o ... osnovni čas lepljenja - čas želiranja lepila [min]

t_p ... dodatni čas – 1 min za vsak mm debeline plošče [min]

Tlak lepljenja pa po formuli 4.

$$p_o = \frac{p_{pl} \times S_{pl}}{S_b} = [bar] \quad \dots(4)$$

Legenda:

p_o ... tlak olja [bar]

p_{pl} ... tlak na plošči [bar]

S_{pl} ... površina plošče [cm²]

S_b ... površina bata [cm²]

3.3.2 Določanje izgube debeline

Pri lepljenju furnirne vezane plošče pride do zmanjšanja debeline med začetno debelino furnirja in končno debelino plošče. To zmanjšanje imenujemo izguba debeline ali vprešek.

Na vprešek vpliva:

- tlak stiskanja,
- temperatura lepljenja,
- čas stiskanja,
- debelina furnirja,
- vlažnost furnirja,
- lesna vrsta,
- število slojev.

Pri izdelavi vezanih plošč je bila pred lepljenjem izmerjena debelina posameznih furnirnih listov. Merili smo z mikrometrom na 0,01 mm natančno na štirih mestih za vsak furnir posebej.

Po končanem kondicioniranju plošč smo zopet izmerili debelino na štirih vogalih vsake plošče. Iz dobljenih rezultatov smo izračunali aritmetično sredino in te podatke uporabili kot končno debelino plošč. Uporabili smo jih v formuli 5 za izračun vpreška.

$$v = \frac{\Sigma d_f - d_p}{\Sigma d_f} \cdot 100 [\%] \quad \dots(5)$$

Legenda:

v ...vprešek [%]

d_f ...debelina vseh furnirjev [mm]

d_p ...debelina plošče [mm]

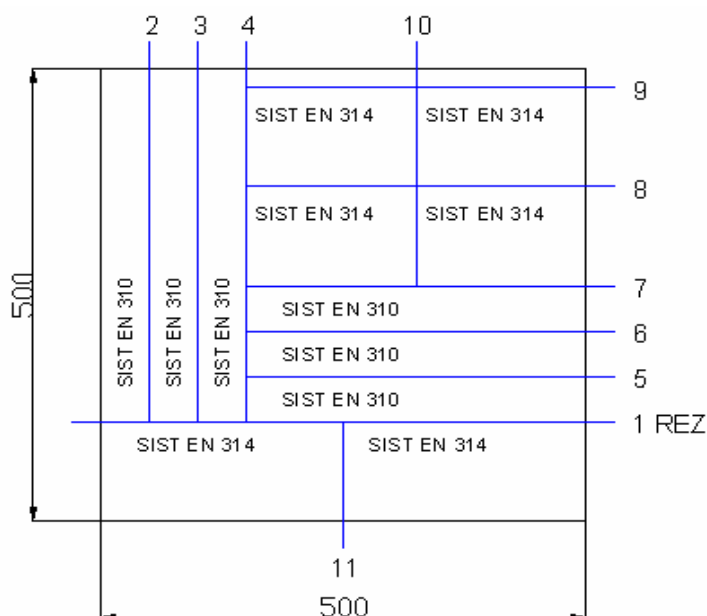
3.3.3 Načrt razžagovanja preizkušancev

Standard SIST EN 326 opredeljuje vzorčenje in načine izžagovanja preizkušancev iz vzorčnih plošč. Prvi del standarda zajema število in razrez preizkušancev ter podajanje rezultatov. Preizkušance se izžaga iz vsake plošče glede na preizkus karakterističnih lastnosti.

Iz plošč dimenzij 500 mm x 500 mm smo skupno izžagali preizkušance za ugotavljanje:

- strižne trdnosti (720 preizkušancev),
- upogibne trdnosti (120 preizkušancev),
- vlažnosti (25 preizkušancev),
- gostote (25 preizkušancev).

Plošče so bile razžagane kot je prikazano na sliki 4.



Slika 4: Načrt razžagovanja plošče v preizkušance

Preizkušance za ugotavljanje gostote in vlažnosti smo izžagali pri preizkušancih namenjenih za ugotavljanje upogibne trdnosti po končanem mehanskem testu.

Obseg vzorca za preizkušanje

- vlažnost plošč po SIST EN 322 (min. 4 preizkušance iz ene plošče),
- gostota plošč po SIST EN 323 (min. 6 preizkušancev iz ene plošče),
- upogibna trdnost po SIST EN 310 (min. 12 preizkušancev; 6 glede na vzdolžno in 6 glede na prečno smer vlaken v plošči),
- strižno trdnost lepilnega spoja po SIST EN 314 (min. 10 preizkušancev za vsak prečni furnir v plošči).

3.3.4 Klimatiziranje preizkušancev

Preizkušance za ugotavljanje strižne trdnosti smo klimatizirali, kot predpisuje standard SIST EN 314-1. in 2 del. Način umetnega staranja smo določili glede na vrsto furnirne plošče ter na namen uporabe. Odločili smo se za način priprave pod točko 5.1.1 ter točko 5.1.3:

- 360 preizkušancev smo 24 ur namakali v vodi s temperaturo 20 ± 3 °C,
- 360 preizkušancev smo 4 ure kuhali v vreli vodi, nato je sledilo sušenje v sušilniku za 16-20 ur pri temperaturi 60 ± 3 °C, nato ponovno kuhanje za 4 ure in na koncu ohlajanje v vodi s temperaturo 20 ± 3 °C za najmanj 1 uro, da so se preizkušanci ohladili na 20 ± 3 °C.

V nadaljevanju je za preizkušance pripravljene po točki 5.1.1 uporabljen izraz »namakani« preizkušanci, za preizkušance pripravljene po točki 5.1.3 pa »kuhani« preizkušanci.

Preizkušance za ugotavljanje upogibne trdnosti smo pripravili po načinu, kot jih predpisuje standard SIST EN 310, in sicer v klima komori *Heraeus* pri temperaturi 20 ± 2 °C ter relativni zračni vlagi 65 ± 5 %.

Preizkušance za ugotavljanje gostote smo pripravili kot predpisuje standard SIST EN 323. Preizkušance smo morali uravnovesiti v klima komori *Heraeus* pri temperaturi 20 ± 2 °C ter relativni zračni vlagi 65 ± 5 %.

Preizkušance za ugotavljanje vlažnosti smo pripravili po standardu SIST EN 322. Po tehtanju smo preizkušance vstavili v sušilnik ter jih pri temperaturi 103 ± 2 °C sušili do konstantne mase (razlika zaporednih mas ni večja od 0,01 %).

3.3.5 Ugotavljanje gostote po SIST EN 323 in vlažnosti po SIST EN 322

Po opravljenem klimatiziranju (poglavje 3.3.4) smo preizkušancem določili gostoto in vlažnost.

Gostota

Preizkušancem dimenzij 50 mm x 50 mm smo izmerili dolžino in širino na 0,1 mm natančno, debelino pa na 0,01 mm natančno. Stehtali smo jih na 0,01 g natančno ter izračunali gostoto po formuli 6.

$$\rho = \frac{m}{l \times \check{s} \times d} \quad \dots(6)$$

Legenda:

ρ ... gostota plošče [kg/m³]

m ... masa plošče [kg]

l ... dolžina plošče [m]

\check{s} ... širina plošče [m]

d ... debelina plošče [m]

Vlažnost

Preizkušance dimenzij 50 mm x 50 mm smo stehtali na 0,01 g natančno in jih nato posušili do konstantne mase ter jih še enkrat stehtali. Z dobljenimi podatki smo jim določili vlažnost po formuli 7.

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

Legenda:

H ... vlažnost plošče [%]

m_H ... masa plošče pred sušenjem

m_0 ... masa absolutno suhe plošče

3.3.6 Ugotavljanje strižne trdnosti po SIST EN 314-1

Pri ugotavljanju kvalitete zlepljenosti preizkušamo kvaliteto lepilnega spoja na strižno obremenitev. Iz plošč smo izžagali preizkušance po navodilih, kot jih predpisuje standard SIST EN 314-1 (slika 5).

Standard predpisuje naslednje dimenzijske karakteristike:

- širina preizkušanca je $25 \pm 0,5$ mm,
- dolžina preizkušanca je 100 mm,
- strižna površina je $25 \pm 0,5$ mm x $25 \pm 0,5$ mm,
- širina žaginega reza je od 2,5 mm do 4 mm.

Način priprave oziroma umetnega staranja pa je opisan v poglavju 3.3.4.

Do loma preizkušanca naj bi prišlo v 30 ± 10 sek. Ker pa pri izdelavi furnirja vnesemo v furnir veliko število majhnih razpok, ki so usmerjene pod določenim kotom glede na površino furnirja, polovico preizkušancev zažagamo tako, da se pri obremenjevanju razpoke odpirajo, polovico pa tako, da se le-te zapirajo.



a) strižna trdnost v 1. in 2. lepilnem spoju (par I)



b) strižna trdnost v 3. in 4. lepilnem spoju (par II)



c) strižna trdnost v 5. in 6. lepilnem spoju (par III)

Slika 5: Načini zažagovanja preizkušancev za ugotavljanje strižne trdnosti

Ugotavljanje strižne trdnosti je potekalo na računalniško podprtem testirnem stroju ZWICK/Z100. V ustrezen računalniški program smo vnesli vse potrebne parametre (število preizkušancev, širina in dolžina strižne površine,...). Nato smo v čeljusti stroja vpeli preizkušane in ga obremenjevali do porušitve. Na zaslonu računalnika smo odčitali velikost maksimalne sile potrebne za porušitev lepilnega spoja. Program je za izračun strižne trdnosti uporabil formulo 8.

$$f_v = \frac{F_{\max}}{\check{s} \cdot l} [N / mm^2] \quad \dots(8)$$

Legenda:

f_v ...strižna trdnost [N/mm^2]

F_{\max} ...maksimalna natezna sila [N]

\check{s} ...širina preizkušanca [mm]

l ...razdalja med zarezama [mm]

3.3.6.1 Ocenjevanje loma po lesu

Lom po lesu smo ugotavljali po standardu SIST EN 314-2. Površine lomov smo primerjali s slikami iz standarda ter jih ocenjevali v odstotkih od 0 – 100 %. Ocena loma 0 % pomeni, da popusti lepilni spoj po lepilu (lepilni spoj ima manjšo trdnost od lesa). Ocena 100 % pa pomeni, da gre lom po lesnih vlaknih preizkušanca.

Da kvaliteta lepilnega spoja ustreza standardu, morata biti strižna trdnost in delež loma po lesu v razmerjih, kot je prikazano v preglednici 6.

Preglednica 6: Zahteve za kvaliteten lepilni spoj (SIST EN 314-2)

f_v [N/mm ²]	lom po lesu [%]
0,2 – 0,4	≥ 80
0,4 – 0,6	≥ 60
0,6 – 1,0	≥ 40
> 1,0	ni zahtev

3.3.7 Ugotavljanje upogibne trdnosti po SIST EN 310

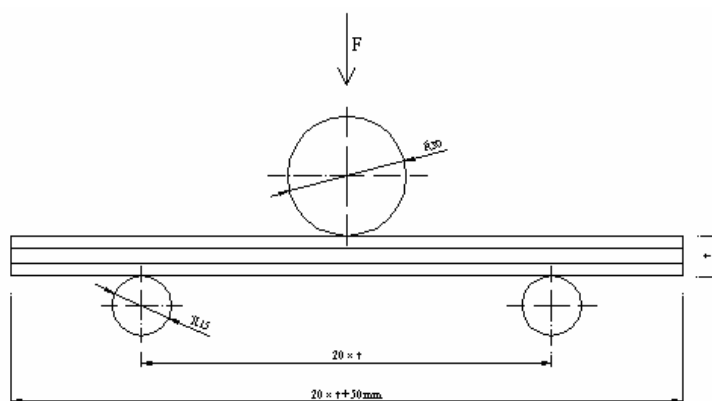
Ugotavljanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti smo izvajali po standardu SIST EN 310. Metoda za testiranje je tritočkovni upogib, ki je primerna za majhne preizkušance (slika 6). Pri tej metodi pride do destrukcije materiala.

Standard predpisuje:

- zgornji valj premera 30 mm,
- spodnja valja premera 15 mm,
- širina preizkušancev je 50 mm ± 1 mm,
- dolžina preizkušancev je 20 x d + 50 mm, pri čemer je (d) debelina plošče,
- hitrost obremenitve mora biti takšna, da se preizkušanec zlomi v 60 sek. ± 30 sek.,
- preizkušanci morajo biti klimatizirani v standardni klimi.

Ugotavljanje upogibne trdnosti ter elastičnega modula smo izvajali na istem testirnem stroju kot pri ugotavljanju strižne trdnosti, le da smo morali zamenjati vpenjalne čeljusti ter dodati podporna valje, kot to zahteva standard.

Preizkušanec smo postavili na dva podporna valja s premerom 15 mm in nanj pritisnili s pritisnim valjem s premerom 30 mm. Merili smo maksimalno silo (F_{max}), upogibno trdnost (f_m) in modul elastičnosti (E_m). Preizkušanci so bili klimatizirani v standardni klimi (poglavje 3.3.4).



Slika 6: Tritočkovni upogib

Po destrukciji preizkušanca smo na zaslonu računalnika odčitali podatke upogibne trdnosti izračunane po formuli 9 ter podatke modula elastičnosti izračunane po formuli 10.

Izračun upogibne trdnosti:

$$f_m = \frac{3 \cdot F_{\max} \cdot L_1}{2 \cdot b_2 \cdot t^2} [N / mm^2] \quad \dots(9)$$

Legenda:

f_m ... upogibna trdnost [N/mm²]
 F_{\max} ... sila loma [N]
 L_1 ... razdalja med podporama [mm]
 b_2 ... širina preizkušanca [mm]
 t ... debelina preizkušanca [mm]

Izračun modula elastičnosti:

$$E_m = \frac{L_1^3 \cdot (F_{40} - F_{10})}{4 \cdot b_2 \cdot t^3 \cdot (a_{40} - a_{10})} [N / mm^2] \quad \dots(10)$$

Legenda:

E_m ... modul elastičnosti [N/mm²]
 F_{10} ... 10 % maksimalne sile [N]
 F_{40} ... 40 % maksimalne sile [N]
 a_{10} ... uklon pri 10 % maksimalne sile [mm]
 a_{40} ... uklon pri 40 % maksimalne sile [mm]
 L_1 ... razdalja med podporama [mm]

4 REZULTATI

Posamezni rezultati, ki smo jih dobili s testiranjem preizkušancev, so podani v preglednicah v prilogi. V nadaljevanju so prikazana le zbrana povprečja ter končni rezultati.

4.1 IZGUBA DEBELINE PLOŠČ

Preglednica 7 prikazuje povprečne vrednosti izgube debeline po posameznih vzorcih preizkušancev ter skupno povprečje le teh.

Preglednica 7: Povprečne vrednosti izgube debeline

Preizkušanec	Začetna debelina [mm]	Končna debelina [mm]	Izguba debeline [%]
A1	14,3	13,4	6,4
A2	14,3	13,3	6,8
A3	14,1	13,2	6,0
A4	14,1	13,3	5,3
A5	14,1	13,3	5,5
Povprečje			6,0
B1	14,4	13,8	4,4
B2	14,3	13,4	5,8
B3	14,5	13,7	4,9
B4	14,4	13,8	4,4
B5	14,4	13,6	5,4
Povprečje			5,0
C1	14,3	13,7	4,2
C2	14,7	14,1	4,1
C3	14,7	14,0	5,0
C4	14,5	13,8	4,7
C5	14,6	13,9	4,8
Povprečje			4,6
D1	14,4	13,8	4,2
D2	14,7	14,1	3,8
D3	14,3	13,5	5,4
D4	14,3	13,6	4,6
D5	14,6	13,9	4,4
Povprečje			4,5

4.2 GOSTOTA IN VLAŽNOST PLOŠČ

Preglednica 8 prikazuje povprečne vrednosti gostote in vlažnosti po posameznih vzorcih preizkušancev ter skupno povprečje le teh.

Preglednica 8: Povprečne vrednosti gostote in vlažnosti preizkušancev

Preizkušanec	Gostota [kg/m ³]	Vlažnost [%]
A1	761,3	9,9
A2	782,2	9,8
A3	781,6	9,8
A4	778,3	10,3
A5	788,2	10,1
Povprečje A	778,3	10,0
B1	752,9	11,3
B2	779,2	11,1
B3	750,4	11,3
B4	794,4	11,1
B5	761,3	11,2
Povprečje B	767,7	11,2
C1	789,9	11,3
C2	781,6	11,4
C3	780,6	11,1
C4	789,9	11,3
C5	767,9	11,4
Povprečje C	782,0	11,3
D1	792,5	11,2
D2	787,2	11,0
D3	771,6	11,2
D4	778,8	11,0
D5	788,1	11,2
Povprečje D	783,6	11,2

4.3 STRIŽNA TRDNOST IN LOM PO LESU PREIZKUŠANCEV

Preglednice 9, 11, 13 in 15 prikazujejo povprečje strižnih trdnosti ter lom po lesu po lepilnih parih pri namakanih preizkušancih. Preglednice 10, 12, 14 in 16 pa prikazujejo povprečje strižnih trdnosti ter lom po lesu po lepilnih parih pri kuhanih preizkušancih.

Preglednica 9: Povprečje strižnih trdnosti po lepilnih parih pri namakanih preizkušancih

Preizkušanec	Par	Strižna trdnost [N/mm ²]	Lom po lesu [%]
A ₁	I	4,14	92
	II	3,09	98
	III	3,53	97
A ₂	I	3,47	97
	II	3,34	93
	III	3,59	100
A ₃	I	3,80	97
	II	3,58	100
	III	3,77	92
A ₄	I	3,69	90
	II	3,21	98
	III	3,13	98
A ₅	I	3,39	97
	II	3,49	95
	III	2,81	100
Povprečje A po parih	I	3,70	95
	II	3,34	97
	III	3,37	97
Povprečje A		3,47	96

Preglednica 10: Povprečje strižnih trdnosti po lepilnih parih pri kuhanih preizkušancih

Preizkušanec	Par	Strižna trdnost [N/mm ²]	Lom po lesu [%]
A ₁	I	2,63	7
	II	2,50	15
	III	2,55	5
A ₂	I	2,50	0
	II	2,77	12
	III	2,57	0
A ₃	I	2,32	3
	II	2,60	17
	III	2,67	13
A ₄	I	2,29	0
	II	2,63	18
	III	2,25	33
A ₅	I	2,32	13
	II	2,74	20
	III	2,27	22
Povprečje A po parih	I	2,41	5
	II	2,65	16
	III	2,46	15
Povprečje A		2,51	12

Preglednica 11: Povprečje strižnih trdnosti po lepilnih parih pri namakanih preizkušancih

Preizkušanec	Par	Strižna trdnost [N/mm ²]	Lom po lesu [%]
B ₁	I	2,97	63
	II	3,01	95
	III	2,83	88
B ₂	I	3,38	72
	II	3,65	90
	III	3,58	70
B ₃	I	3,40	53
	II	2,87	82
	III	3,22	97
B ₄	I	4,32	53
	II	3,64	77
	III	4,29	80
B ₅	I	3,48	90
	II	3,89	83
	III	3,42	88
Povprečje B po parih	I	3,51	66
	II	3,41	85
	III	3,47	85
Povprečje B		3,46	79

Preglednica 12: Povprečje strižnih trdnosti po lepilnih parih pri kuhanih preizkušancih

Preizkušanec	Par	Strižna trdnost [N/mm ²]	Lom po lesu [%]
B ₁	I	1,68	3
	II	2,11	50
	III	2,09	28
B ₂	I	2,50	0
	II	2,33	23
	III	2,71	25
B ₃	I	2,12	3
	II	2,14	35
	III	2,29	57
B ₄	I	2,68	2
	II	2,71	30
	III	2,95	3
B ₅	I	2,43	20
	II	2,78	20
	III	2,43	30
Povprečje B po parih	I	2,28	6
	II	2,41	32
	III	2,49	29
Povprečje B		2,40	22

Preglednica 13: Povprečje strižnih trdnosti po lepilnih parih pri namakanih preizkušancih

Preizkušanec	Par	Strižna trdnost [N/mm ²]	Lom po lesu [%]
C ₁	I	3,98	88
	II	3,46	88
	III	3,63	83
C ₂	I	3,89	73
	II	3,69	87
	III	3,01	65
C ₃	I	3,96	98
	II	3,95	88
	III	3,43	93
C ₄	I	4,12	85
	II	3,93	85
	III	3,77	88
C ₅	I	4,22	83
	II	3,38	88
	III	2,74	100
Povprečje C po parih	I	4,03	85
	II	3,68	87
	III	3,32	86
Povprečje C		3,68	86

Preglednica 14: Povprečje strižnih trdnosti po lepilnih parih pri kuhanih preizkušancih

Preizkušanec	Par	Strižna trdnost [N/mm ²]	Lom po lesu [%]
C ₁	I	2,69	28
	II	2,54	75
	III	2,51	42
C ₂	I	2,84	23
	II	2,60	43
	III	2,04	25
C ₃	I	2,80	38
	II	2,52	38
	III	2,45	38
C ₄	I	2,89	28
	II	2,95	33
	III	2,49	20
C ₅	I	2,69	10
	II	2,36	12
	III	1,86	53
Povprečje C po parih	I	2,78	25
	II	2,59	40
	III	2,27	36
Povprečje C		2,55	34

Preglednica 15: Povprečje strižnih trdnosti po lepilnih parih pri namakanih preizkušancih

Preizkušanec	Par	Strižna trdnost [N/mm ²]	Lom po lesu [%]
D ₁	I	3,37	72
	II	2,96	58
	III	3,54	75
D ₂	I	3,16	67
	II	2,52	53
	III	2,99	65
D ₃	I	2,57	67
	II	3,49	57
	III	3,11	62
D ₄	I	2,89	63
	II	3,04	70
	III	3,19	83
D ₅	I	2,87	83
	II	3,69	78
	III	3,97	88
Povprečje D po parih	I	2,97	70
	II	3,14	63
	III	3,36	75
Povprečje D		3,16	69

Preglednica 16: Povprečje strižnih trdnosti po lepilnih parih pri kuhanih preizkušancih

Preizkušanec	Par	Strižna trdnost [N/mm ²]	Lom po lesu [%]
D₁	I	2,55	48
	II	2,27	50
	III	2,49	35
D₂	I	2,12	37
	II	1,43	12
	III	1,65	12
D₃	I	1,67	13
	II	2,08	3
	III	2,21	23
D₄	I	2,12	38
	II	1,61	22
	III	2,39	33
D₅	I	2,02	22
	II	2,60	43
	III	2,80	42
Povprečje D po parih	I	2,10	32
	II	2,00	26
	III	2,31	29
Povprečje D		2,13	29

4.4 UPOGIBNA TRDNOST PREIZKUŠANCEV

Preglednica 17 prikazuje povprečne vrednosti upogibne trdnosti ter modula elastičnosti v vzdolžni in prečni smeri.

Preglednica 17: Povprečne vrednosti upogibne trdnosti in E-Modula

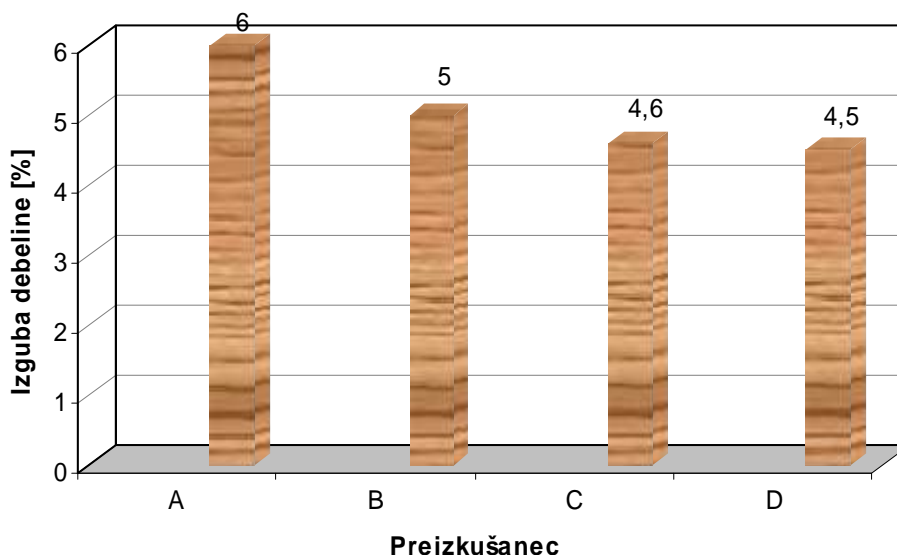
Preizkušanec	Vzdolžna smer (0)		Prečna smer (90)	
	f _m [N/mm ²]	E-Modul [N/mm ²]	f _m [N/mm ²]	E-Modul [N/mm ²]
A	93,9	10308	60,7	4875
B	92,0	9969	51,8	4610
C	104,2	10568	61,3	4992
D	101,8	10276	57,2	4552

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

V raziskavi smo proučevali vpliv hladnega predstiskanja na lastnosti težko gorljive vezane plošče. Ugotavljali smo izgubo debeline plošč, gostoto in vlažnost plošč, strižno ter upogibno trdnost. Analiza rezultatov raziskave je potrdila, da ima čas hladnega predstiskanja vpliv na mehanske lastnosti težko gorljivih vezanih plošč.

5.1.1 Izguba debeline plošč



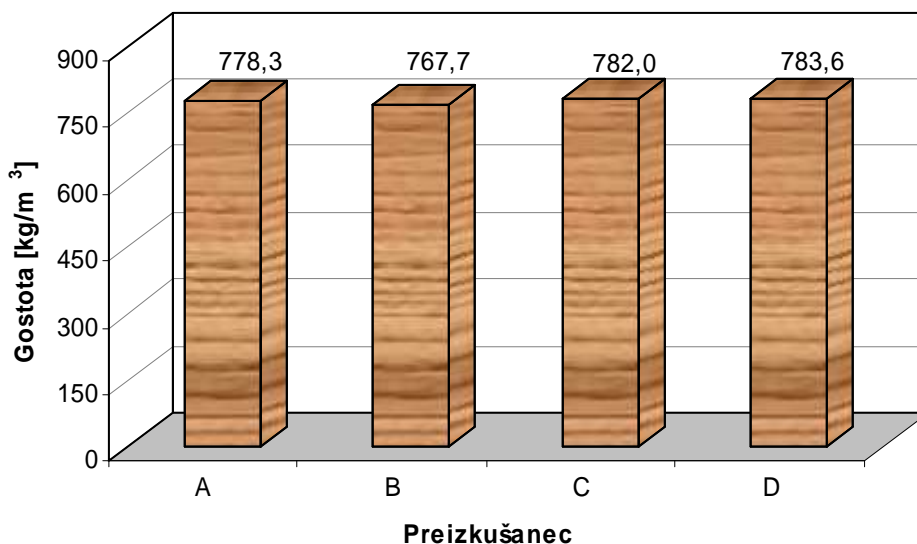
Slika 7: Izguba debeline glede na vrsto plošče

Iz slike 7 je razvidno, da so referenčni preizkušanci (A), ki niso bili tretirani z antipiretikom, imeli za 1,4 % večjo izgubo debeline kot preizkušanci, tretirani z antipiretikom in z 9,5 minutnim hladnim predstiskanjem (C). Za 1,5 % večjo izgubo debeline pa so imeli od tretiranih preizkušancev (D), kjer je trajalo hladno predstiskanje 29,5 minut, in za 1 % večji vprešek od tretiranih preizkušancev (B), a brez hladnega predstiskanja.

Iz rezultatov je razvidno, da je bila razlika v vpreških zelo majhna in zanemarljiva. Tlak pri hladnem predstiskanju je bil premajhen (5,5 bar), da bi imel značilen vpliv na izgubo debeline. Vsebnost antipiretika ni imela bistvenega vpliva na izgubo debeline. Furnir za izdelavo vezanih plošč je bil pridobljen iz proizvodnje in je zelo variiral v kvaliteti in

debelini (priloga A), kar je lahko vzrok za manjša odstopanja v vprešku glede na vrsto plošče.

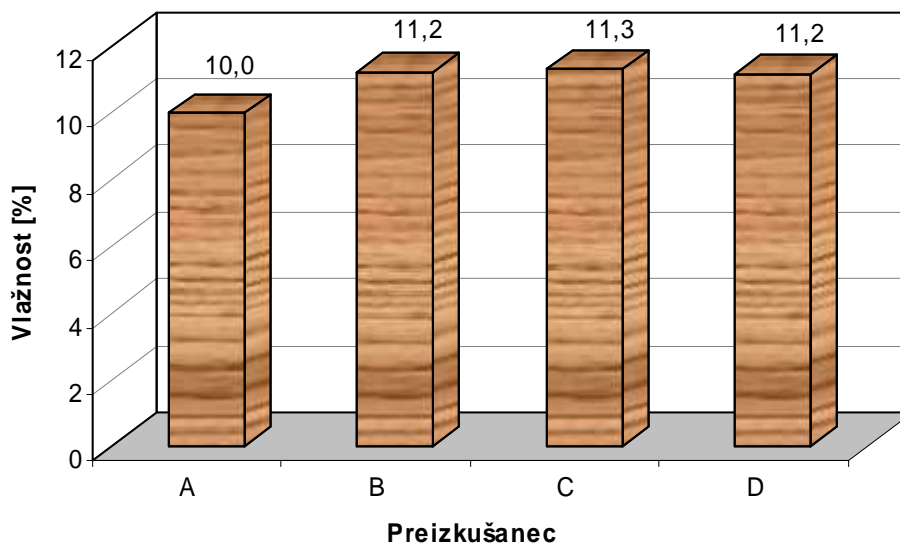
5.1.2 Gostota in vlažnost plošč



Slika 8: Gostota plošč

Povprečne vrednosti gostote po posameznih preizkušancih so podane v rezultatih (poglavje 4.2) in znašajo od 767,7 do 783,6 kg/m³.

Na sliki 8 je razvidno, da so imeli preizkušanci zelo majhno variabilnost gostote. Ugotovili smo, da dodatek antipiretika ni imel bistvenega vpliva na gostoto plošč. Na primer preizkušavec (B), ki je bil tretiran z ognjezadrževalnim sredstvom, je imel manjšo gostoto za 1,37 % (10,6 kg/m³) od referenčne plošče (A), ki ni bila tretirana.



Slika 9: Vlačnost plošč

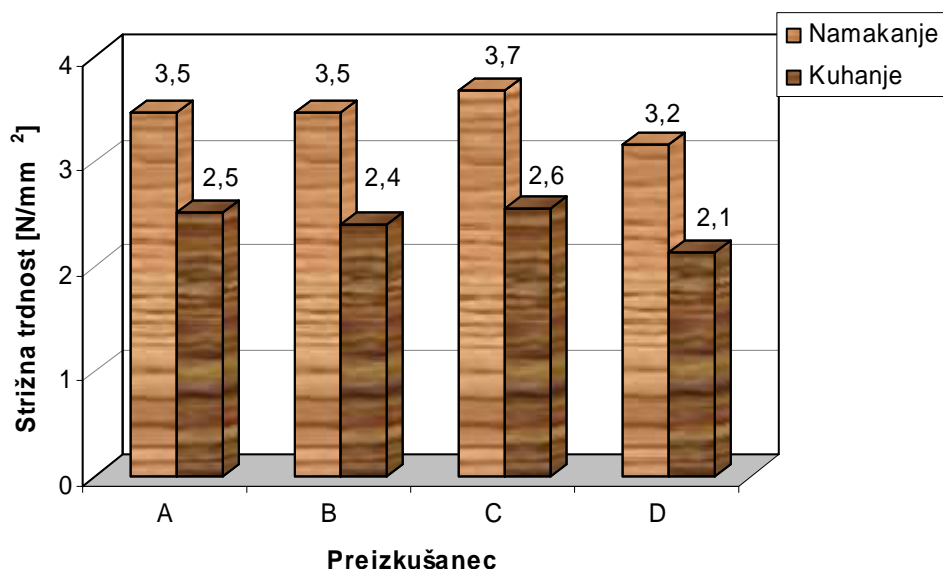
Iz rezultatov (preglednica 8 ter slika 9) je razvidno, da med preizkušanci ni bilo velike razlike v vlačnosti plošč. Povprečna vrednost vlačnosti referenčnega preizkušanca (A) je bila nekoliko nižja od vlačnosti preizkušancev, ki so bili izdelani iz tretiranega furnirja. Preizkušanci (B), (C) in (D) so imeli skoraj enako vlačnost (zanemarljiva razlika). Preizkušanci z vsebnostjo antipiretika so imeli povprečno vlačnost 11,2 %, referenčni preizkušane pa je imel vlačnost 10 %. Razlika v vlačnosti je bila 1,2 %.

Znano je, da na vlačnost plošč v veliki meri vpliva nanos lepila, kar pa smo eliminirali z točno določenim in pri vseh preizkušancih enakim nanosom. Predvidevamo lahko, da je imel antipiretik vpliv na vlačnost plošč.

5.1.3 Strižna trdnost in ocena loma po lesu

Preglednica 18: Povprečne vrednosti strižne trdnosti ter loma po lesu

Preizkušane	Strižna trdnost [N/mm ²]		Lom po lesu [%]	
	Namakanje	Kuhanje	Namakanje	Kuhanje
A	3,5	2,5	96	12
B	3,5	2,4	79	22
C	3,7	2,6	86	34
D	3,2	2,1	69	29

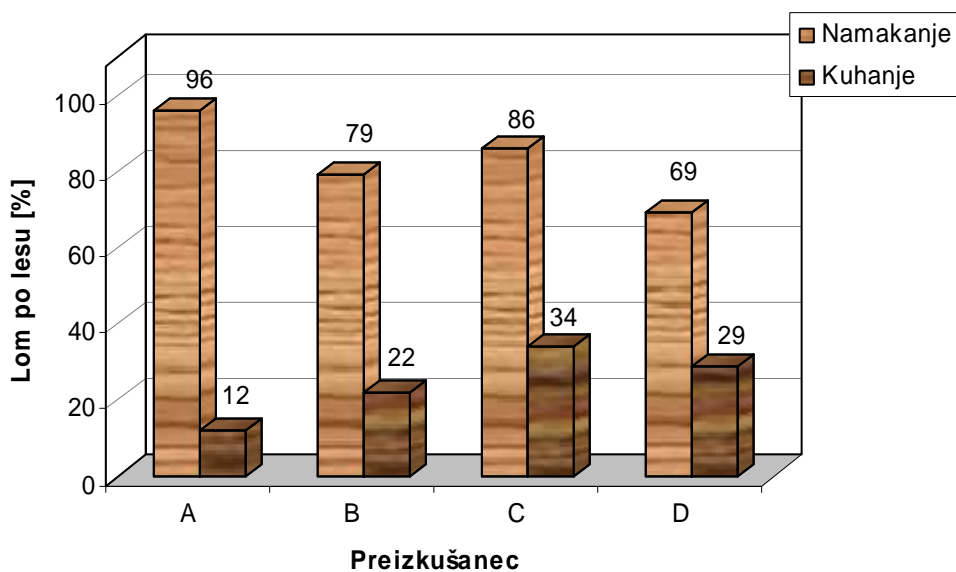


Slika 10: Povprečne vrednosti strižnih trdnosti glede na način priprave preizkušancev.

Preglednica 18 ter slika 10 prikazujeta povprečne vrednosti strižne trdnosti lepilnega spoja. Na sliki 10 je vidno, da je po strižni trdnosti izstopal preizkušavec (C). Viden je tudi negativen vpliv predolgega hladnega predstiskanja (29,5 min) pri izdelavi preizkušanca (D). Ugotovili smo naslednje:

- strižna trdnost namakanih preizkušancev (B) je znašala enako kot pri referenčnem preizkušancu (A), ki je imel trdnost 3,5 N/mm². Kuhanim preizkušancem (B) pa je znašala strižna trdnost 2,4 N/mm², kar je za 4 % manj od referenčnega preizkušanca (A), ki je imel trdnost 2,5 N/mm²,
- strižna trdnost namakanih preizkušancev (C) je znašala 3,7 N/mm², kar je za 5,7 % več od referenčnega preizkušanca (A) in od preizkušanca (B), ki pa je bil drugi referenčni preizkušavec. Imela sta trdnost 3,5 N/mm². Kuhanim preizkušancem (C) pa je znašala strižna trdnost 2,6 N/mm², kar je za 4 % več od referenčnega preizkušanca (A), ki je imel trdnost 2,5 N/mm², od preizkušanca (B) pa je imel za 8,3 % večjo strižno trdnost,
- strižna trdnost namakanih preizkušancev (D) je znašala 3,2 N/mm², kar je za 8,6 % manj od referenčnega preizkušanca (A) in od preizkušanca (B), ki sta imela trdnost 3,5 N/mm². Kuhanim preizkušancem (D) pa je znašala strižna trdnost 2,1 N/mm², kar je za 16 % manj od referenčnega preizkušanca (A), ki je imel trdnost 2,5 N/mm², od preizkušanca (B) pa je imel za 12,5 % manjšo strižno trdnost.

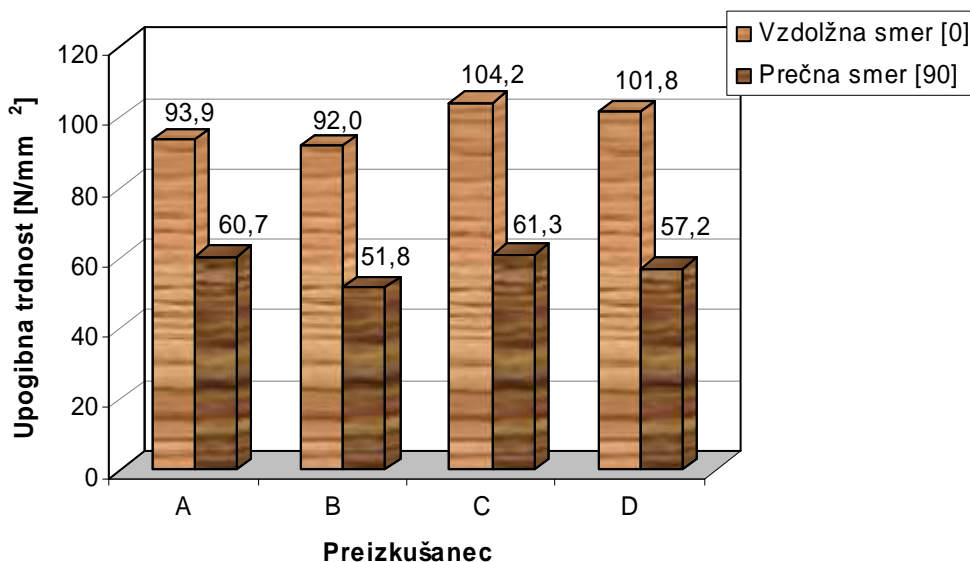
Preizkušavec (B) je imel nekoliko slabše vrednosti strižne trdnosti od referenčnega preizkušanca (A). To je bilo pričakovati, saj iz izkušenj v proizvodnji podjetja JAVOR vemo, da imajo težko gorljive vezane plošče izdelane brez hladnega predstiskanja slabšo kvaliteto zlepljenosti plošče od običajnih plošč, ki niso težko gorljive.



Slika 11: Povprečne vrednosti lomov po lesu glede na način priprave preizkušancev.

Glede na zahteve standarda SIST EN 314 – 2 (poglavje 3.3.6.1) določitev deleža loma po lesu ni potrebna, če je strižna trdnost $[f_v]$ večja od $1,0 \text{ N/mm}^2$. Vsi preizkušanci izpolnjujejo zahteve standarda glede kakovosti zlepljenosti za načina priprave po točki 5.1.1 in 5.1.3 po standardu SIST EN 314 – 1 (poglavje 3.3.4). Ker pa je ocena loma po lesu dober pokazatelj kvalitete zlepljenosti, smo jo vseeno določili (slika 11). Pri namakanih preizkušancih so ocene dokaj visoke (69 % do 96 %). Pri kuhanih preizkušancih pa so bile ocene nižje (12 % do 34%). Izstopal je preizkušanec (C) z oceno loma 34 %. Vsi težko gorljivi preizkušanci (B), (C) in (D) so imeli kvalitetnejši spoj od referenčnega preizkušanca (A), ki ni bil tretiran z antipiretikom.

5.1.4 Upogibna trdnost in modul elastičnosti



Slika 12: Povprečne vrednosti upogibne trdnosti glede na smer preizkušanca v plošči.

Iz slike 12 je razvidno, da po upogibni trdnosti izstopa preizkušavec (C). Takoj za njim je po vrednosti preizkušavec (D). Preizkušavec (B) (težko gorljiv in izdelan brez hladnega predstiskanja) pa je glede na upogibno trdnost slabši od preizkušanca (A), ki ni izdelan iz tretiranega furnirja.

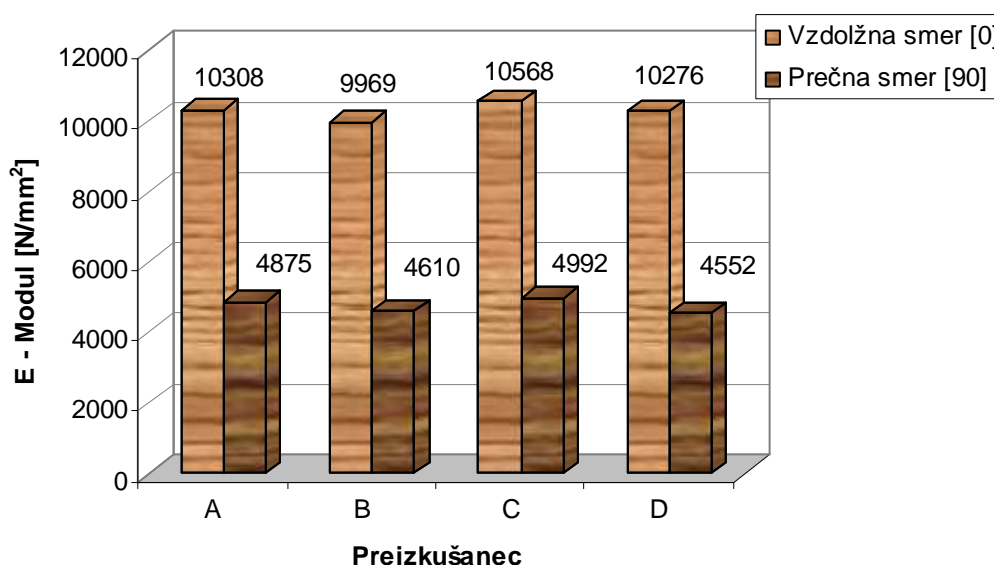
Upogibna trdnost preizkušancev se je razlikovala glede na smer, kar je pričakovano:

a) vzdolžna smer:

- upogibna trdnost preizkušanca (B) je znašala 92 N/mm², kar je za 2 % manj od referenčnega preizkušanca (A), ki je imel trdnost 93,9 N/mm²,
- upogibna trdnost preizkušanca (C) je znašala 104,2 N/mm², kar je za 11 % več od referenčnega preizkušanca (A), od preizkušanca (B), ki pa je drugi referenčni preizkušavec, pa je imel za 13,3 % večjo upogibno trdnost,
- upogibna trdnost preizkušanca (D) je znašala 101,8 N/mm², kar je za 8,4 % več od referenčnega preizkušanca (A), od preizkušanca (B) pa je imel za 10,7 % večjo upogibno trdnost.

b) prečna smer:

- upogibna trdnost preizkušanca (B) je znašala $51,8 \text{ N/mm}^2$, kar je za 14,7 % manj od referenčnega preizkušanca (A), ki je imel trdnost $60,7 \text{ N/mm}^2$,
- upogibna trdnost preizkušanca (C) je znašala $61,3 \text{ N/mm}^2$, kar je za 1 % več od referenčnega preizkušanca (A), od preizkušanca (B) pa je imel za 18,3 % večjo upogibno trdnost,
- upogibna trdnost preizkušanca (D) je znašala $57,2 \text{ N/mm}^2$, kar je za 5,8 % manj od referenčnega preizkušanca (A), od preizkušanca (B) pa je imel za 10,4 % večjo upogibno trdnost.



Slika 13: Povprečne vrednosti E – Modula glede na smer preizkušanca v plošči.

Iz slike 13 je razvidno, da je tudi pri modulu elastičnosti izstopal preizkušavec (C). Preizkušanca izdelana iz tretiranega furnirja (B) brez hladnega predstiskanja in (D) z 29,5 minutnim hladnim predstiskanjem, pa sta imela manjši elastični modul od referenčnega preizkušanca (A). Za preizkušavec (B) je bilo pričakovano, da bo imel manjši E-modul od referenčnega preizkušanca. Preizkušavec (D) pa je imel celo manjši E-modul od referenčnega (A), čeprav smo ga poskušali s hladnim predstiskanjem povečati.

Kot pri upogibni trdnosti preizkušancev se je razlikoval tudi E-modul glede na smer in sicer:

a) vzdolžna smer:

- E-modul preizkušanca (B) je znašal 9969 N/mm^2 , kar je za 3,3 % manj od referenčnega preizkušanca (A), ki je imel E-modul 10308 N/mm^2 ,
- E-modul preizkušanca (C) je znašal 10568 N/mm^2 , kar je za 2,5 % več od referenčnega preizkušanca (A), od preizkušanca (B), ki pa je drugi referenčni preizkušavec, pa je imel za 6 % večji E-modul,

- E-modul preizkušanca (D) je znašal 10276 N/mm^2 , kar je za 0,3 % manj od referenčnega preizkušanca (A), od preizkušanca (B) pa je imel za 3,1 % večji E-modul.

b) prečna smer:

- E-modul preizkušanca (B) je znašal 4610 N/mm^2 , kar je za 5,4 % manj od referenčnega preizkušanca (A), ki je imel E-modul 4875 N/mm^2 ,
- E-modul preizkušanca (C) je znašal 4992 N/mm^2 , kar je za 2,4 % več od referenčnega preizkušanca (A), od preizkušanca (B) pa je imel za 8,3 % večji E-modul,
- E-modul preizkušanca (D) je znašal 4552 N/mm^2 , kar je za 6,6 % manj od referenčnega preizkušanca (A), od preizkušanca (B) pa je imel za 1,3 % manjši E-modul.

5.2 SKLEPI

Za vezane plošče s povečano odpornostjo odziva na ogenj, ki so namenjene za uporabo v gradbeništvu, so pomembne predvsem njihove mehanske lastnosti. Za plasiranje gradbenih lesnih plošč na trg, mora podjetje upoštevati standard SIST EN 13986:2005. Standard navaja še druge standarde po katerih je potrebno raziskati mehanske lastnosti ter odziv teh plošč na ogenj.

V raziskavi smo proučevali fizikalne in mehanske lastnosti furnirnih vezanih plošč, ki so bile izdelane iz netretiranega in z antipiretikom tretiranega furnirja, razlikovale pa so se tudi glede na čas predstiskanja.

Na osnovi rezultatov smo ugotovili naslednje:

Referenčni preizkušanci (A), ki niso bili tretirani z antipiretikom, so imeli za 1,4 % večjo izgubo debeline kot preizkušanci (C), tretirani z antipiretikom in z 9,5 minutnim hladnim predstiskanjem. Za 1,5 % večjo izgubo debeline pa so imeli od tretiranih preizkušancev (D), kjer je trajalo hladno predstiskanje 29,5 minut, in za 1 % večji vprešek od tretiranih preizkušancev (B), a brez hladnega predstiskanja. Rezultati so pokazali, da je bila razlika v vpreških zelo majhna in zanemarljiva. Tlak pri hladnem predstiskanju je bil premajhen (5,5 bar), da bi imel značilen vpliv na izgubo debeline. Tudi vsebnost antipiretika ni imela bistvenega vpliva na izgubo debeline.

Preizkušanci so imeli zelo majhno variabilnost gostote. Ugotovili smo, da dodatek antipiretika ni imel bistvenega vpliva na gostoto plošč. Na primer preizkušanec (B), ki je bil tretiran z ognjezadrževalnim sredstvom, je imel manjšo gostoto za 1,4 % ($10,6 \text{ kg/m}^3$) od referenčne plošče (A), ki ni bila tretirana.

Med preizkušanci ni bilo velike razlike v vlažnosti plošč. Povprečna vrednost vlažnosti referenčnega preizkušanca (A) je bila nekoliko nižja od vlažnosti preizkušancev, ki so bili izdelani iz tretiranega furnirja. Preizkušanci z vsebnostjo antipiretika (B), (C) in (D) so imeli skoraj enako vlažnost (zanemarljiva razlika). Njihova povprečna vlažnost je znašala

11,2 %. Referenčni preizkušanelec pa je imel vlažnost 10 %. Razlika v vlažnosti je bila 1,2 %. Sklepamo lahko, da je imel antipiretik vpliv na vlažnost plošč.

Po velikosti strižne trdnosti izstopa preizkušanelec (C). Viden je tudi negativen vpliv predolgega hladnega predstiskanja (29,5 min) pri izdelavi preizkušanca (D). Rezultati so pokazali naslednje:

- strižna trdnost namakanih preizkušancev (B) je bila enaka kot pri referenčnem preizkušancu (A). Kuhanim preizkušancem (B) pa je bila strižna trdnost za 4 % manjša od referenčnega preizkušanca (A),
- strižna trdnost namakanih preizkušancev (C) je bila za 5,7 % večja od referenčnega preizkušanca (A) in od drugega referenčnega preizkušanca (B). Kuhanim preizkušancem (C) pa je bila strižna trdnost za 4 % večja od referenčnega preizkušanca (A), od preizkušanca (B) pa za 8,3 %,
- strižna trdnost namakanih preizkušancev (D) je bila za 8,6 % manjša od referenčnega preizkušanca (A), od preizkušanca (B) pa je imel za 8,6 % manjšo strižno trdnost, Kuhanim preizkušancem (D) pa je bila strižna trdnost za 16 % manjša od referenčnega preizkušanca (A), od preizkušanca (B) pa za 12,5 %.

Ocena loma po lesu je dober pokazatelj kvalitete zlepljenosti, zato smo jo določili ter ugotovili, da so bile pri namakanih preizkušancih ocene dokaj visoke (69 % do 96 %). Pri kuhanih preizkušancih pa so bile ocene nižje (12 % do 34 %). Izstopal je preizkušanelec (C) z oceno loma 34 %. Vsi težko gorljivi preizkušanci (B), (C) in (D) so imeli kvalitetnejši spoj od referenčnega preizkušanca (A), ki ni bil tretiran z antipiretikom.

Po upogibni trdnosti je izstopal preizkušanelec (C). Takoj za njim je po vrednosti bil preizkušanelec (D). Preizkušanelec (B), težko gorljiv in izdelan brez hladnega predstiskanja pa je glede na upogibno trdnost bil slabši od preizkušanca (A), ki ni bil izdelan iz tretiranega furnirja. Upogibna trdnost ter modul elastičnosti preizkušancev sta se razlikovala glede na smer, kar je bilo pričakovano:

a) upogibna trdnost v vzdolžni smeri:

- upogibna trdnost preizkušanca (B) je bila za 2 % manjša od referenčnega preizkušanca (A),
- upogibna trdnost preizkušanca (C) je bila za 11 % večja od referenčnega preizkušanca (A), od preizkušanca (B), ki pa je bil drugi referenčni preizkušanelec, pa je imel za 13,3 % večjo upogibno trdnost,
- upogibna trdnost preizkušanca (D) je bila za 8,4 % večja od referenčnega preizkušanca (A), od preizkušanca (B) pa je imel za 10,7 % večjo upogibno trdnost.

b) upogibna trdnost v prečni smeri:

- upogibna trdnost preizkušanca (B) je bila za 14,7 % manjša od referenčnega preizkušanca (A),
- upogibna trdnost preizkušanca (C) je bila za 1 % večja od referenčnega preizkušanca (A), od preizkušanca (B) pa je imel za 18,3 % večjo upogibno trdnost,
- upogibna trdnost preizkušanca (D) je bila za 5,8 % manjša od referenčnega preizkušanca (A), od preizkušanca (B) pa je bila za 10,4 % večja upogibna trdnost.

a) modul elastičnosti v vzdolžni smeri:

- E-modul preizkušanca (B) je bil za 3,3 % manjši od referenčnega preizkušanca (A),
- E-modul preizkušanca (C) je bil za 2,5 % večji od referenčnega preizkušanca (A), od preizkušanca (B), ki pa je bil drugi referenčni preizkušanec, pa je imel za 6 % večji E-modul,
- E-modul preizkušanca (D) je bil za 0,3 % manjši od referenčnega preizkušanca (A), od preizkušanca (B) pa je imel za 3,1 % večji E-modul.

b) modul elastičnosti v prečni smeri:

- E-modul preizkušanca (B) je bil za 5,4 % manjši od referenčnega preizkušanca (A),
- E-modul preizkušanca (C) je bil za 2,4 % večji od referenčnega preizkušanca (A), od preizkušanca (B) pa imel za 8,3 % večji E-modul,
- E-modul preizkušanca (D) je bil za 6,6 % manjši od referenčnega preizkušanca (A), od preizkušanca (B) pa je imel za 1,3 % manjši E-modul.

Na osnovi rezultatov lahko povzamemo, da na fizikalne in mehanske lastnosti težko gorljive vezane plošče lahko vplivamo že z 9,5 minutnim hladnim predstiskanjem. Iz raziskav in iz izkušenj vemo, da ima hladno predstiskanje na splošno pozitiven vpliv na mehanske lastnosti vezanih plošč. Pri hladnem predstiskanju se poveča penetracija lepila v les, kar pozitivno vpliva na kvaliteto lepilnega spoja. Ko pa so raziskovalci ugotavljali vpliv hladnega predstiskanja na lastnosti običajnih vezanih plošč, niso prišli do zaključkov, da bi 30 minutno hladno predstiskanje bistveno vplivalo na mehanske lastnosti plošč. V našem primeru pa s predolgim hladnim predstiskanjem (29,5 min) negativno vplivamo na kvaliteto lepilnega spoja težko gorljivih vezanih plošč.

Zaradi teh ugotovitev bi bile za proizvodnjo v podjetju JAVOR smiselne nadaljnje raziskave, s katerimi bi proučili še ostale dejavnike, ki vplivajo na mehanske lastnosti težko gorljive vezane plošče. Glede na dejstvo, da na lesni površini, ki je izpostavljena visokim temperaturam, prihaja do kemičnih in fizikalnih sprememb (inaktivacija), bi bilo smiselno proučiti lastnosti površine furnirja. Zaradi inaktivacije površine je slabša omočitev lesa z lepilom in s tem slabša kvaliteta lepilnega spoja. Ker pa imamo furnir tretiran z antipiretiki, ki lahko reagirajo z lepilom, je to še toliko bolj potrebno raziskati.

6 POVZETEK

V proizvodnji podjetja JAVOR se pogosto pojavi problem razslojevanja furnirnih vezanih plošč po lepilnem spoju, zato je bilo potrebno spremeniti tehnološki proces izdelave težko gorljivih furnirnih vezanih plošč oziroma uvesti hladno predstiskanje.

Osnovni cilj diplomske naloge je bil raziskati ter določiti optimalni čas hladnega predstiskanja pri teh ploščah. V diplomski nalogi smo ugotavljali vpliv hladnega predstiskanja na mehanske lastnosti težko gorljive furnirne vezane plošče. V ta namen je bilo izdelanih 20 sedemslojnih vezanih plošč dimenzij 500 mm x 500 mm in sicer; 4 vzorci po 5 plošč oziroma ponovitev. Uporabljen je bil bukov furnir pridobljen iz redne proizvodnje podjetja JAVOR. Furnir smo tretirali z ognjezadrževalnim sredstvom ter nato plošče zlepili z melamin urea-formaldehidnom lepilom (Meldur H97).

V podjetju smo preizkušance pripravili po standardu SIST EN 326, ki opredeljuje vzorčenje in načine razžagovanja preizkušancev ter podajanje rezultatov. Preizkušance smo pripravili za ugotavljanje gostote in vlažnosti ter strižne in upogibne trdnosti.

V laboratoriju na Oddelku za lesarstvo smo za ugotavljanje strižne trdnosti po standardu SIST EN 314-1 360 preizkušancev namakali v vodi s temperaturo 20 °C in 360 preizkušancev 4 ure kuhali v vreli vodi, nato jih sušili 16 ur pri temperaturi 60 °C, nato jih ponovno kuhali 4 ure in na koncu ohladili v vodi temperature 20 °C.

Preizkušance za ugotavljanje upogibne trdnosti smo uravnovesili v klima komori pri temperaturi 20 °C ter relativni zračni vlagi 65 % kot predpisuje standard SIST EN 310. Preizkušance za ugotavljanje gostote plošč smo pripravili pod enakimi pogoji, ker standard SIST EN 323 predpisuje enake pogoje v klima komori kot standard za ugotavljanje upogibne trdnosti. Preizkušance za določevanje vlažnosti pa smo sušili pri temperaturi 103 °C do konstantne mase kot določa standard SIST EN 322. Strižne in upogibne trdnosti smo ugotavljali na testirnem stroju ZWICK/Z100.

Na osnovi naših raziskovanj smo ugotovili, da 9,5 minutno hladno predstiskanje pred vročim lepljenjem težko gorljivih plošč, poveča strižno trdnost za 5,7 % od plošč pri katerih ni bilo prisotno hladno predstiskanje. Umetno staranim ploščam pa poveča strižno trdnost za 8,3 %. Upogibno trdnost v vzdolžni smeri poveča za 13,3 %, v prečni pa za 18,3 %. Modul elastičnosti v vzdolžni smeri poveča za 6 %, v prečni pa za 8,3 %.

Ugotovili smo tudi negativen vpliv predolgega hladnega predstiskanja (29,5 min) na strižno trdnost, saj je bila strižna trdnost lepilnega spoja namakanih preizkušancev za 8,6 % manjša od plošč, ki so bile izdelane brez hladnega predstiskanja. Umetno staranim preizkušancem pa je trdnost bila manjša za 12,5 %. Na upogibno trdnost pa je imelo hladno predstiskanje (29,5 min) pozitiven vpliv, vendar manjši kot pri 9,5 minutnem hladnim predstiskanjem. Upogibna trdnost v vzdolžni smeri je bila večja za 10,7 %, v prečni pa za 10,4 % od plošč, ki so bile izdelane brez hladnega predstiskanja. Na modul elastičnosti v vzdolžni smeri je imel pozitiven vpliv, vendar za samo 3,1 %, v prečni smeri pa za 1,3 % negativen vpliv.

7 VIRI

1. Čufar K. 1997. Anatomija lesa. Ljubljana, BF – Oddelek za lesarstvo: 128 str.
2. Humar M. 2006. Protipožarna zaščita lesa. Študijsko gradivo (Predmet: Patologija in zaščita lesa). Ljubljana, BF – Oddelek za lesarstvo: 6 str.
3. Marra A.A. 1992. Technology of wood Bonding: Principles in Practice. New York Van Nostrand Reinhold: 454 str.
4. Melamin Kočevje, 2007. Analizni certifikat o kvaliteti izdelka MELDUR H97: 1 str.
5. Nikolič M. 1988. Furniri i slojevite ploče. Beograd, Građevinska knjiga: 414 str.
6. Požar A. 1996. Raziskava možnosti uvedbe faze predstiskanja pri izdelavi furniranih plošč. Diplomaska naloga. Ljubljana, BF – Oddelek za lesarstvo: 100 str.
7. Resnik J. 1989. Lepila in lepljen les. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 103 str.
8. SIST EN 310: 1996. Lesne plošče – določanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti. 1996: 8 str.
9. SIST EN 314 – 1: 2005. Vezan les – kakovost zlepljenih spojev – 1. del: Preskusne metode. 2005: 20 str.
10. SIST EN 314 – 2: 1996. Vezan les – kakovost zlepljenih spojev – 2. del: Zahteve. 1996: 6 str.
11. SIST EN 322: 1996. Lesne plošče – Določanje vlažnosti. 1996: 6 str.
12. SIST EN 323: 1996. Lesne plošče - Določanje gostote. 1996: 7 str.
13. SIST EN 326 – 1: 1996. Vzorčenje, izrez in pregled lesnih plošč - Vzorčenje, izrez in izražanje rezultatov preskušanja. 1996: 11 str.
14. Šega B. 1992. Vpliv dodatka ognjezadrževalnega sredstva na nekatere mehanske lastnosti in gorljivost furnirne plošče. Diplomaska naloga. Ljubljana, BF – Oddelek za lesarstvo: 111 str.
15. Šega B. 2003. Osnove lepljenja lesa. Študijsko gradivo. Ljubljana, BF - Oddelek za lesarstvo: 62 str.
16. Šernek M. 1999. Vpliv bistvenih dejavnikov na penetracijo in trdnost UF lepilnega spoja pri lepljenju bukovine. Magistrsko delo. Ljubljana, BF – Oddelek za lesarstvo: 111 str.
17. Zbašnik Senegačnik M. 2001. Hiša iz masivnega lesa. Les, 53, 10: 339-344

ZAHVALA

Zahvaljujem se izr. prof. dr. Milanu Šerneku za mentorstvo in strokovno pomoč pri izdelavi diplomske naloge. Doc. dr. Sergeju Medvedu se zahvaljujem za opravljeno recenzijo.

Zahvaljujem se sodelavcu v podjetju JAVOR Pivka, Z. Guštinu, univ. dipl. inž., za pomoč in nasvete pri delu, direktorju R. Slavcu univ. dipl. inž., pa za omogočeno delo v PC Vezane plošče.

PRILOGE

Priloga A: Izmerjena debelina furnirnih listov ter izračunana debelina vezanih plošč

Preizkušane	Zap. št.	Debelina 1 [mm]	Debelina 2 [mm]	Debelina 3 [mm]	Debelina 4 [mm]	Povprečje [mm]
A1	1	2,01	2,07	2,07	2,04	2,05
	2	2,00	2,00	2,04	2,06	2,03
	3	2,00	1,94	1,92	1,92	1,95
	4	2,10	2,08	2,13	2,13	2,11
	5	2,02	2,04	2,04	2,06	2,04
	6	2,02	2,08	2,13	1,96	2,05
	7	2,14	1,98	2,05	2,10	2,07
Debelina plošče						14,28
A2	1	2,13	2,06	1,99	2,00	2,05
	2	1,93	2,01	2,15	2,09	2,05
	3	2,00	1,93	2,12	2,09	2,04
	4	2,00	1,96	1,96	1,96	1,97
	5	2,00	2,02	2,11	2,06	2,05
	6	2,06	2,00	2,01	2,11	2,05
	7	2,14	2,08	2,12	2,15	2,12
Debelina plošče						14,31
A3	1	1,93	1,92	2,00	1,92	1,94
	2	2,00	2,00	2,06	2,11	2,04
	3	2,14	2,08	1,97	1,97	2,04
	4	2,06	1,99	2,04	2,06	2,04
	5	2,04	2,00	2,03	2,03	2,03
	6	2,06	2,06	2,10	2,11	2,08
	7	1,93	1,93	1,90	1,91	1,92
Debelina plošče						14,09
A4	1	1,98	1,99	2,06	2,02	2,01
	2	1,95	2,00	2,01	2,04	2,00
	3	1,97	1,94	2,08	2,03	2,01
	4	1,98	2,01	2,06	2,02	2,02
	5	1,97	1,97	2,06	2,11	2,03
	6	2,02	2,03	1,96	2,02	2,01
	7	2,01	2,00	1,99	2,01	2,00
Debelina plošče						14,07
A5	1	1,99	2,02	2,04	1,99	2,01
	2	2,08	2,08	2,00	2,01	2,04
	3	1,98	2,00	1,99	1,98	1,99
	4	1,95	1,93	1,96	2,02	1,97
	5	1,91	1,93	2,06	1,92	1,96
	6	2,05	2,05	2,04	2,06	2,05
	7	2,04	2,07	2,15	2,14	2,10
Debelina plošče						14,11

se nadaljuje -

- nadaljevanje

Preizkušane	Zap. št.	Debelina 1 [mm]	Debelina 2 [mm]	Debelina 3 [mm]	Debelina 4 [mm]	Povprečje [mm]
B1	1	2,04	2,04	2,17	2,01	2,07
	2	2,14	2,14	2,01	2,07	2,09
	3	2,10	2,16	2,09	2,03	2,10
	4	2,02	2,16	2,14	1,95	2,07
	5	2,00	2,07	2,01	1,98	2,02
	6	2,11	2,10	2,14	2,02	2,09
	7	1,99	1,98	2,03	2,01	2,00
Debelina plošče						14,43
B2	1	2,09	2,06	2,06	2,06	2,07
	2	2,00	2,02	2,09	1,99	2,03
	3	2,11	2,10	2,11	2,14	2,12
	4	2,01	1,90	1,90	1,90	1,93
	5	2,05	2,16	2,14	2,08	2,11
	6	1,98	2,02	1,99	1,98	1,99
	7	2,02	2,00	2,02	2,11	2,04
Debelina plošče						14,27
B3	1	2,04	2,14	2,03	2,01	2,06
	2	2,04	1,94	1,96	2,06	2,00
	3	2,02	2,02	2,02	2,07	2,03
	4	2,14	2,11	2,06	2,16	2,12
	5	2,04	2,00	2,10	2,11	2,06
	6	2,17	2,14	2,16	2,10	2,14
	7	2,02	1,99	2,06	2,09	2,04
Debelina plošče						14,45
B4	1	2,12	2,14	2,19	2,19	2,16
	2	2,19	2,10	2,13	2,14	2,14
	3	2,02	2,00	1,99	2,01	2,01
	4	2,15	2,04	2,03	2,11	2,08
	5	2,02	2,04	2,08	2,05	2,05
	6	1,94	2,02	2,03	1,94	1,98
	7	1,94	2,06	2,03	1,95	2,00
Debelina plošče						14,41
B5	1	2,03	2,09	2,01	2,02	2,04
	2	1,99	2,01	2,08	2,04	2,03
	3	2,04	2,06	2,11	2,12	2,08
	4	2,04	2,02	2,01	2,03	2,03
	5	2,14	2,19	2,18	2,14	2,16
	6	2,18	2,14	2,14	2,18	2,16
	7	1,90	1,89	1,90	1,91	1,90
Debelina plošče						14,40

se nadaljuje -

- nadaljevanje

Preizkušane	Zap. št.	Debelina 1 [mm]	Debelina 2 [mm]	Debelina 3 [mm]	Debelina 4 [mm]	Povprečje [mm]
C1	1	2,06	2,08	2,08	2,05	2,07
	2	1,94	2,02	2,04	1,96	1,99
	3	1,94	2,01	2,07	2,07	2,02
	4	1,96	2,03	2,02	2,01	2,01
	5	2,01	2,03	2,11	2,09	2,06
	6	2,01	2,08	2,09	2,12	2,08
	7	2,12	2,19	2,08	1,98	2,09
Debelina plošče						14,31
C2	1	2,07	2,10	2,09	2,10	2,09
	2	2,01	2,07	2,12	2,07	2,07
	3	2,06	2,16	2,17	2,14	2,13
	4	2,07	2,11	2,11	2,11	2,10
	5	2,09	2,15	2,11	2,11	2,12
	6	2,14	2,10	2,10	2,05	2,10
	7	2,07	2,14	2,11	2,10	2,11
Debelina plošče						14,71
C3	1	2,12	2,08	2,12	2,14	2,12
	2	2,10	2,08	2,17	2,08	2,11
	3	2,14	2,09	2,15	2,17	2,14
	4	2,07	1,97	1,96	2,08	2,02
	5	2,10	2,19	2,17	2,11	2,14
	6	2,11	2,10	2,10	2,12	2,11
	7	2,00	2,06	2,10	2,12	2,07
Debelina plošče						14,70
C4	1	2,02	2,08	2,04	2,11	2,06
	2	2,04	2,00	2,00	2,12	2,04
	3	2,01	2,09	2,05	2,04	2,05
	4	2,11	2,05	2,06	2,09	2,08
	5	2,08	2,16	2,05	2,13	2,11
	6	2,06	2,01	2,03	1,93	2,01
	7	2,15	2,10	2,18	2,18	2,15
Debelina plošče						14,49
C5	1	2,09	2,12	2,14	2,13	2,12
	2	2,16	2,03	2,14	2,02	2,09
	3	2,02	2,04	2,04	2,05	2,04
	4	2,07	2,12	2,09	2,04	2,08
	5	2,00	2,00	2,13	2,11	2,06
	6	2,11	2,16	2,17	2,16	2,15
	7	2,11	2,07	2,12	2,12	2,11
Debelina plošče						14,64

se nadaljuje -

- nadaljevanje

Preizkušane	Zap. št.	Debelina 1 [mm]	Debelina 2 [mm]	Debelina 3 [mm]	Debelina 4 [mm]	Povprečje [mm]
D1	1	2,00	2,06	2,05	2,08	2,05
	2	2,06	1,98	1,97	2,05	2,02
	3	2,00	2,12	2,07	2,12	2,08
	4	2,06	2,00	1,96	2,01	2,01
	5	2,18	2,18	2,09	2,13	2,15
	6	2,06	2,00	2,00	2,05	2,03
	7	2,10	2,07	2,07	2,06	2,08
Debelina plošče						14,40
D2	1	2,00	2,12	2,14	2,07	2,08
	2	2,15	2,15	2,06	2,17	2,13
	3	2,16	2,14	2,09	2,12	2,13
	4	2,11	2,11	2,17	2,13	2,13
	5	2,08	2,07	2,16	2,14	2,11
	6	2,06	2,00	2,00	2,08	2,04
	7	2,05	2,03	2,03	2,00	2,03
Debelina plošče						14,65
D3	1	2,00	2,00	2,07	2,06	2,03
	2	2,05	2,01	1,96	2,00	2,01
	3	2,03	2,08	2,09	1,98	2,05
	4	2,13	2,14	2,10	2,02	2,10
	5	2,08	2,15	2,02	2,08	2,08
	6	2,06	2,01	2,02	2,00	2,02
	7	2,00	2,00	2,02	2,04	2,02
Debelina plošče						14,30
D4	1	2,01	2,09	2,07	2,01	2,05
	2	2,00	2,10	2,04	2,00	2,04
	3	2,10	2,03	2,01	2,07	2,05
	4	2,04	2,00	2,02	2,00	2,02
	5	2,03	2,01	1,95	1,97	1,99
	6	2,16	2,10	2,12	2,17	2,14
	7	2,00	2,00	2,00	2,06	2,02
Debelina plošče						14,29
D5	1	2,10	2,07	2,19	2,12	2,12
	2	2,11	2,10	2,10	2,17	2,12
	3	2,09	2,01	1,94	2,06	2,03
	4	2,04	2,11	2,00	2,03	2,05
	5	2,00	2,00	2,06	2,08	2,04
	6	2,16	2,10	2,10	2,12	2,12
	7	2,15	2,18	2,09	2,04	2,12
Debelina plošče						14,58

Priloga B: Gostota in vlažnost furnirnih vezanih plošč

Preizkušanelec	Zap. Št.	Dolžina [mm]	Širina [mm]	Debelina [mm]	Masa _u [g]	Masa _o [g]	Gostota [kg/m ³]	Vlažnost [%]
A1	1	49,95	50,18	13,61	26,35	23,96	772,425	9,97
	2	50,00	50,26	13,62	26,10	23,75	762,555	9,89
	3	50,02	50,16	13,59	25,80	23,50	756,657	9,79
	4	50,05	50,18	13,55	25,74	23,41	756,370	9,95
	5	50,22	50,05	13,53	25,84	23,50	759,826	9,96
	6	50,20	49,92	13,58	25,86	23,53	759,890	9,90
Povprečje							761,287	9,91
A2	1	50,16	49,92	13,55	26,60	24,25	783,989	9,69
	2	50,21	49,98	13,51	26,81	24,45	790,779	9,65
	3	50,13	50,04	13,54	26,59	24,25	782,861	9,65
	4	50,04	50,03	13,51	26,10	23,76	771,680	9,85
	5	50,15	50,00	13,31	26,43	23,91	791,914	10,54
	6	50,07	50,03	13,56	26,22	23,91	771,907	9,66
Povprečje							782,188	9,84
A3	1	50,33	49,96	13,24	25,58	23,33	768,357	9,64
	2	50,14	50,00	13,23	26,07	23,71	786,008	9,95
	3	50,03	49,97	13,20	25,45	23,18	771,212	9,79
	4	50,22	50,01	13,23	26,19	23,88	788,210	9,67
	5	50,18	49,98	13,22	26,12	23,80	787,798	9,75
	6	50,18	50,00	13,22	26,13	23,79	787,784	9,84
Povprečje							781,562	9,77
A4	1	50,21	49,98	13,36	26,15	23,73	779,972	10,20
	2	50,05	49,97	13,36	26,46	24,01	791,899	10,20
	3	50,18	49,95	13,35	25,66	23,26	766,848	10,32
	4	50,16	49,96	13,38	26,03	23,59	776,315	10,34
	5	50,20	49,96	13,39	26,73	24,24	795,962	10,27
	6	50,18	49,98	13,42	25,53	23,16	758,528	10,23
Povprečje							778,254	10,26
A5	1	50,14	50,00	13,40	26,82	24,34	798,362	10,19
	2	50,06	49,80	13,43	26,61	24,16	794,783	10,14
	3	50,09	49,95	13,38	26,75	24,27	799,063	10,22
	4	50,17	49,97	13,43	26,34	23,92	782,323	10,12
	5	50,16	49,95	13,45	26,02	23,64	772,133	10,07
	6	50,17	50,01	13,41	26,33	23,92	782,566	10,08
Povprečje							788,205	10,13

se nadaljuje -

- nadaljevanje

Preizkušavec	Zap. Št.	Dolžina [mm]	Širina [mm]	Debelina [mm]	Masa _n [g]	Masa _o [g]	Gostota [kg/m ³]	Vlačnost [%]
B1	1	50,20	50,02	14,00	26,25	23,60	746,713	11,23
	2	50,18	49,96	14,00	26,10	23,43	743,634	11,40
	3	50,13	49,99	13,97	26,11	23,46	745,812	11,30
	4	50,02	49,71	13,87	26,21	23,56	759,982	11,25
	5	50,12	49,97	13,87	26,82	24,07	772,079	11,43
	6	50,09	50,16	13,94	26,24	23,57	749,191	11,33
Povprečje							752,902	11,32
B2	1	50,12	49,96	13,64	26,38	23,73	772,373	11,17
	2	50,14	49,94	13,61	26,64	23,97	781,706	11,14
	3	50,17	50,06	13,62	26,43	23,81	772,654	11,00
	4	50,14	50,02	13,57	26,51	23,86	778,936	11,11
	5	50,17	50,06	13,56	27,13	24,39	796,627	11,23
	6	50,14	50,07	13,64	26,47	23,84	772,997	11,03
Povprečje							779,215	11,11
B3	1	50,20	50,17	13,89	25,96	23,34	742,087	11,23
	2	50,06	49,96	13,88	26,38	23,70	759,927	11,31
	3	50,13	49,99	13,88	26,00	23,35	747,486	11,35
	4	50,17	50,06	13,94	26,00	23,39	742,635	11,16
	5	50,23	50,07	13,93	26,28	23,61	750,125	11,31
	6	50,15	50,06	13,82	26,37	23,67	760,047	11,41
Povprečje							750,384	11,29
B4	1	50,18	50,00	13,94	27,30	24,59	780,547	11,02
	2	50,06	49,97	13,92	27,24	24,54	782,290	11,00
	3	50,17	49,98	13,94	26,96	24,26	771,288	11,13
	4	50,17	50,06	13,89	28,48	25,65	816,400	11,03
	5	50,19	50,06	13,81	28,39	25,52	818,208	11,25
	6	50,10	50,10	13,87	27,78	24,97	797,959	11,25
Povprečje							794,449	11,11
B5	1	50,13	49,96	13,83	26,47	23,80	764,208	11,22
	2	50,12	49,98	13,83	26,80	24,10	773,580	11,20
	3	50,19	50,02	13,83	26,52	23,84	763,819	11,24
	4	50,14	50,05	13,76	26,61	23,91	770,616	11,29
	5	50,18	50,05	13,78	25,95	23,36	749,814	11,09
	6	50,17	50,02	13,80	25,83	23,26	745,860	11,05
Povprečje							761,316	11,18

se nadaljuje -

- nadaljevanje

Preizkušaneec	Zap. Št.	Dolžina [mm]	Širina [mm]	Debelina [mm]	Masa _n [g]	Masa _o [g]	Gostota [kg/m ³]	Vlažnost [%]
C1	1	50,16	49,87	13,72	26,89	24,20	783,501	11,12
	2	50,14	50,13	13,73	26,98	24,26	781,789	11,21
	3	50,17	49,95	13,64	27,17	24,38	794,869	11,44
	4	49,98	50,01	13,73	27,98	25,08	815,312	11,56
	5	50,03	50,04	13,77	27,15	24,41	787,568	11,22
	6	50,15	50,05	13,76	26,81	24,12	776,253	11,15
Povprečje							789,882	11,31
C2	1	50,16	49,96	14,35	27,58	24,77	766,942	11,34
	2	50,16	49,88	14,39	27,77	24,98	771,314	11,17
	3	50,10	49,98	14,36	27,95	25,10	777,308	11,35
	4	50,13	50,05	14,28	28,47	25,53	794,616	11,52
	5	50,14	50,03	14,29	28,42	25,48	792,824	11,54
	6	50,14	50,03	14,27	28,16	25,25	786,672	11,52
Povprečje							781,613	11,41
C3	1	50,15	49,96	14,24	27,76	24,94	778,065	11,31
	2	50,12	49,94	14,24	28,40	25,52	796,799	11,29
	3	50,14	49,79	14,18	27,21	24,53	768,645	10,93
	4	50,17	50,09	14,13	27,30	24,57	768,821	11,11
	5	50,11	50,09	14,18	27,89	25,13	783,604	10,98
	6	50,13	50,13	14,11	27,93	25,13	787,678	11,14
Povprečje							780,602	11,13
C4	1	50,08	50,04	14,03	27,57	24,79	784,147	11,21
	2	50,15	50,01	14,01	27,71	24,90	788,625	11,29
	3	50,17	50,19	14,04	27,52	24,73	778,431	11,28
	4	50,13	50,12	14,01	27,89	25,09	792,322	11,16
	5	50,09	50,08	13,94	27,58	24,73	788,708	11,52
	6	50,18	50,05	13,99	28,37	25,53	807,434	11,12
Povprečje							789,944	11,26
C5	1	50,16	50,01	14,17	27,35	24,56	769,437	11,36
	2	50,15	49,99	14,17	27,28	24,49	767,928	11,39
	3	50,24	49,97	14,16	26,95	24,23	758,118	11,23
	4	50,14	49,99	14,17	26,86	24,14	756,256	11,27
	5	50,17	50,13	14,16	27,28	24,52	766,019	11,26
	6	50,06	50,05	13,99	27,68	24,80	789,684	11,61
Povprečje							767,907	11,35

se nadaljuje -

- nadaljevanje

Preizkušane	Zap. Št.	Dolžina [mm]	Širina [mm]	Debelina [mm]	Masa _u [g]	Masa _o [g]	Gostota [kg/m ³]	Vlažnost [%]
D1	1	50,16	49,96	14,01	27,52	24,79	783,845	11,01
	2	50,02	49,95	13,95	27,81	25,00	797,898	11,24
	3	50,17	49,96	13,97	27,83	25,03	794,786	11,19
	4	49,99	49,90	13,96	27,81	24,95	798,605	11,46
	5	50,05	49,69	13,97	27,72	24,94	797,855	11,15
	6	50,11	50,18	14,01	27,55	24,81	782,039	11,04
Povprečje							792,505	11,18
D2	1	50,07	49,77	14,30	27,90	25,10	782,930	11,16
	2	50,10	49,90	14,29	28,05	25,25	785,168	11,09
	3	50,04	49,70	14,30	27,59	24,81	775,786	11,21
	4	50,14	50,10	14,18	28,21	25,37	791,963	11,19
	5	50,04	50,05	14,15	28,23	25,37	796,587	11,27
	6	50,02	50,01	14,15	27,98	25,14	790,480	11,30
Povprečje							787,152	11,20
D3	1	50,00	49,95	13,79	26,54	23,90	770,604	11,05
	2	50,13	49,87	13,78	26,08	23,48	757,044	11,07
	3	50,13	50,04	13,77	26,01	23,41	752,994	11,11
	4	50,10	50,00	13,61	26,95	24,22	790,484	11,27
	5	50,04	49,98	13,60	26,84	24,11	789,096	11,32
	6	50,03	50,09	13,62	26,26	23,60	769,371	11,27
Povprečje							771,599	11,18
D4	1	50,05	49,98	13,72	26,88	24,23	783,204	10,94
	2	50,14	49,99	13,77	27,01	24,35	782,570	10,92
	3	50,09	49,84	13,73	26,51	23,89	773,411	10,97
	4	50,09	50,10	13,78	27,35	24,60	790,896	11,18
	5	50,18	50,13	13,75	26,09	23,52	754,298	10,93
	6	50,02	50,06	13,74	27,13	24,39	788,549	11,23
Povprečje							778,821	10,99
D5	1	49,97	50,11	14,09	27,91	25,10	791,070	11,20
	2	50,00	50,12	14,13	27,97	25,15	789,895	11,21
	3	50,18	50,03	14,13	28,16	25,36	793,833	11,04
	4	50,10	50,05	14,02	27,87	25,04	792,770	11,30
	5	50,06	50,03	14,09	27,33	24,57	774,475	11,23
	6	50,08	50,06	14,04	27,69	24,89	786,685	11,25
Povprečje							788,121	11,21

Priloga C: Upogibna trdnost furnirnih vezanih plošč v vzdolžni in prečni smeri

Preizkušanelec	Zap. št.	t [mm]	b ₂ [mm]	F _{max} [N]	f _m [N/mm ²]	E-Modul [N/mm ²]
A Vzdolžna smer (0)	1	13,51	50,12	2018	92,67	10058
	2	13,48	50,08	1998	92,23	10212
	3	13,63	49,94	2038	92,24	10230
	4	13,48	50,01	1886	87,18	9063
	5	13,48	50,00	1927	89,09	9606
	6	13,49	49,95	1997	92,29	9740
	7	13,21	49,93	1981	95,50	10517
	8	13,21	50,05	1946	93,60	10209
	9	13,22	50,04	1875	90,04	10338
	10	13,39	49,97	2025	94,93	10411
	11	13,40	49,91	2071	97,08	10640
	12	13,43	50,04	1904	88,61	10145
	13	13,35	49,97	2178	102,71	11219
	14	13,32	50,15	2113	99,72	11026
	15	13,33	49,98	2122	100,34	11207
Povprečje					93,88	10308,07

Preizkušanelec	Zap. št.	t [mm]	b ₂ [mm]	F _{max} [N]	f _m [N/mm ²]	E-Modul [N/mm ²]
A Prečna smer (90)	1	13,67	49,94	1342	60,41	4548
	2	13,65	50,00	1296	58,44	4586
	3	13,62	49,85	1338	60,79	4686
	4	13,58	49,91	1292	58,96	5038
	5	13,54	49,93	1390	63,77	5163
	6	13,55	49,95	1278	58,52	5078
	7	13,28	49,93	1381	65,89	5175
	8	13,32	49,93	1279	60,65	4882
	9	13,24	49,94	1307	62,71	4988
	10	13,46	49,91	1381	64,12	4801
	11	13,41	49,94	1380	64,54	5002
	12	13,41	49,95	1311	61,28	4684
	13	13,44	49,91	1141	53,18	4655
	14	13,44	49,93	1282	59,69	4965
	15	13,48	49,98	1235	57,10	4867
Povprečje					60,67	4874,53

se nadaljuje -

- nadaljevanje

Preizkušaneec	Zap. št.	t [mm]	b ₂ [mm]	F _{max} [N]	f _m [N/mm ²]	E-Modul [N/mm ²]
B Vzdolžna smer (0)	1	14,01	49,89	2330	99,95	9908
	2	13,99	50,05	2303	98,73	9736
	3	14,01	49,99	2200	94,15	9831
	4	13,61	49,98	2192	99,45	9784
	5	13,61	50,05	2085	94,48	9636
	6	13,86	50,06	2268	99,08	9339
	7	13,90	50,03	1871	81,30	9722
	8	13,86	50,06	2157	94,19	10518
	9	13,88	50,08	1970	85,77	10149
	10	13,91	49,97	2329	101,18	10642
	11	13,88	49,97	2399	104,65	11049
	12	13,91	50,15	2387	103,31	10859
	13	13,84	50,11	1831	80,14	9720
	14	13,80	50,00	1680	74,12	9216
	15	13,77	50,01	1577	69,84	9431
Povprečje					92,02	9969,33

Preizkušaneec	Zap. št.	t [mm]	b ₂ [mm]	F _{max} [N]	f _m [N/mm ²]	E-Modul [N/mm ²]
B Prečna smer (90)	1	14,08	49,88	1079	45,82	4308
	2	14,03	49,86	1136	48,63	4452
	3	14,05	49,94	1104	47,03	4284
	4	13,66	49,95	1216	54,78	4776
	5	13,64	49,96	1204	54,42	4757
	6	13,68	49,97	1254	56,30	4985
	7	13,93	49,97	1100	47,64	4259
	8	13,94	49,94	1104	47,80	4146
	9	13,99	49,94	1132	48,66	4244
	10	13,92	49,97	1189	51,59	4763
	11	13,90	49,94	1280	55,70	4755
	12	13,91	49,96	1218	52,91	4883
	13	13,77	49,99	1241	54,97	4901
	14	13,83	49,96	1254	55,12	4861
	15	13,83	49,96	1252	55,03	4783
Povprečje					51,76	4610,47

se nadaljuje -

- nadaljevanje

Preizkušaneec	Zap. št.	t [mm]	b ₂ [mm]	F _{max} [N]	f _m [N/mm ²]	E-Modul [N/mm ²]
C Vzdolžna smer (0)	1	13,79	50,00	2408	106,35	10857
	2	13,78	49,98	2558	113,22	11145
	3	13,71	49,97	2439	109,08	10698
	4	14,34	49,99	2510	102,56	10138
	5	14,36	50,00	2545	103,67	10426
	6	14,36	49,95	2624	106,99	10283
	7	14,09	50,00	2147	90,82	10116
	8	14,09	49,97	2613	110,61	10758
	9	14,09	49,99	2284	96,65	10370
	10	13,97	49,98	2460	105,93	10754
	11	13,98	50,00	2493	107,15	10345
	12	14,06	49,94	2544	110,09	10986
	13	14,09	49,97	2255	95,46	10307
	14	14,06	49,94	2477	105,36	10832
	15	14,10	49,98	2334	98,65	10509
Povprečje					104,17	10568,27

Preizkušaneec	Zap. št.	t [mm]	b ₂ [mm]	F _{max} [N]	f _m [N/mm ²]	E-Modul [N/mm ²]
C Prečna smer (90)	1	13,70	49,87	1291	57,93	4654
	2	13,68	49,94	1379	61,98	4959
	3	13,72	49,92	1308	58,45	4845
	4	13,35	49,94	1371	64,70	5587
	5	14,39	49,82	1359	55,32	4571
	6	14,38	49,96	1289	52,39	4498
	7	14,23	49,87	1584	65,89	4921
	8	14,22	49,90	1424	59,27	4783
	9	14,21	49,88	1516	63,22	4998
	10	13,99	49,91	1608	69,16	5086
	11	13,04	49,92	1409	69,74	5961
	12	13,05	49,89	1411	69,74	6142
	13	14,17	49,95	1301	54,50	4629
	14	14,20	49,92	1415	59,03	4591
	15	14,18	49,93	1371	57,37	4651
Povprečje					61,25	4991,73

se nadaljuje -

- nadaljevanje

Preizkušanec	Zap. št.	t [mm]	b ₂ [mm]	F _{max} [N]	f _m [N/mm ²]	E-Modul [N/mm ²]
D Vzdolžna smer (0)	1	14,03	49,99	2525	107,76	10704
	2	14,07	49,84	2545	108,31	10557
	3	14,04	50,03	2563	109,17	10526
	4	14,25	50,10	2492	102,88	10441
	5	14,27	50,03	2433	100,29	10458
	6	14,26	50,06	2352	97,03	10062
	7	13,73	50,00	1958	87,26	9967
	8	13,72	50,11	1947	86,71	9771
	9	13,76	50,13	2030	89,81	9639
	10	13,84	50,02	2498	109,52	10632
	11	13,87	50,03	2473	107,93	10283
	12	13,79	50,03	2410	106,38	10611
	13	14,13	50,02	2513	105,68	10155
	14	14,13	50,04	2493	104,79	10230
	15	14,15	50,04	2480	103,95	10109
Povprečje					101,83	10276,33

Preizkušanec	Zap. št.	t [mm]	b ₂ [mm]	F _{max} [N]	f _m [N/mm ²]	E-Modul [N/mm ²]
D Prečna smer (90)	1	14,04	49,93	1374	58,65	4521
	2	14,15	49,96	1425	59,81	4389
	3	14,16	49,96	1401	58,72	4317
	4	14,30	49,79	1350	55,70	4707
	5	14,28	49,99	1142	47,04	4453
	6	14,32	49,82	1303	53,56	4611
	7	13,87	49,89	1125	49,23	4198
	8	13,79	49,92	1212	53,61	4308
	9	13,76	49,99	1293	57,37	4333
	10	13,78	49,88	1191	52,81	4539
	11	13,80	49,98	1239	54,66	4502
	12	13,70	49,94	1358	60,86	4572
	13	14,20	49,91	1511	63,06	4843
	14	14,12	49,95	1652	69,66	5088
	15	14,19	49,96	1496	62,45	4899
Povprečje					57,15	4552,00