

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Danilo ŠČERNJAVIČ

LEPLJEN LES ZA KONSTRUKCIJSKE NAMENE

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

GLUED WOOD FOR CONSTRUCTION PURPOSES

GRADUATION THESIS

Higher professional studies

Ljubljana, 2008

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za žagarstvo in lesna tvoriva na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete je za mentorja visokošolske strokovne diplomske naloge imenoval izr.prof.dr. Milana Šerneka, za recenzenta pa prof.dr. Jožeta Resnika.

Mentor: izr.prof.dr. Milan Šernek

Recenzent: prof.dr. Jože Resnik

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Danilo ŠČERNJAVIČ

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 624.011
KG	les/kompoziti/lepljenje/mehanske lastnosti
AV	ŠČERNJAVIČ, Danilo
SA	ŠERNEK, Milan (mentor)/RESNIK, Jože (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2008
IN	LEPLJEN LES ZA KONSTRUKCIJSKE NAMENE
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	X, 67 str., 8 pregl., 55 sl., 3 pril., 24. vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Raziskovali smo mehanske lastnosti različnih lesnih vrst in iz njih izdelanih kompozitov, ter možnost njihove uporabe v konstrukcijske namene. Uporabili smo 2 vrsti lepila in lesne vrste: bukev, smreko, macesen, lipo, brezo in jelšo. Lesove smo med sabo kombinirali v različne sestave lesnih kompozitov in jih nato lepili po vročem ali hladnem postopku. Iz teh lepljencev smo izdelali preskušance za ugotavljanje mehanskih lastnosti, vlažnosti in gostote. Po lepljenju smo izmerili in izračunali tudi izgubo debeline. Preizkus mehanskih lastnosti smo izvajali s pomočjo univerzalnega testirnega stroja Zwick Z100 po standardu SIST EN 310. Gostoto smo merili po standardu SIST EN 323, vlažnost pa po standardu SIST EN 322. Ugotovili smo, da so mehanske lastnosti lesnih kompozitov boljše kot mehanske lastnosti samega masivnega lesa. Prav tako pa imajo lesni kompoziti, zlepljeni po vročem postopku, boljše mehanske lastnosti od lesnih kompozitov, zlepljenih po hladnem postopku. Pri merjenju vlažnosti smo ugotovili, da ni bilo bistvenih razlik med masivnim lesom in lesnimi kompoziti. Ugotovili smo tudi, da z lepljenjem lesa povečamo gostoto preskušancev. Lesni kompoziti, zlepljeni po vročem postopku, so imeli največjo, masiven les pa najmanjšo, gostoto.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs
DC UDC 624.011
CX wood/composites/gluing/mechanical properties
AU ŠČERNJAVIČ, Danilo
AA ŠERNEK, Milan (supervisor)/RESNIK, Jože (reviewer)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2008
TI GLUED WOOD FOR CONSTRUCTION PURPOSES
DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO X, 67 p., 8 tab., 55 fig., 3 ann., 24. ref.
LA sl
AL sl/en
AB Mechanical properties of various wood species and glued composites, so as their applicability in construction purposes, were researched. Various test samples, prepared from different wood species (beech, pine, larch, lime, birch, alder), were glued in combinations using hot and cold gluing procedure. Combined samples were tested for mechanical properties, their moisture and density. After pressing, thickness loss was measured and calculated. Mechanical test was performed with Zwick Z100 machine according to standard SIST EN 310; density according to standard SIST EN 323, and moisture according to standard SIST EN 322 were also measured. It was discovered that glued wood has better mechanical properties than massive wood, and also that samples made by hot gluing have better mechanical properties than those made by cold gluing. By measuring moisture it was proved that there was no essential difference between glued and massive wood. By density calculation it was found out that by gluing different species of wood the density of samples increases. Wooden composites made by hot gluing have greater density than massive wood.

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	1
1.2 CILJ NALOGE	2
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	2
2 SPLOŠNI DEL	3
2.1 LES KOT GRADBENI MATERIAL	3
2.1.1 Gradnja z lesom v Sloveniji	3
2.2 LESNI KOMPOZITI	4
2.2.1 Razvoj lesnih kompozitov	4
2.2.2 Razdelitev lesnih kompozitov	5
2.2.2.1 Iverne plošče	6
2.2.2.2 Vlaknene plošče	7
2.2.2.3 Furnirne plošče	8
2.2.2.4 Mizarske (panelne) plošče	8
2.2.2.5 Opažne plošče	9
2.2.2.6 Debelinsko sestavljene plošče (sendvič plošče)	9
2.2.2.7 Lepljeni nosilci iz masivnega lesa oz. lamelirani lepljeni nosilci	10
2.2.2.8 Zgoščen slojnat les	12
2.2.2.9 I-nosilci	12
2.2.2.10 Slojnat furnirni les ali »Laminated Veneer Lumber« (LVL)	12
2.2.2.11 »Parallel Strand Lumber« (PSL)	14
2.2.2.12 »Laminated Strand Lumber« (LSL)	15
2.2.2.13 Lepljeni elementi za stavbno pohištvo	15
2.2.3 Lastnosti lesa in lesnih kompozitov	15
2.2.3.1 Mehanske in fizikalne lastnosti	16
2.2.3.2 Okoljevarstvene lastnosti	16
2.2.3.3 Požarne lastnosti	16
2.2.3.4 Trajnost	16
2.2.3.5 Cena	17
2.3 LEPLJENJE LESA	17
2.4 LEPILA	18
2.4.1 Razdelitev lepil	18
2.4.1.1 Razdelitev lepil glede na lastnost lepilnega filma	18
2.4.1.2 Razdelitev lepil glede na namen uporabe v lesni industriji	19
2.4.1.3 Razdelitev lepil glede na surovinsko osnovo	19
2.4.1.4 Razdelitev lepil glede na temperaturo (T) utrjevanja	20
2.4.1.5 Razdelitev lepil glede na način utrjevanja	20

2.4.1.6	Razdelitev lepil za les po SIST EN	20
2.4.2	Reakcije pri utrjevanju lepil	20
2.4.3	Teorije lepljenja	21
2.4.3.1	Mehanska teorija	22
2.4.3.2	Molekularna – adsorpcijska teorija	22
2.4.3.3	Električna teorija	22
2.4.3.4	Difuzijska teorija	22
2.4.3.5	Kemijska teorija	23
2.4.4	Zgradba lepilnega spoja	23
2.4.5	Oblikovanje lepilnega spoja	24
2.4.5.1	Nanos in tok lepila po lepilni ploskvi	24
2.4.5.2	Prenos lepila na nasprotno lepilno ploskev	24
2.4.5.3	Penetracija lepila v pore in vmesne prostore lesne površine	24
2.4.5.4	Omočitev površine lesnih celic	25
2.4.5.5	Utrditev lepila	26
2.4.6	Procesi utrjevanja lepil	26
2.4.6.1	Fizikalni način utrjevanja	26
2.4.6.2	Kemijski način utrjevanja	26
2.4.6.3	Kombinirano utrjevanje	27
2.4.7	Dejavniki, ki vplivajo na lepljenje	27
2.4.7.1	Dejavniki zgradbe lepila	28
2.4.7.2	Dejavniki lastnosti lesa	29
2.4.7.3	Dejavniki priprave lesa	30
2.4.7.4	Dejavniki uporabe lepila	30
2.4.7.5	Dejavniki geometrije površine lesa	30
2.4.7.6	Dejavniki uporabe izdelka	30
2.4.8	Opisi uporabljenih lesnih vrst in njihovih lastnosti	31
2.4.8.1	Črna jelša (<i>Alnus glutinosa</i>)	31
2.4.8.2	Evropski macesen (<i>Larix decidua</i>)	32
2.4.8.3	Lipa (<i>Tilia grandifolia</i>)	33
2.4.8.4	Navadna breza (<i>Betula pendula</i>)	34
2.4.8.5	Navadna bukev (<i>Fagus sylvatica</i> L.)	35
2.4.8.6	Navadna smreka (<i>Picea abies</i>)	37
3	MATERIAL IN METODE	39
3.1	UPORABLJENE LESNE VRSTE	39
3.2	UPORABLJENO LEPILO	39
3.2.1	Lastnosti lepila A	39
3.2.2	Lastnosti lepila B	40
3.3	ZASNOVA EKSPERIMENTA	40
3.3.1	Priprava preskušancev	40
3.3.2	Sestava lepljenja in merjenje debeline lamel	42
3.3.3	Lepljenje preskušancev	43
3.3.3.1	Določitev parametrov vročega lepljenja	44
3.3.3.2	Določitev parametrov hladnega lepljenja	44
3.3.4	Ugotavljanje in izračun izgube debeline po lepljenju	44
3.3.5	Ugotavljanje mehanskih lastnosti	45
3.3.6	Ugotavljanje vlažnosti	47
3.3.7	Ugotavljanje gostote lesnih vrst (SIST EN 323:1993)	47
4	REZULTATI	49
4.1	REZULTATI MERJENJA UPOGIBNE TRDNOSTI	49
4.2	REZULTATI MERJENJA MODULA ELASTIČNOSTI	51

4.3	REZULTATI MERJENJA IZGUBE DEBELINE.....	53
4.4	REZULTATI MERJENJA VLAŽNOSTI.....	55
4.5	REZULTATI MERJENJA GOSTOTE LESNIH VRST.....	57
5	RAZPRAVA.....	59
6	SKLEP	63
7	POVZETEK	64
8	VIRI	66
	ZAHVALA	
	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Nekater lastnosti uporabljenih drevesnih vrst	39
Preglednica 2: Lastnosti lepila A	40
Preglednica 3: Lastnosti lepila B	40
Preglednica 4: Osnovna statistika rezultatov merjenja upogibne trdnosti (N/mm^2)	49
Preglednica 5: Osnovna statistika rezultatov merjenja modula elastičnosti (N/mm^2)	51
Preglednica 6: Osnovna statistika rezultatov izračuna izgube debeline (%)	53
Preglednica 7: Osnovna statistika rezultatov merjenja vlage (%)	55
Preglednica 8: Osnovna statistika rezultatov merjenja gostote (kg/m^3)	57

KAZALO SLIK

Slika 1: Poraščenost Slovenije z gozdovi	4
Slika 2: Shema razdelitve lesnih kompozitov	5
Slika 3: Različne vrste ivernih plošč	6
Slika 4: Izgled OSB plošče in sestava OSB plošče	7
Slika 5: Vlaknena plošča srednje gostote (MDF)	7
Slika 6: Različne vrste furnirnih vezanih plošč	8
Slika 7: Sestava sredice za mizarske plošče	8
Slika 8: Izgled opažne plošče	9
Slika 9: Sestava sendvič plošče	9
Slika 10: Primer lameliranega lepljenega nosilca	10
Slika 11: Prikaz vzdolžnega spajanja lamel	10
Slika 12: Lepljenje nosilca	11
Slika 13: Shematski prikaz proizvodnje lepljenega lameliranega lesa po kontinuiranem postopku	11
Slika 14: Sestava I-nosilca iz LVL-a in OSB plošče ter prikaz uporabe pri gradnji stropa	12
Slika 15: Načini dolžinskega spajanja furnirja pri proizvodnji LVL-a	13
Slika 16: Sestava LVL-a in možnosti uporabe	14
Slika 17: Izgled PSL kompozita	14
Slika 18: Mikroskopski izgled lepilnega spoja	17
Slika 19: Razdelitev lepil glede na lastnost filma	18
Slika 20: Razdelitev lepil glede na namen uporabe v lesni ind.	19
Slika 21: Razdelitev lepil glede na surovinsko osnovo	19
Slika 22: Razdelitev lepil glede na temperaturo (T) utrjevanja	20
Slika 23: Razdelitev lepil glede na način utrjevanja	20
Slika 24: Zgradba lepilnega spoja	23
Slika 25: Kontaktni kot in omočitev	25
Slika 26: Razdelitev dejavnikov, ki vplivajo na lepljenje	28
Slika 27: Areal črne jelše	31
Slika 28: Areal Evropskega macesna	32
Slika 29: Areal lipe	33
Slika 30: Areal navadne breze	34
Slika 31: Areal navadne bukve	35
Slika 32: Areal navadne smreke	37
Slika 33: Pripravljeni vzorci lesa dimenzij 550 x 55 x 30 mm	41
Slika 34: Prikaz klimatiziranja lesa v komori pred razžagovanjem na lamele	41
Slika 35: Izdelava lamel dimenzij 550 x 50 x 4 mm za lepljenje	41
Slika 36: Klima komora za kondicioniranje lesa v normalnih pogojih ($T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, RZV = 65 %)	42
Slika 37: Kontaktni brusilni stroj za brušenje lamel pred lepljenjem	42
Slika 38: Sestava lepljencev iz lamel različnih lesnih vrst	43
Slika 39: Enotažna visokotemperaturna stiskalnica za lepljenje	43
Slika 40: Enotažna stiskalnica za hladno lepljenje	44
Slika 41: Preskušanci iz masivnega lesa	45
Slika 42: Naprava za testiranje mehanskih lastnosti Zwick Z100	45
Slika 43: Shema testa za preizkus mehanskih lastnosti	46
Slika 44: Sušenje preskušancev v laboratorijskem sušilniku	47
Slika 45: Merjenje dimenzij preskušancev za ugotavljanje gostote	47
Slika 46: Povprečna upogibna trdnost masivnega lesa in lepljencev	50
Slika 47: Povprečni modul elastičnosti masivnega lesa in lepljencev	52
Slika 48: Povprečna izguba debeline lepljencev glede na način lepljenja	54
Slika 49: Povprečna vlažnost masivnega lesa in lepljencev	56
Slika 50: Povprečna gostota drevesnih vrst in lepljencev	58
Slika 51: Upogibna trdnost preskušancev v odvisnosti od gostote	59
Slika 52: Modul elastičnosti preskušancev v odvisnosti od gostote	59
Slika 53: Primerjava upogibne trdnosti preskušancev z upogibno trdnostjo masivnega lesa smreke	60
Slika 54: Primerjava upogibne trdnosti preskušancev z upogibno trdnostjo masivnega lesa bukve	60
Slika 55: Primerjava izgube debeline preskušancev glede na gostoto in način lepljenja	61

KAZALO PRILOG

Priloga A

Priloga B

Priloga C

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Gradbeništvo je ena najstarejših gospodarskih panog in iz njega izvirajoča dela so povezana z gradnjo raznoraznih konstrukcij kot so: človekova bivališča, gospodarski objekti (kozolci), prometni objekti (mostovi, ceste) ter plovila. Pri izgradnji najrazličnejših konstrukcij se v svetu uporabljajo razni materiali kot so keramika (kamen, opeka, steklo), polimeri (les, polistiren), kovine in kompoziti (beton, penobeton, lepljena lesna tvoriva). Ti materiali se med sabo razlikujejo predvsem po izvoru, kemijski sestavi, mehanskih in fizikalnih lastnostih ter videzu. Vsak od materialov pa ima svoje prednosti in slabosti glede na drug material.

Poleg gline in kamna je les eden najpomembnejših in najstarejših naravnih materialov, ki se že tisočletja intenzivno uporablja in to predvsem v konstrukcijske namene pri gradnji objektov. Sprva je bila uporaba lesa predvsem posledica njegove dostopnosti, v časih, ko še ni bilo tako široke izbire umetnih materialov za gradnjo. Danes je les v gradnji cenjen predvsem zaradi njegovih pozitivnih lastnosti na objekte in bivanje v njem. Glede na ostale materiale ima predvsem to prednost, da je naraven in obnovljiv vir.

Poleg dobrih lastnosti pa ima les, tako kot vsi drugi materiali, tudi slabe lastnosti kot so: nehomogena zgradba, higroskopskost, dimenzijska nestabilnost, itd. Zato so se s pomočjo znanj o masivnem lesu, z razvojem novih tehnologij in predvsem z razvojem sintetičnih lepil postopoma začeli razvijati lesni kompoziti. Tako se danes pri gradnji uporabljajo najrazličnejši proizvodi od žaganega lesa, lepljenih nosilcev, vlaknenih, ivernih in OSB plošč, do sodobnih konstrukcijskih elementov kot so LVL, PSL in LSL. Po nekaterih ocenah predstavlja danes delež lepljenega lesa v celotni količini predelanega lesa že več kot 50 % (Šega, 2003).

Ko govorimo o lepljenju lesa, se srečamo z več področji znanosti: fiziko, kemijo, mehaniko, reologijo, fizikalno kemijo, kemijo polimernih materialov ter lesno anatomijo. Če hočemo razumeti proces lepljenja in izdelati kvaliteten lesni kompozit, moramo nujno povezati vsa najnovejša dognanja različnih področij znanosti. Pri procesu lepljenja gre za vezanje materialov z lepilom. Delež lepila v lepljencih je majhen, zato so lahko lastnosti materiala, ki ga lepimo tiste, ki imajo prevladujoč vpliv na lastnosti lepilnega spoja. Če se lastnosti lesa spreminjajo (majhna sprememba vlažnosti ali usmerjenosti vlaken ali pa rahla sprememba pH), lahko nastane spoj, ki ima povsem drugačne lastnosti. Vemo, da so lastnosti lesa zelo variabilne.

Razlogi za lepljenje lesa so različni, predvsem pa so to: omejenost masivnega lesa v dimenzijah, izboljšanje izkoristka lesa, izboljšanje mehanskih lastnosti lesa, povečanje dimenzijske stabilnosti lesa, večja možnost konstrukcijskih povezav, oplemenitenje lesa, oblikovanja lesa oz. izdelka, zaščita lesa, povečanje obsega uporabnosti lesa in povečanje ekonomske vrednosti lesa.

Danes je lepljenje lesa še vedno v razvoju in v obdobju intenzivnih raziskav, ki se odražajo v razvoju novih lepil, v uporabi novih postopkov lepljenja in v izdelavi novih lesnih kompozitov. Istočasno so v razvoju tudi novi lesni proizvodi, ki imajo točno definirane lastnosti in točno določen namen uporabe. Težnja proizvajalcev takih proizvodov je, da bi z različnimi postopki lepljenja lesa slabše kvalitete lahko proizvajali visoko kakovostne inženirske lesne kompozite, ki bi na trgu imeli večjo uporabno in tržno vrednost. Težišče pri razvoju, izdelavi in uporabi novih lesnih kompozitov mora biti usmerjeno tako na samo tehnologijo lepljenja, na lastnosti lepila in lepljencev, ter predvsem na študijo uporabe in prodaje ustreznih lesnih kompozitov na določeno tržišče.

1.2 CILJ NALOGE

V raziskavi smo uporabili gospodarsko manj pomembne lesne vrste ter les bukve in smreke in jih z različnimi kombinacijami zlepili v lesni kompozit z namenom, da jim spremenimo fizikalne in mehanske lastnosti. Lepili smo po hladnem in vročem postopku z dvema vrstama lepil. Po lepljenju smo ugotavljali izgubo debeline, gostoto, vlažnost in mehanske lastnosti lesnih kompozitov. Na osnovi ugotovljenih lastnosti smo naredili analize in definirali možnost uporabe takega proizvoda v konstrukcijske namene. Primerjali pa smo tudi razliko med lepljenci, ki so bili zlepljeni po hladnim postopku in lepljenci, ki so bili zlepljeni po vročem postopku.

Glavni cilj diplomske naloge je bil razvoj novega lesnega kompozita, ki bo namenjen za konstrukcijske namene. Konkretni cilji diplomske naloge so bili:

- proučiti mehanske lastnosti masivnega lesa gospodarsko manj pomembnih lesnih vrst in jih primerjati med sabo in z masivnim lesom bukve,
- proučiti mehanske lastnosti lesnih kompozitov in jih primerjati med sabo in z masivnim lesom,
- proučiti mehanske lastnosti lesnih kompozitov in jih primerjati glede na način lepljenja (hladno in vroče),
- primerjati izgubo mase po lepljenju glede na lesni kompozit in na način lepljenja.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Predvidevamo, da lahko s postopkom lepljenja lesa izboljšamo njegove fizikalne in mehanske lastnosti. Trdnost lepljenih proizvodov lahko v osnovi spremenimo s spreminjanjem gostote lesa, z deležem in vrsto dodanega lepila in z usmerjanjem osnovnih gradnikov lesnega kompozita. Predvidevamo, da hladno lepljenje manj vpliva na izgubo debeline kot vroče lepljenje.

2 SPLOŠNI DEL

2.1 LES KOT GRADBENI MATERIAL

Drevesa so najstarejši in največji živi organizmi na svetu. Med najstarejše rastline na zemlji sodijo bori stari tudi več kot 4000 let, največja drevesa pa so sekvoje, ki lahko dosežejo višino več kot 100 m. Vse to nam pove, da je les poleg gline in kamna najstarejši in eden najpomembnejših naravnih materialov, ki se že tisočletja intenzivno uporablja in to predvsem v konstrukcijske namene pri gradnji objektov. V preteklosti se je les uporabljal tako za premostitvene objekte kot za stavbe, njegova uporaba v visoki gradnji pa je bila omejena predvsem na upogibne elemente (stropove, ostrešja, preklade). Pri tem so uporabljali različne vrste lesa, pač glede na geografsko območje, gozdni sestav in tudi glede na gmotne zmožnosti graditeljev. Posebej dobro so poznali zgradbo lesa in različne lesne zveze.

Sprva je bila uporaba lesa predvsem posledica njegove dostopnosti, v časih, ko še ni bilo tako široke izbire umetnih materialov za gradnjo. Danes je les v gradnji cenjen predvsem zaradi njegovih pozitivnih lastnosti.

Les je vsestransko uporaben material in je nepogrešljiv tako v gradbeništvu, kot v pohištveni industriji. Les je predvsem naraven, človeku in okolju prijazen, elastičen, žilav, trden in edini naravno obnovljivi material. Temperaturne razlike mu ne škodujejo, je odličen regulator zračne vlage in je trajen tudi v zahtevnih klimatskih okoljih. Pri gradnji je cenjen predvsem zaradi ugodnih mehanskih lastnosti, njegovih pozitivnih lastnosti na objekt in bivanje v njem. Je namreč eden najbolj zdravih gradbenih materialov. Njegove pozitivne lastnosti, kot so, uravnavanje vlage, čiščenje zraka, odsotnost elektrostaticnega naboja, sorazmerno dobra izolativnost, prijetnost na dotik in številne druge, mu dajejo dragocenost in zagotavljajo njegovo uporabnost v gradnji tudi v prihodnje.

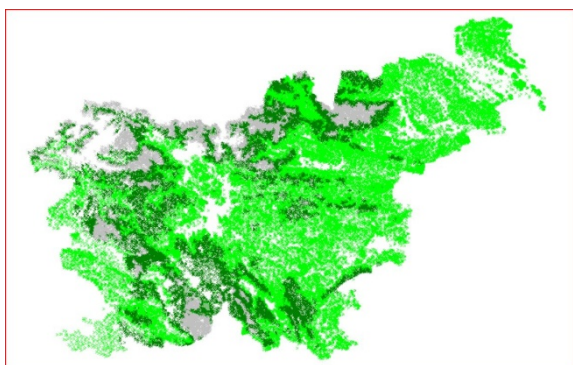
Zaradi dobrih fizikalnih, mehanskih in estetskih lastnosti je les človeku skozi zgodovino predstavljal material za najrazličnejšo uporabo: za kurjavo, za izdelavo orodja, pohištva in transportnih sredstev ter za gradnjo.

Les ima številne prednosti pred drugimi materiali. Glede na lastno maso ima nekajkrat večjo nosilnost kot jeklo in poseduje najboljše razmerje med toplotno izolacijo in ohranjanjem toplote, ter tako znatno vpliva na zmanjšanje stroškov ogrevanja stavb. Bivanje in počutje v leseni hiši je prijetno, saj lesena površina ob dotiku daje prijeten topel občutek, prostor napolnjuje s prijetnim vonjem in regulira vlažnost zraka. Način lesene gradnje omogoča visoko stopnjo predizdelave in s tem kratko montažo objekta (Šernek, 2006).

2.1.1 Gradnja z lesom v Sloveniji

V Sloveniji imamo lesa v izobilju – po relativni pokritosti naše dežele z gozdovi, ki znaša več kot 60 % (slika 1), se uvrščamo v sam vrh med državami EU, takoj za Finsko. Izkoriščamo pa le 40 % letnega prirastka, zato se zaloga lesa iz leta v leto kopiči in je leta 2004 znašala 293,5 mil m³ (Statistični letopis Republike Slovenije 2005). S tehnološkega

vidika učinkovito uporabljamo to razpoložljivo, naravno in obnovljivo surovino le v pohištveni industriji in za proizvodnjo nekaterih lesnih kompozitov. Situacija pa je popolnoma drugačna na področju gradnje z lesom in to kljub temu, da je les eden izmed prvih in osnovnih gradbenih materialov, ki je spremljal razvoj civilizacije. V Sloveniji je bilo leta 2003 zgrajenih 3.758 stanovanjskih objektov, od tega pa le 74 objektov, kjer je bil kot gradbeni material pretežno uporabljen les (Statistični letopis Republike Slovenije 2005). Marsikje je les ostal vodilni gradbeni material na področju stanovanjske gradnje (ZDA, Kanada, Finska), pri nas pa ga pri gradnji izpodrivajo beton, opeka, kovina, in razni sodobni umetni materiali. V Sloveniji predstavlja lesena gradnja stanovanjskih objektov le majhen delež celotne gradnje in se giblje okoli 2 % vseh novo zgrajenih stavb letno (Šernek, 2006).



Slika 1: Poraščenost Slovenije z gozdovi (Statistični letopis Republike Slovenije, 2005)

Uporaba lesa v Sloveniji na področju gradbenih inženirskih konstrukcij je usmerjena predvsem na les v njegovi naravni obliki in premalo na namenske proizvode z višjo dodano vrednostjo. Prodaja okroglega lesa se zastruje zaradi vse manjših kapacitet v primarni predelavi lesa (žagarstvo, proizvodnja ivernih plošč) in kemični predelavi lesa (proizvodnja celuloze). Konkurenčnost na trgu žaganega lesa pa izgubljam zaradi visokih stroškov predelave, ki so tudi posledica manjših predelovalnih kapacitet v primerjavi z kapacitetami v tujini in vse slabši kvaliteti žaganega lesa, ki pa je posledica zastarele tehnologije žagarskih obratov (Šernek, 2006).

Les je material prihodnosti. Slovenija lahko postane prepoznavna tudi po učinkoviti rabi lesa, pri razvijanju novih tehnologij predelave in obdelave lesa, ter po proizvodnji lesnih inženirskih kompozitov.

2.2 LESNI KOMPOZITI

2.2.1 Razvoj lesnih kompozitov

Lesni kompoziti so se pojavili v 20. stoletju in so se razvijali istočasno z razvojem duroplastičnih sintetičnih lepil in ustreznih tehnologij za izdelavo lesnih kompozitov. Kot prvi lesni kompoziti so razcvet doživele vezane plošče, med I. svetovno vojno, ki so se uporabljale predvsem za izdelavo letal. Po II. svetovni vojni so se pospešeno razvijala sintetična lepila, istočasno pa je močno napredoval razvoj kompozitov iz dezintegriranega lesa.

Danes so lesni kompoziti nenadomestljivi v našem vsakdanjem življenju, saj je njihova uporaba razširjena na vsa področja (gradbeništvo, stavbno pohištvo, stanovanjsko pohištvo, itd.). Njihova prednost pred masivnim lesom je predvsem dimenzijska stabilnost, skoraj neomejene količine in dimenzije, z ustreznimi prekrivnimi sredstvi (folije, laminati, furnir, laki) pa lahko dosežemo zanimive teksture in izgled površin. Z ustreznimi dodatki pa lahko dosežemo izboljšano odpornost proti vlagi, glivam, insektom, ognju, itd. Njihova proizvodnja in uporaba pa se iz leta v leto večja (Šega, 2003).

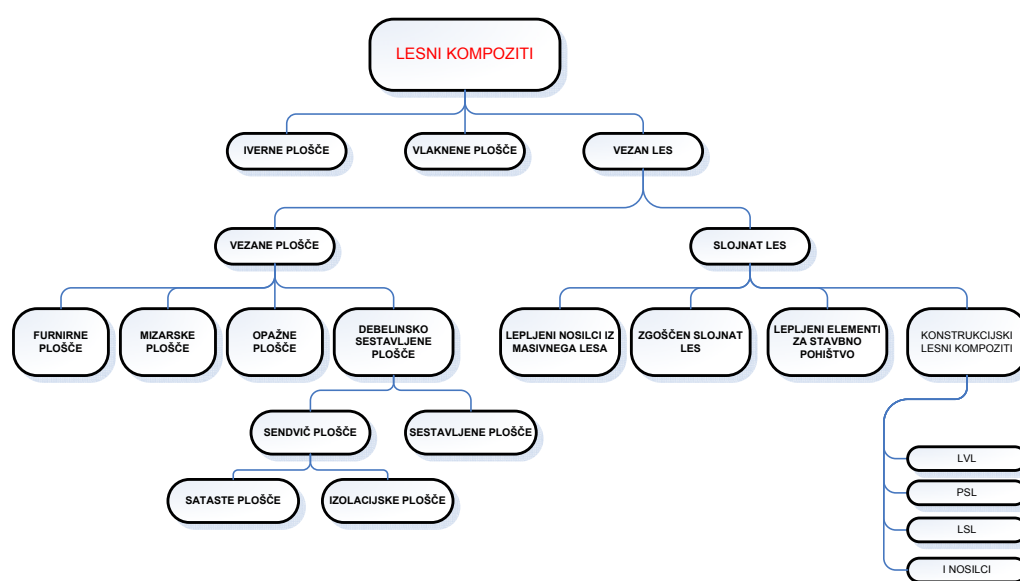
Za razvoj lesnih kompozitov, njihovo vsestransko uporabo in njihove ugodne lastnosti, imajo veliko zaslug predvsem sintetična lepila, ki se odlikujejo po odpornosti proti najtežjim klimatskim pogojem, temperaturi, kemikalijam ter mikroorganizmom. Uporaba takih lepil zagotavlja lesenim lepljenim konstrukcijam v določenih primerih prednost pred klasičnimi masivnimi lesenimi konstrukcijami in železnimi oz. betonskimi konstrukcijami.

2.2.2 Razdelitev lesnih kompozitov

Pod nazivom lesni kompoziti pojmujejo proizvode, ki so narejeni iz dezintegriranega lesa (vlakna, iveri), furnirjev ali letev in so pod vplivom tlaka in temperature spojeni z lepili. Tako lesna industrija po svetu z različnimi tehnologijami obdelave in predelave lesa proizvaja na desetine različnih proizvodov, polproizvodov in kompozitov, katerih osnova je les v različnih oblikah. Razvrščamo jih na različne načine (slika 2).

Lesni kompoziti se med sabo razlikujejo predvsem po:

- načinu izdelave,
- sestavi (lastnostih lepila, lastnostih lesne vrste),
- namembnosti (izolativna, nosilna),
- mehanskih lastnostih (trdota, trdnost, odpornost proti obrabi),
- fizikalnih lastnostih (dimenzijska stabilnost, toplotna in zvočna izolativnost, elektrostatičnost) in
- estetskih lastnostih (teksturi, barvi, dekorativnosti).



Slika 2: Shema razdelitve lesnih kompozitov

2.2.2.1 Iverne plošče

Iverna plošča (slika 3) je definirana kot tvorivo, ki je izdelano iz lignoceluloznih materialov (navadno je to les), v obliki majhnih koščkov ali delcev iz vlaken v kombinaciji s sintetičnimi ali drugimi polimernimi vezivi. Izdelava ivernih plošč poteka s pomočjo visoke temperature in visokega tlaka. Celotna vez med delci lignoceluloznega materiala je vzpostavljena s pomočjo dodanega veziva. Kot vezivno sredstvo se uporabljajo predvsem urea in fenol-formaldehidna lepila, lahko pa tudi rezorcinska, izocianatna in modificirana lepila (Medved, 2000).



Slika 3: Različne vrste ivernih plošč

Poleg navadnih ivernih plošč poznamo tudi posebne:

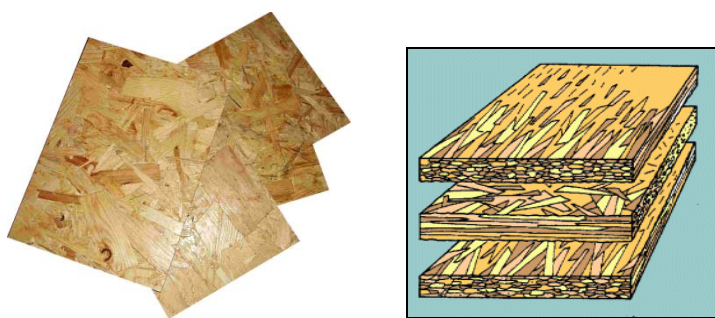
- iverne plošče s pravokotnim usmerjenim iverjem z odprtinami (okal plošče),
- iverne plošče s pravokotnim usmerjenim iverjem brez odprtin (okal plošče),
- OSB plošče,
- Wafer Boards plošče,
- iverno-cementne plošče,
- iverno-mavčne plošče,
- lahke iverne plošče,
- vlago odporne iverne plošče,
- težko gorljive iverne plošče in
- talne iverne plošče s peresom in utorom.

Oriented Strandboard ali »OSB plošče« (slika 4) so večslojno lepljeno stiskane iverne plošče narejene iz tankih ploščatih iveri, večinoma je to les bora. Iveri lesa iz katerih so narejene OSB plošče imajo točno določeno obliko in debelino ter so spojene z vezivom. Iveri v zunanjem sloju so usmerjene vzporedno z dolžino ali širino plošče, medtem ko so lahko iveri v srednjem sloju usmerjeni pravokotno na iveri v zunanjem sloju, ali pa celo naključno usmerjeni. Delež lesa v plošči znaša cca. 93%. Poleg lesa pa se pri proizvodnji uporablja še parafinska emulzija in vezivo. OSB plošče imajo zelo dobre mehanske lastnosti. V splošnem so mehanske lastnosti OSB plošč primerljive z mehanskimi lastnostmi furnirnih plošč. Ker lahko OSB ploščo proizvajamo iz cenejše in manj kvalitetne surovine kot furnirno ploščo, jo OSB plošča na trgu vse bolj nadomešča in

izpodriva. OSB plošče so dimenzijsko zelo stabilne, so zelo trpežne oz. trajne, imajo dobro požarno varnost, odlično toplotno izolativnost, imajo dober oprijem pri uporabi običajnih lepil, vsebujejo zelo malo formaldehida in so homogen material brez vozlov in grč. Odlikujeta jih visoka razslojna in visoka strižna trdnost. Uporabljajo se predvsem v gradbeništvu kot stene, predelne stene, obloge, stropne konstrukcije, pode, sekundarne kritine, za lope, kot stene za razstavne prostore in kot del konstrukcijski elementov (I-nosilci).

Standard EN 300 razvršča OSB plošče v štiri razrede:

- OSB/1: Plošče za splošno uporabo in za notranjo uporabo v suhih pogojih,
- OSB/2: Nosilne plošče za uporabo v suhih pogojih,
- OSB/3: Nosilne plošče za uporabo v vlažnih pogojih in
- OSB/4: Visoko oziroma težko nosilne plošče za uporabo v vlažnih pogojih.



Slika 4: Izgled OSB plošče (levo) in sestava OSB plošče (desno)

2.2.2.2 Vlaknene plošče

Vlaknena plošča (slika 5) je splošen izraz za kompozite različnih prostorninskih mas, narejenih iz lesnih ali drugih lignoceluloznih vlaken. Lepila ali druga vezivna sredstva so lahko dodana, s ciljem izboljšanja trdnosti, odpornosti napram vlagi, ognju glivam in insektom (FAO) (Medved, 2000).

V tehničnem pomenu pa je vlaknena plošča kompozit, ki ima debelino večjo od 1,5 mm in je izdelana iz lignoceluloznih vlaken, pri čemer so vlakna povezana med seboj predvsem z lastnim naravnim vezivom. Vezivna sredstva in drugi dodatki so lahko dodani s ciljem izboljšanja lastnosti (ISO) (Medved, 2000).



Slika 5: Vlaknena plošča srednje gostote (MDF)

Poleg navadnih vlaknenih plošč poznamo tudi posebne:

- vlakneno-mavčne plošče,
- vlaknene plošče izdelane po mokrem postopku,
- vlaknene plošče izdelane po suhem postopku.

2.2.2.3 Furnirne plošče

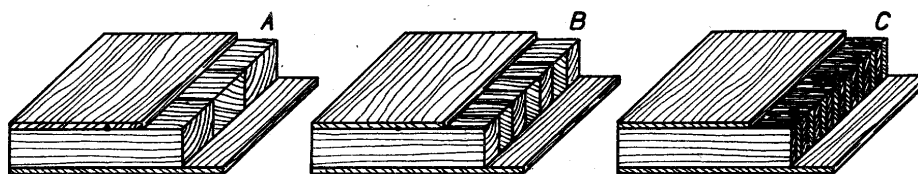
Furnirna plošča (slika 6) je lesni kompozit, ki je sestavljen iz lihega števila furnirnih listov, ki so med seboj zlepljeni pod pravim kotom. Kot surovina pri izdelavi se uporabljata furnir in lepilo. Furnirne plošče se uporabljajo v pohištveni industriji, gradbeništvu, kot pregradne stene, za oblaganje zidov, v industriji izdelave vozil in železniških vagonov ter pri proizvodnji sedežnega pohištva. Delimo jih po številu slojev (trislojne, večslojne), po namenu (plošče za notranjo uporabo, plošče za prostore s povečano stopnjo vlažnosti, plošče za zunanjo uporabo in plošče za ladjedelništvo) in po načinu uporabe (plošče za proizvodnjo pohištva, za izdelavo vrat, za gradbeništvo, za železniške vagonove in karoserije ter embalažo).



Slika 6: Različne vrste furnirnih vezanih plošč

2.2.2.4 Mizarske (panelne) plošče

Mizarske plošče z drugo besedo imenujemo tudi panelne plošče. Izdelane so iz sredice in zunanjih slojev (slika 7). Sredica je lahko izdelana iz lepljenih masivnih letvic, posameznih masivnih letvic ali pa iz luščenega furnirja. Zunanji sloji pa so ponavadi iz luščenega furnirja debeline > 2 mm. Kot vezivno sredstvo se uporabljajo: urea-formaldehidna, melamin-formaldehidna in fenol-formaldehidna lepila. Mizarske plošče se uporabljajo predvsem v gradbeništvu kot predelne stene, v ladjedelništvu, v pohištveni industriji in pri izdelavi vozil (podi).



A - sredica iz lepljenih masivnih letvic, B - sredica iz posamičnih masivnih letvic, C - sredica iz furnirja

Slika 7: Sestava sredice za mizarske plošče

2.2.2.5 Opažne plošče

Opažna plošča (slika 8) je zelo kakovosten, enostaven in ekonomičen lesni kompozit za večkratno uporabo v gradbeništvu. Odporna je na vremenske razmere, saj je površina zaščitena z melaminsko smolo, robovi pa z akrilno vodo-odbojno barvo. Lahko je trislojna ali pa večslojna. Izdelana je iz med seboj zlepljenih slojev lesa (največkrat smreke ali jelke). Zunanja sloj sestavljajo širinsko zlepljene lamele, ki potekajo v vzdolžni smeri, srednji sloj pa prečno položene deščice, ki so uokvirjene z vzdolžnimi in čelnimi zaključnimi letvicami. Robovi so lahko zaščiteni z aluminijastimi T-profili. Zanje je značilna visoka upogibna trdnost, majhna deformacija lesa, dolga življenjska doba in enostavno čiščenje.



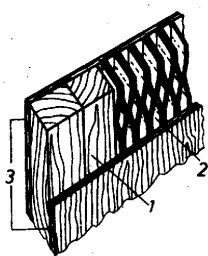
Slika 8: Izgled opažne plošče

Danes proizvajajo opažne plošče v treh izvedbah:

- troslojno sestavljene plošče iz križno zlepljenih elementov,
- večslojne plošče in
- troslojne plošče, ki imajo zunanja sloja iz vezane plošče, srednji sloj pa iz masivnih letvic.

2.2.2.6 Debelinsko sestavljene plošče (sendvič plošče)

Sendvič plošče so sestavljen iz več plasti različnih materialov (slika 9). Zanje je značilno, da je sredica bistveno debelejša od zunanjih slojev. Sestavljene so iz: okvirja, polnila in zunanjih oblog. Okvir je izdelan iz letvic masivnega lesa, polnilo pa je lahko iz: 8 do 10 mm debelih letvic lesa iglavcev ali mehkih listavce, trakov luščenega zvitega furnirja, lamel, ali papirnatega satovja. Za zunanje obloge se uporabljajo tanki furnirji, ali pa vlaknene ter iverne plošče z oplemeniteni površino. Zaradi funkcionalnosti, estetskega videza in cenenosti se uporabljajo predvsem za notranja vrata in risalne deske.



1 - okvir, 2 - polnilo, 3 – zunanja obloga

Slika 9: Sestava sendvič plošče

2.2.2.7 Lepljeni nosilci iz masivnega lesa oz. lamelirani lepljeni nosilci

Lepljeni nosilci iz masivnega lesa oz. lameliran lepljen les (slika 10) je sodoben kompozit, ki ima bolj enakomerne in boljše mehanske lastnosti kot masiven les. Oblikovani so iz sortimentov vzporedno z rastjo žaganega lesa različnih debelin (najpogosteje do 32 mm, izjemoma do 42 mm) in različnih lesnih vrst, ki so sestavljeni v lamele. Te pa so posušene na 8% do 12 % vlažnost in vzporedno zlepljene druga na drugo, z visokokvalitetnimi lepili, ki so namenjena za konstrukcijsko uporabo in imajo visoko trdnost in trajnost, so odporna proti vodi, vlagi, temperaturi in biološkim dejavnikom (rezorcionolna, fenolna, melaminska ali poliuretanska). Lamele so lahko med sabo dolžinsko spojene, vrsta spoja pa je odvisna od načina obremenitve lepljenega nosilca in je lahko zobati, poševni ali topi spoj (slika 11). Ta način lepljenja nam omogoča izvedbo zelo dolgih in širokih lameliranih lepljenih nosilcev.



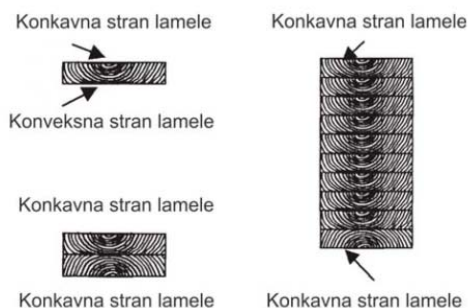
Slika 10: Primer lameliranega lepljenega nosilca

Vzdolžno spajanja lamel	
1. Čelno spajanje s topim spojem Ima najslabše lastnosti od vseh spojev topi spoj	
2. Spajanje s poševnim čelom ali spoj na list Ima večjo nosilnost na nateg, vendar zahteva velike pritiske pri lepljenju. Obremenitev na upogib je problematična.	
3. Zobčasti spoj – zobata vez s klinastimi čepi Je najpogostejše v uporabi. Omogočeno je, da se doseže enako ali pa tudi večjo natezno trdnost spoja, kot je sama natezna trdnost lesa.	

Slika 11: Prikaz vzdolžnega spajanja lamel (Kitek in Hrovatin, 2006)

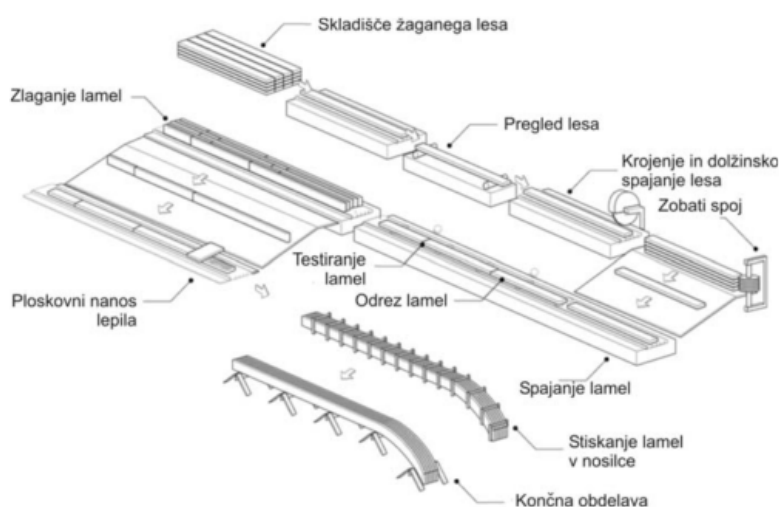
Za lepljenje lameliranih nosilcev lahko uporabljamo vse vrste lesa, najpogosteje pa uporabljamo lesova smreke in jelke. Les za lepljenje lameliranih nosilcev mora biti kategorije 1. razreda, mora biti zdrav, brez napak in primerno suh (do 15%). Standard EN 386 in proizvajalci lepil zahtevajo, da je lahko razlika vlažnosti med lamelami največ 4%, saj se les pri kasnejši spremembi vlažnosti širi in krči izrazito različno v različnih smereh. Zaradi problema zvijanja je pomembna izbira desk za izdelavo lamel (krajne ali deske iz

sredine), saj s pravilnim obračanjem lamel za lepljenje lahko zmanjšamo nezaželene napetosti v ravnini lepljenja. Lamelle morajo imeti glede na potek letnic primerno orientacijo tako morajo biti v primeru dveh lamel te obrnjene tako, da so konveksni deli letnic v stiku lepljenja (Lukan, 1999). Prav tako velja za večslojne prečne prereze, kjer se lepilo konveksne s konkavnimi stranmi lamel razen krajnih lamel, kjer se zlepi med sabo po konveksni strani. (slika 12) (Kitek in Hrovatin, 2006).



Slika 12: Lepljenje nosilca (Kitek in Hrovatin, 2006)

Postopek izdelave lameliranih lepljenih nosilcev (slika 13) je v primerjavi z ostalimi postopki izdelave lesnih kompozitov (LVL, PSL, LSL, OSB) enostaven. Masiven les je sprava razžagan in naravno sušen, sledi umetno sušenje, kjer lamelle osušimo na želeno stopnjo vlažnosti. Pred uporabo lamelle skladiščimo v delavnici, kjer morata biti temperatura in RZV konstantni in kontrolirani. Sledi skobljanje lamel, testiranje lamel, izžagovanje napak, izdelava spoja in čelni nanos lepila, ploskovni nanos lepila, spajanje lamel, nanos lepila in lepljenje lamel v lameliran lepljen les. Za lepljenje mehkejših lesnih vrst uporabljamo tlak 3 do 7 barov, za trde lesne vrste pa 5 do 10 barov. Pri lepljenju in stiskanju moramo paziti na vse parametre, ki jih predpiše proizvajalec lepila. Na koncu sledi končna obdelava lameliranega lepljenega lesa in obvezno kondicioniranje. Nosilce lahko obremenimo šele po končanem kondicioniranju, med samo izdelavo pa moramo opravljati stalno kontrolo, da preprečimo kakršnokoli napako. Lepljeni nosilci so lahko dodatno zaščiteni s fungicidi, insekticidi in ognjevarnimi premazi.



Slika 13: Shematski prikaz proizvodnje lepljenega lameliranega lesa po kontinuiranem postopku (Kitek in Hrovatin, 2006)

Lepljen lameliran les uporabljamo predvsem v gradbene namene kot nosilce. Pred ostalimi gradbenimi nosilnimi elementi imajo to prednost, da jih zlahka obdelujemo in proizvajamo v poljubnih dimenzijah in oblikah, kar omogoča bogato arhitektonsko oblikovanje prostora. Imajo veliko nosilnost glede na lastno maso ter visoke predvidljive trdnostne vrednosti. Zaradi nizke gostote sta transport in gradnja bistveno manj zahtevna, kot pri betonskih in kovinskih nosilcih. Montaža je hitra, vzdrževanje pa je relativno enostavno. Zaradi natančne izdelave in skrbne površinske zaščite so lepljeni lamelirani nosilci odporni proti vsem obremenitvam, tudi če so poleti in pozimi izpostavljeni različnim vremenskim vplivom. Ustrezno zaščiteni pa imajo dobro odpornost tudi proti ognju in se v primerih požara ne porušijo tako hitro kot npr. kovinski. Pred masivnim lesom ima lepljen lameliran les to prednost, da je dimenzijsko stabilnejši, da je možnost različnih izvedb prečnega prereza in večjih dimenzij kot jih dopušča žagan les, da ima bolj enakomerne in boljše mehanske lastnosti.

2.2.2.8 Zgoščen slojnat les

Zgoščen slojnat les je lesni kompozit, ki je narejen pod visokimi tlaki (200 do 400 barov), iz več slojev furnirja, ki je impregniran s sintetičnimi smolami. Visoki tlaki pri izdelavi omogočajo povečanje gostote lesa na 0,9 do 1,4 g/cm³. Uporabljajo se predvsem v gradbeni in letalski industriji, ter za reaktorsko tehniko.

2.2.2.9 I-nosilci

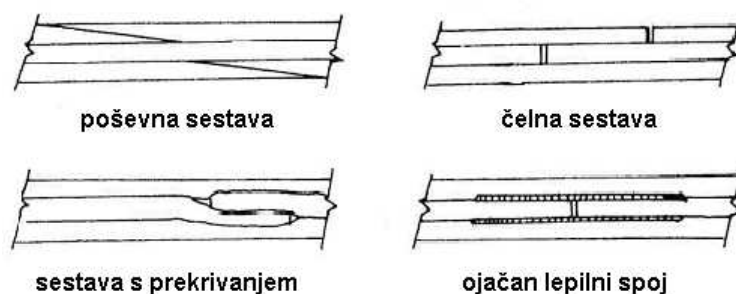
I-nosilci so lesni kompozit za katerega je značilno, da je oblika prirejena funkciji. Po strukturi in obliki so konstruirani tako, da omogočajo čim večjo nosilnost na upogib. Narejeni so iz dveh pasnic in stojine (slika 14). Pasnice so največkrat iz LVL, LSL, PSL ali pa iz masive, medtem ko je stojina običajno narejena iz OSB, vezanih plošč, vlaknenih plošč ali podobnih lesnih kompozitov. Uporabljajo se predvsem za konstrukcije stropov in drugih nosilnih površin.



Slika 14: Sestava I-nosilca iz LVL-a in OSB plošče (levo) ter prikaz uporabe pri gradnji stropa (desno)

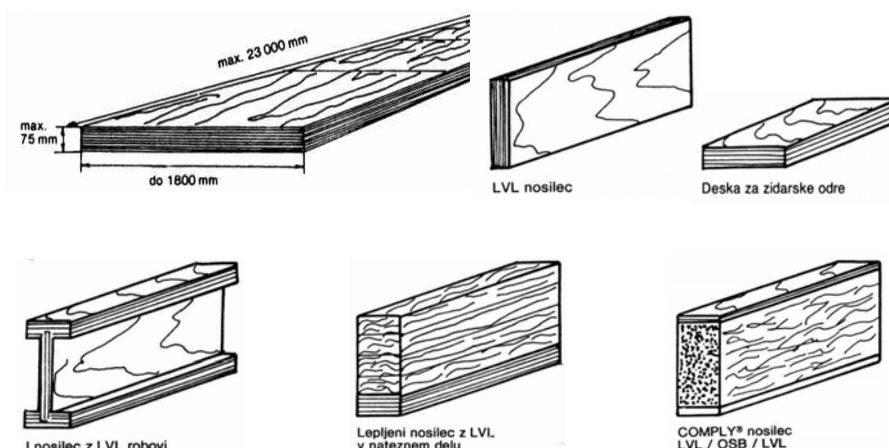
2.2.2.10 Slojnat furnirni les ali »Laminated Veneer Lumber« (LVL)

LVL je lesni inženirski produkt, ki so ga začeli izdelovati leta 1967 v ZDA. Narejen je iz najmanj petih slojev luščenega furnirja različnih debelin (od 2,6 do 3,3 mm) in različnih lesnih vrst (predvsem: duglazije, jelke, smreke, bora in topola), ki so med seboj zlepljeni z vodoodpornim (fenol-formaldehidnim) lepilom. Listi furnirja so v glavnem usmerjeni vzporedno z vzdolžno smerjo lesnih vlaken v zunanjem furnirju lepljenca, pri izvedbi za posebne namene pa so lahko posamezni furnirni listi tudi prekržani pod različnimi koti (Pohleven in sod. 1991). Listi furnirja so med sabo dolžinsko spojeni (poševni spoj, čelna sestava, prekrivanje ali ojačitev) (slika 15), spoji furnirja pa so med sabo vzdolžno zamaknjeni za 100 do 120 mm. Čelna sestava furnirja je najcenejši in najenostavnejši način spajanja, vendar se malo uporablja, saj je na mestu spoja dejansko luknja, ki vpliva na porazdelitev napetosti in na trdnost celotnega nosilca. Sestava furnirja s prekrivanjem je enostavna, vendar pride na mestu spoja do visoke zgostitve lesa, kar lahko povzroča probleme pri uporabi izdelka v okolju s spreminjajočo se vlago. Lepilni spoj je lahko tudi ojačan s posebnim trakom iz grafitnih vlaken, ki je prepojen s fenol-formaldehidno (FF) smolo (Resnik 1987).



Slika 15: Načini dolžinskega spajanja furnirja pri proizvodnji LVL-a (Resnik 1987).

LVL (slika 16) ima zelo širok spekter uporabe. Uporabljamo ga lahko kot ploskovne elemente, kot samostojne nosilce, kot elemente paličja in kot I profile. V pohištveni industriji so se LVL proizvodi uveljavili predvsem kot lepljenci za mizne plošče, in za notranje dele predalov, v gradbeništvu pa kot samostojni nosilci, kot pasnice pri I-nosilcih, in za različne tipe sestavljenih nosilcev. Slabosti LVL produktov so zaradi lepljenja v vroči stiskalnici omejena debelina (do 90 mm). V primerjavi z masivnim lesom in lameliranimi lepljenci ima LVL nosilec v vzdolžni smeri večjo upogibno trdnost, višji modul elastičnosti in boljšo strižno trdnost. Razlog za to je izločitev ali razpršena distribucija naravnih napak lesa ter usmerjenost lesnih vlaken furnirja v smeri dolžine nosilca (Resnik 1990). LVL oblikuje tudi večja predvidljivost glede kvalitete proizvoda, dimenzijska pestrost ter dobra obdelanost. Slabost LVL nosilcev je zahtevna in draga proizvodnja (Šernek, 2006).



Slika 16: Sestava LVL-a in možnosti uporabe (Resnik 1987)

Standard prEN 14279 razvršča LVL v štiri razrede:

- LVL: LVL za splošno uporabo in za notranjo uporabo v suhih pogojih,
- LVL/1: Nosilni LVL za uporabo v suhih pogojih,
- LVL/2: Nosilni LVL za uporabo v vlažnih pogojih in
- LVL/3: Nosilni LVL za zunanjo uporabo ali na prostem.

2.2.2.11 »Parallel Strand Lumber« (PSL)

PSL (slika 17) je eden od novejših (1980) lesnih kompozitov. Sestavljen je iz vzporedno usmerjenih trakov luščenega furnirja (predvsem: duglazije, bora in trobelike), ki so s fenol-formaldehidnim ali s fenol-rezorcinol-formaldehidnim lepilom zlepljeni v obliko nosilca s prerezo do 300 x 500 mm in dolžine do 20 m. Za izdelavo se uporabljajo trakovi furnirja širine 10 do 20 mm, debeline 1,6 do 1,8 mm in dolžine 0,6 do 2,4 m. Lepljenje poteka najprej s pomočjo valjčne predstiskalnice, nato z visokofrekvenčno in na koncu še z vročo stiskalnico. PSL nosilce odlikujejo visoke trdnostne lastnosti in visoki izkoristki surovine (do 80%). PSL nosilci so lahko daljši, debelejši in trdnjši kot nosilci iz masivnega lesa. Slabosti PSL nosilcev pa so, da so težji od žaganega lesa ali lepljenih nosilcev podobnih dimenzij, proizvodnja je zahtevna, končni izdelek pa drag. PSL nosilci imajo dobre mehanske lastnosti, ki so sicer nekoliko nižje od mehanskih lastnosti LVL-a (Shukla in sod. 1999). PSL se uporablja v gradbeništvu za razne nosilce, stebre in lege, predvsem pa za večje in težje konstrukcije kot so dolga paličja, slemenski tramovi, stebri in mostovi (Šernek, 2006).



Slika 17: Izgled PSL kompozita

2.2.2.12 »Laminated Strand Lumber« (LSL)

LSL je prav tako kot LVL in PSL novejši lesni kompozit. Sestavljen je iz dolgih ploščatih iveri (predvsem trobelike in tulipanovca), ki so usmerjeni v smeri dolžine proizvoda in zlepljeni z vodoodpornim lepilom. Za proizvodnjo PSL-a se uporablja predvsem drobna hlodovina, iz katere se najprej pridobijo iveri debeline 0,7 do 1,3 mm, širine do 25 mm in dolžine do 300 mm, nato pa se iveri oblepijo z izocianatnim lepilo in nato v vroči klasični stiskalnici zlepijo v LSL proizvod. Tehnologija izdelave LSL kompozita izhaja iz tehnologije OSB kompozita. Dimenzije LSL proizvodov so omejene po debelini na 140 mm, po širini na 2,4 m in po dolžini na 15 m. Prednosti LSL so te, da pri proizvodnji lahko uporabljamo manj kvalitetno surovino kot pri LVL in PSL, izkoristek surovine je celo nad 80 %. Impregnacijo z zaščitnimi sredstvi lahko izvedemo že med samim postopkom izdelave LSL kompozita tako da ni potrebna kasnejša impregnacija kot pri LVL, PSL, lameliranem lepljencu ali žaganem lesu. Pomanjkljivosti LSL je večji debelinski nabrek, zaradi večje zgostitve lesa v primerjavi z LVL in PSL. Proizvodnja pa je draga in zahtevna. LSL uporabljamo za stebre, tramove in lažje veznike pri gradnji (Šernek, 2006).

2.2.2.13 Lepljeni elementi za stavbno pohištvo

V sodobni, ekonomsko usmerjeni proizvodnji predelave lesa so se razvili lepljeni elementi za stavbno pohištvo. Izdelani so za točno določen namen in z visokokvalitetnimi vodoodpornimi lepili. Večinoma so to trislojni elementi različnih dimenzij in profilov za izdelavo oken.

2.2.3 Lastnosti lesa in lesnih kompozitov

Les je bil skozi zgodovino človeštva eden od najpomembnejših materialov in je težko nadomestljiv še dandanes. Je predvsem naraven, človeku in okolju prijazen, elastičen, žilav, trden in edini naravno obnovljivi material. Pomemben je predvsem kot: gradbeni material, material za pohištveno ind., osnovna surovina za izdelavo papirja in lesnih kompozitov ter kot vir energije. Pri gradnji je cenjen predvsem zaradi ugodnih mehanskih lastnosti, njegovih pozitivnih lastnosti na objekt in bivanje v njem. Je namreč eden najbolj zdravih gradbenih materialov. Uporaben je za veliko namenov: v pohištveni ind., v papirni ind., v gradbeništvu; predvsem za konstrukcije, za ostrešja, za oblikovanje modelov za vlivanje (kalupe), za izdelavo stavbnega pohištva, za ladijske pode, stropove, in parket.

Tehnologija lepljenja lesa omogoča izdelavo proizvodov neomejenih dimenzij (praktična omejitev je transport), najrazličnejših sestavov, oblik in prereзов. Različni lesni kompoziti so namenjeni različnim namenom uporabe in imajo med sabo lahko tudi zelo različne lastnosti.

Za konstrukcijski namen, kjer so pomembne predvsem mehanske lastnosti izdelkov, so primerni predvsem lepljeni nosilci iz masivnega lesa, zgoščen lepljen les in sodobni konstrukcijski kompoziti kot so LVL, PSL in LSL. Vsi ti inženirski lesni proizvodi lahko uspešno konkurirajo klasičnim gradbenim materialom kot so jeklo, beton ali umetni material.

2.2.3.1 Mehanske in fizikalne lastnosti

Les sam po sebi nima homogenih lastnosti. Lastnosti so zelo spreminjajo glede na lesno vrsto. Tako so vse mehanske in fizikalne lastnosti lesa odvisne od lesne vrste in pogojev v kateri je drevesna vrsta rasla. Zaradi higroskopnosti lesa pa se lastnosti lesa spreminjajo celo med samo predelavo in uporabo lesa. Gledano na splošno pa ima masiven les glede na lastno maso boljše mehanske lastnosti kot npr. jeklo in beton. Glavna prednost, ki jo ima les pred opeko pa je ta, da je gradnja z njim hitrejša in suha, kar pomeni, da ni treba čakati, da se deli objekta sušijo. Posledično pa je seveda gradnja za lesom tudi čistejša.

Na splošno pa lahko rečemo, da je prednost lesnih kompozitov pred ostalimi materiali visoka nosilnost glede na maso in fleksibilnost v konstruiranju raznovrstnih dimenzij in oblik. Poleg tega so lastnosti teh proizvodov veliko manj variabilne kot pri stavbnem lesu. V primerjavi z masivnim lesom imajo več prednosti: boljša dimenzijska stabilnost, možnost različnih izvedb prečnega preseka in večje dimenzije kot jih dopušča žagan les. Pri sušenju skoraj ni pojava razpok.

2.2.3.2 Okoljevarstvene lastnosti

Ko gradimo z lesom, skrbimo za boljše okolje, saj je les sam po sebi že naraven in človeku prijazen material. Z okoljevarstvenega vidika predstavlja pomemben faktor razgradljivost materiala in možnost recikliranja. Pri obeh lastnostih skorajda ni razlike med masivnim in lepljenim lesom. Do razlik pa pride pri oceni porabe materiala in energije, ter uporabi lepila. Za proizvodnjo lepljenega nosilca je potrebno enkrat več energije kot za proizvodnjo žaganega lesa. Predelava in obdelava lesa pa zahteva 5 krat manj energije kot predelava cementa in 24 krat manj kot predelava jekla.

2.2.3.3 Požarne lastnosti

Za vgrajene materiale v nosilne konstrukcije je pomembno, da so odporni proti ognju. Ustrezno zaščiten les in lesna tvoriva imajo bistveno večjo požarno odpornost, kot jim pripisujemo in presegajo pri tem jeklo in armirani beton (Zbašnik Senegačnik, 2001).

Sposobnost lesa za prevajanje toplote je zelo majhna, saj toploto prevajajo 300 do 400 krat počasneje kot jeklo. Elementi lesa zogleenijo počasi s površine proti notranjosti, pri čemer nezogleneli presek ohranja prvotno nosilnost. Ustvarjena zoglelenost zmanjšuje prevajanje toplote in onemogoča pristop kisika do lesa. Masivni leseni nosilci in leseni lepljeni nosilci pri gorenju ne spremenijo oblike, kot npr. jeklo, ker se les pri gorenju ne deformira, nosilci ne povzročajo pritiska na obodne stene in ne povzročajo njihove porušitve. Leseni lepljeni nosilci, v primerjavi z masivnim lesom, pa imajo še dodatno povečano odpornost proti gorenju. V normalno potekajočem požaru masiven smrekov les gori s hitrostjo 0,6 do 1,1 mm/min, lepljen les pa 0,1 mm/min (Zbašnik Senegačnik, 2001).

2.2.3.4 Trajnost

Trajnost lesnih konstrukcij je danes ob pravilni izvedbi detajlov in ustrezni zaščiti ocenjena na več kot 100 let v povprečno spremenljivih zunanjih pogojih.

2.2.3.5 Cena

Cena osnovnih lepljenih nosilcev je okoli 2,5 krat večja v primerjavi z masivnim lesom. Vendar pa na končno ceno izdelka vpliva niz drugih faktorjev kot so: planiranje gradnje, hitrost izvedbe, enostavnost transporta in montaže, spojna sredstva, kvaliteta proizvoda in trajnost vgrajenih elementov. Gospodarnost lesenih lepljenih konstrukcij je predvsem v predizdelavi elementov. Industrijska izdelava omogoča hitro, lahko in enostavno izdelavo, neodvisno od vremenskih vplivov. Tovarniška izdelava lepljenih nosilcev zagotavlja gradnjo z minimalnim številom napak in občutno zmanjšanje dejavnikov tveganja, kar poceni in pospeši gradnjo objekta.

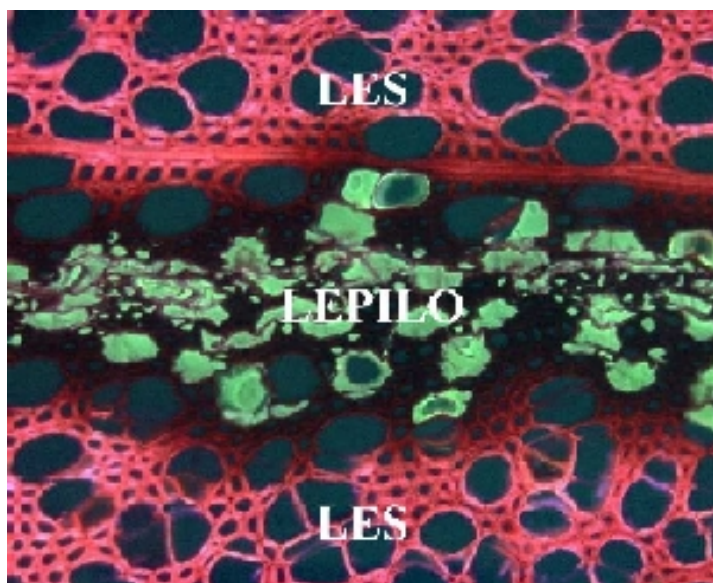
Lesena gradnja je 15-20% cenejša kot ista armiranobetonska ali jeklena izvedba.

2.3 LEPLJENJE LESA

V lesarstvu, kot gospodarski dejavnosti, ki se ukvarja z nabavo, obdelavo, predelavo in trženjem lesa, lesnih izdelkov, polizdelkov in tvoriv, je lepljenje zelo pomembna faza, saj skoraj ni izdelka, ki ne bi bil lepljen. Lepljenje lesa je kompleksen proces, ki obsega pripravo površine lesa, nanos lepila, tok in prenos lepila med lepljenima površinama, omočitev površine lesa, penetracijo lepila v lumne in celične stene lesa, ter utrjevanje lepila (Šernek, 1999).

Les lepimo zato, da povečamo izkoristek lesa, da mu izboljšamo mehanske in fizikalne lastnosti, ga oplemenitimo, povečamo dimenzije, izdelamo lesni kompozit, ga oblikujemo, zaščitimo, mu povečamo kvaliteto, dobimo nove konstrukcijske povezave in mu povečamo obseg uporabnosti.

Pod pojmom lepljenje razumemo spajanje (vezanje) dveh enakih ali različnih materialov z lepilom (slika 18).



Slika 18: Mikroskopski izglede lepilnega spoja

2.4 LEPILA

Vsestransko uporabo lesenih kompozitov je omogočil razvoj sintetičnih lepil. Zahteve, ki jih morajo konstrukcijska lepila izpolnjevati, podaj standard SIST EN 301. Lepilo poveže les v nov material.

Z lepljenjem naj bi dosegli spoje, ki bi imeli trdnost enako trdnosti lesa ali večjo. Večina lepil za les tudi dejansko lahko tvori spoje, ki dosegajo oziroma celo presegajo trdnost lesa.

Najpogostejše zahteve za lepila v lesarstvu so:

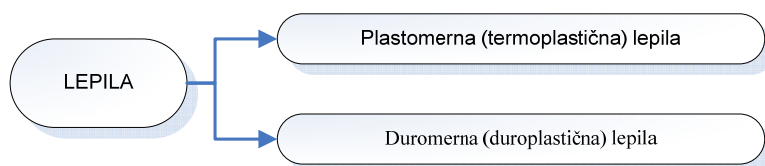
- lepilo mora biti odporno na temperaturo,
- lepilo mora biti odporno na klimatske spremembe,
- lepilo mora biti odporno na kemikalije,
- lepilo mora biti odporno na kemijske vplive,
- lepilo mora biti odporno na mikroorganizme,
- lepilo mora biti odporno na anorganske in organske snovi,
- lepilo mora biti odporno na insekte, glive, svetlobo, mraz, staranje,
- lepilo mora biti ognjeodporno,
- lepilo mora biti odporno na vlago in vodo,
- lepilo mora biti enostavno za pripravo in uporabo,
- lepilo mora biti poceni, lepljenje pa ekonomično,
- lepilo mora imeti čim daljšo dobo skladiščenja,
- lepilo mora imeti ustrezen odprti in zaprti čas lepljenja
- lepilo mora imeti različne hitrosti utrjevanja,
- lepilo mora imeti ustrezno vezivno trdnost,
- lepilo mora imeti konstantno trdnost,
- lepilo mora imeti take mehanske lastnosti, da je spoj nedeformabilen,
- lepilo mora dajati kvalitetne spoje,
- lepilo ne sme biti zdravju škodljivo,
- lepilo ne sme biti ekološko oporečno.

2.4.1 Razdelitev lepil

Na tržišču je poznanih nešteto lepil, ki pa jih lahko razdelimo glede na: lastnost filma, namen uporabe, surovinsko osnovo, temperaturo utrjevanja in način utrjevanja.

2.4.1.1 Razdelitev lepil glede na lastnost lepilnega filma

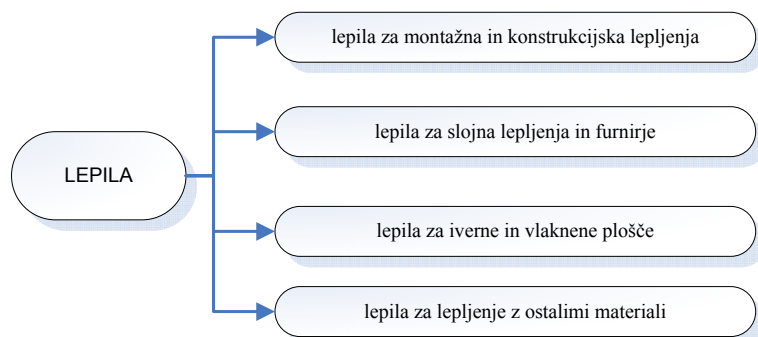
Glede na lastnost filma delimo lepila (slika 19) na termoplastična lepila in na duroplastična lepila.



Slika 19: Razdelitev lepil glede na lastnost filma

2.4.1.2 Razdelitev lepil glede na namen uporabe v lesni industriji

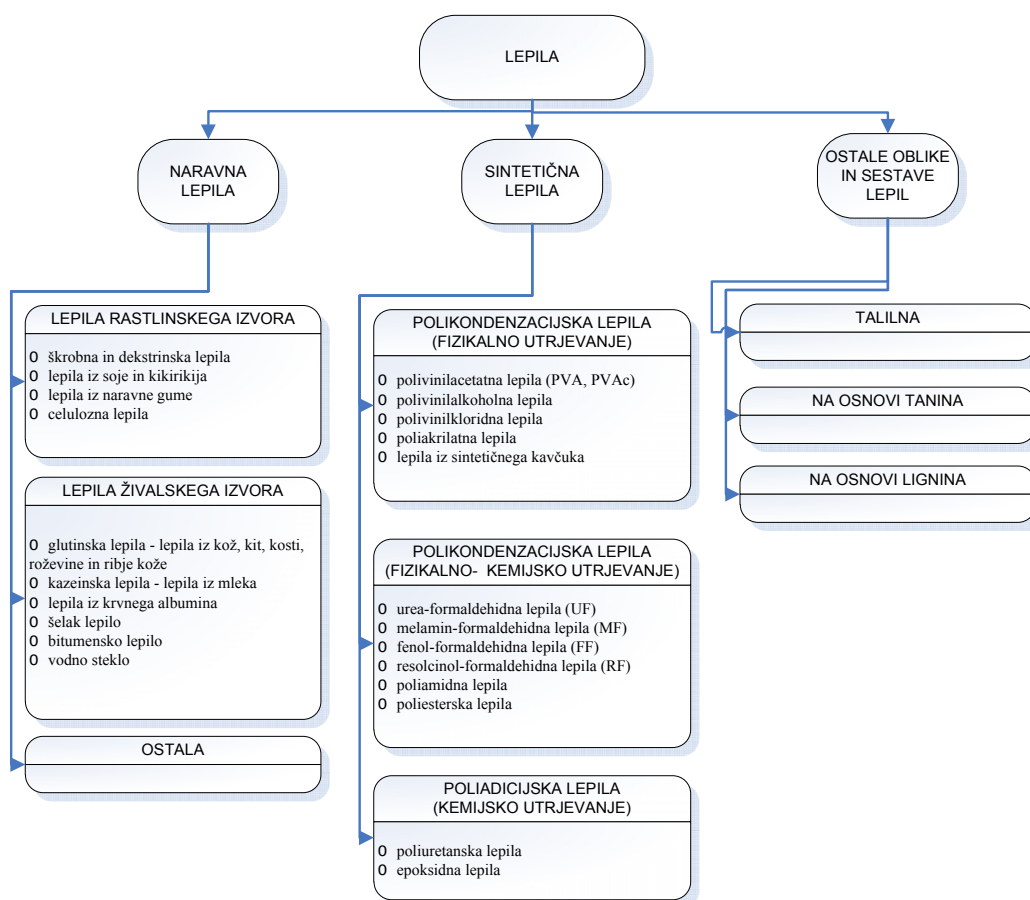
Glede na namen uporabe v lesni ind. lepila delimo v štiri skupine (slika 20).



Slika 20: Razdelitev lepil glede na namen uporabe v lesni ind.

2.4.1.3 Razdelitev lepil glede na surovinsko osnovo

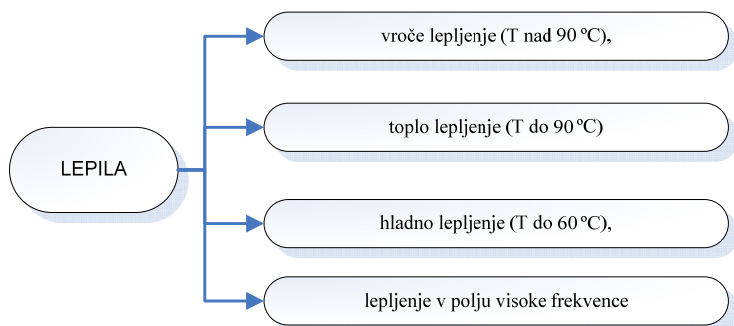
Glede na surovinsko osnovo poznamo lepila naravnega izvora, sintetičnega izvora in ostale oblike lepil (slika 21).



Slika 21: Razdelitev lepil glede na surovinsko osnovo

2.4.1.4 Razdelitev lepil glede na temperaturo (T) utrjevanja

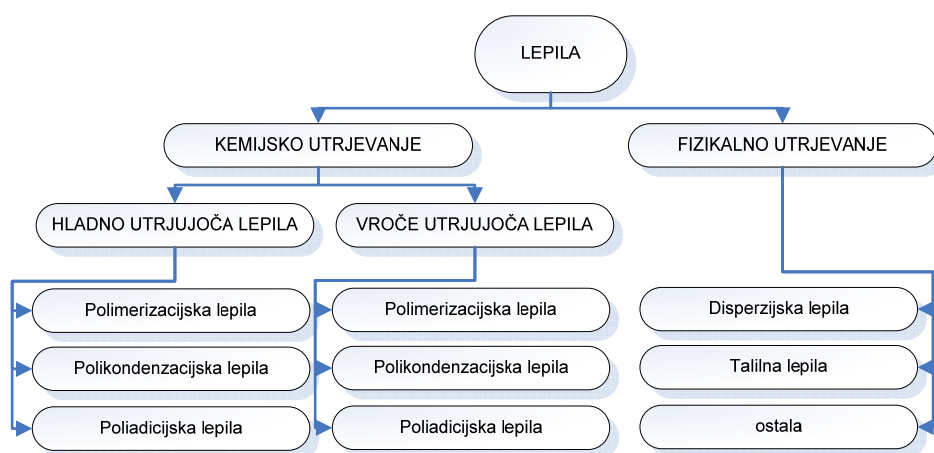
Glede na temperaturo utrjevanja lepil, jih delimo v štiri skupine (slika 22).



Slika 22: Razdelitev lepil glede na temperaturo (T) utrjevanja

2.4.1.5 Razdelitev lepil glede na način utrjevanja

Glede na način utrjevanja poznamo lepila, ki utrjujejo kemijsko in lepila, ki utrjujejo fizikalno (slika 23).



Slika 23: Razdelitev lepil glede na način utrjevanja

2.4.1.6 Razdelitev lepil za les po SIST EN

- plastomerna lepila (polimer ali kopolimer, ki ima sposobnost, da se mehča pri segrevanju in utrdi pri ohlajanju) - SIST EN 204
- duromerna lepila (polimer ali kopolimer, ki je po utrditvi netaljiv in netopen) SIST EN 12765
- lepila za nekonstrukcijsko uporabo
- lepila za konstrukcijsko uporabo SIST EN 301

2.4.2 Reakcije pri utrjevanju lepil

Lepilne lastnosti neke snovi so odvisne od fizikalnih in kemijskih sprememb snovi oziroma reakcije ter velikosti makromolekul in mehanskih ter kemijskih lastnosti

makromolekularnih snovi. Poznamo različne reakcije, katerih namen je, da iz nizko molekularnih snovi ali monomerov nastanejo visoko molekularne snovi ali polimeri. Obvezen pogoj za te polireakcije, je vsaj dvofunkcionalna vez monomerne molekule. Za oblikovanje polimerov poznamo predvsem reakcije polimerizacije, polikondenzacije in poliadicije.

Polimerizacija je reakcija med istovrstnimi ali raznovrstnimi nenasičenimi monomernimi molekulami z vsaj eno dvojno ali trojno vezjo. Ta reakcija poteka v treh stopnjah. V prvi stopnji se nenasičene vezi razcepijo in nastanejo vsaj dvovalentni monomerni radikali. Ti se v drugi stopnji vežejo med seboj in tvorijo makroradikale, ki se v tretji stopnji zaključijo z makromolekulami. Pri navedeni reakciji se ne odceplja in ne izstopa nobena snov (Šernek, 2004).

Polikondenzacija je reakcija med dvema ali med več različnimi monomeri, pri čemer nastanejo makromolekule. Pri reakciji vedno izstopa neka enostavna snov, kot npr. voda, amoniak, žveplo idr. (Šernek, 2004).

Poliadicija je reakcija, ki poteka tako, da se atom nekega elementa (npr. vodika) enega monomera premesti na drug monomer. Posledica je nastanek radikalov, ki se vežejo med seboj. Pri poliadicii ne izstopajo nobene snovi (Šernek, 2004).

Med lepili, ki nastanejo s polimerizacijo ali poliadicijo, so bistvene razlike. Polimer je zelo velika molekula oziroma makromolekula, sestavljena iz malih, preprostih kemičnih enot oziroma molekul (monomerov). Produkti polikondenzacije in poliadicije pa niso končani že v fazi priprave lepila. Med samim lepilnim procesom se namreč kemijske reakcije nadaljujejo. Druga bistvena razlika je v tem, da polimerizacijska lepila lepijo samo fizikalno, polikondenzacijska lepila pa poleg tega tudi kemijsko. Zato so polimerizacijska lepila pod vplivom toplote izpostavljena spremembam agregatnega stanja. Glede na navedeno jih imenujemo plastomeri, za razliko od duromerov, ki se pod toplotnim vplivom ne spreminjajo več (Resnik, 1989).

2.4.3 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.

Kohezija – predstavlja privlačnost med osnovnimi gradniki snovi (atomi ali molekulami) in jo imenujemo tudi mehanska trdnost materiala.

Adhezija je površinski fenomen in predstavlja privlačnost oziroma sprijemnost med površinami snovi. Definirana je kot stanje v katerem sta dve površini povezani med seboj zaradi delovanja površinskih sil.

Adhezija se nanaša na privlačnost med molekulami snovi, ki pri lepljenju lesa nastane na osnovi treh mehanizmov:

- **mehanske povezave**, ki je rezultat penetracije in sidracije lepila (po utrditvi) v lumne lesnih celic, v celične stene lesa, ter v razpoke v strukturi lesa.

- **fizikalne privlačnosti**, ki je rezultat privlačnih sil na nivoju molekul. Teh sil je več vrst (npr. Van der Walsove sile in vodikove vezi). Njihov nastanek in jakost je odvisna od omočitve celičnih sten lesa z lepilom in njihove adsorbcije v les.
- **kemijska (kovalentna) vez med molekulami lepila in lesa**, ki lahko nastane med utrjevanjem lepila. Nastanek kovalentne vezi je lahko prisoten pri lepljenju lesa z lepili, ki zamrežijo. Čeprav pojav te vrste adhezije med lepilom in lesom ni pogost, je z vidika trdnosti in trpežnosti najbolj zaželen. Energija kemijske vezi je namreč deset in večkrat večja od energije fizikalne vezi.

V zadnjem času je v veljavi več teorij, ki pojasnjujejo silo adhezije pri lepljenju lesa (Šernek, 1999).

2.4.3.1 Mehanska teorija

Mehanska teorija adhezije temelji na tem, da kapilarne sile vsrkajo lepilo v pore in razpoke lepljenca. Utrjeno lepilo predstavlja neke vrste sidra, ki pomenijo čvrsto medsebojno povezavo lepljencev. Ta teorija delno pojasnjuje adhezijo pri poroznih materialih, kakšen je tudi les, ne pojasnjuje pa lepljenja neporoznih materialov in tudi ne dejstva, da imajo sama lepila relativno nizko strižno in upogibno trdnost v primerjavi z lepilnim spojem. Pri lepljenju lesa je del mehanske adhezije vedno prisoten, saj je les porozen, površina lesa pa polna razpok in mehanskih deformacij, ki so nastale med obdelavo. Lepilo penetrira v pore in razpoke ter se v njih usidra, obenem pa mehansko učvrsti poškodovani površinski sloj lesa. Če bi bila pri lepljenju lesa prisotna samo mehanska adhezija, bi morala biti trdnost lepilnega spoja pri poroznih lesovih boljša, kot pri neporoznih, vendar raziskave tega ne potrjujejo. Z mehansko teorijo adhezije ni mogoče v celoti pojasniti adhezije pri lepljenju lesa (Šernek, 1999).

2.4.3.2 Molekularna – adsorpcijska teorija

Po teoriji adsorpcije je proces vezanja pogojen s privlačnostjo med molekulami lepila in lepljenca. To so sekundarne sile, ki delujejo na majhnih razdaljah. Pogoj je dobra omakalnost lepila, ki 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 lepljenja nepolarnih materialov (Šernek, 1999).

2.4.3.3 Električna teorija

Ta teorija pojasnjuje sile adhezije z elektrostatično privlačnostjo, ki jo najdemo v kondenzatorjih. Ta teorija ne pojasnjuje adhezivne vezi med podobnimi polimeri, med nepolarnimi polimeri in med polimeri, ki ne prevajajo električnega toka (Šernek, 1999).

2.4.3.4 Difuzijska teorija

Difuzijska teorija adhezije je bila predstavljena okrog leta 1960. Temelji pa na izhodišču, da makromolekule lepila difundirajo v površino lepljenca in se z njo stopijo. Tako se poveča površina stika. Trdnost vezi pa raste s časom in temperaturo. Ta teorija adhezije je uporabna za razlago adhezije pri stiskanju vlaknenih plošč, kjer je edino lepilo lignin, ki se pod vplivom visoke temperature, tlaka in vlage stopi in difundira v vlakna ter jih med sabo

poveže. V ostalih primerih lepljenja lesa pa ta teorija le delno pojasnjuje adhezijo (Šernek, 1999).

2.4.3.5 Kemijska teorija

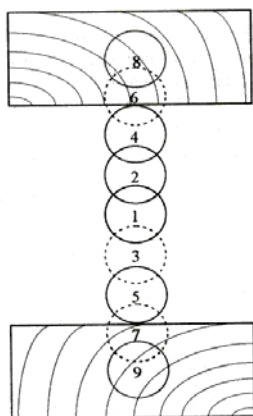
Kemijska ali kovalentna teorija adhezije pravi, da naj bi bila trdnost lepilne vezi kemijske narave. Pri UF lepilih so to vezi med hidroksilno (OH) skupino, makromolekulami celuloze in metilnimi (CH₂OH) skupinami ob nastanku estrskih vezi (Šernek, 1999).

2.4.4 Zgradba lepilnega spoja

Lepilo je snov, s katero spajamo raznovrstne ali istovrstne materiale. S površinskimi medsebojnimi privlačnimi silami in notranjimi medsebojnimi privlačnimi silami v isti snovi vežejo lepila materiale med seboj tako, da se njihova sestava bistveno ne spremeni in se tvori lepilni spoj (Resnik, 1989).

Zgradbo lepilnega spoja lahko predstavimo z verigo (slika 24), ki je sestavljena iz devetih členov (Marra, 1992):

- 1: nevtralna sredina oz. nevtralni sloj – predstavlja lastnosti samega lepila oz. lepilnega filma (kohezijske sile)
- 2 in 3: mejni sloj lepilnega filma
- 4 in 5: točka dotika lepila in lepljenca – predstavljena je osnovna privlačnost med različnimi molekulami (adhezijske sile). Vzpostavljena je privlačnost med molekulami lesa in lepila in lahko temelji na mehanski povezavi in na fizikalni ali kemijski vezi,
- 6 in 7: podpovršinski sloj lepljenca – to je sloj tik pod površino lesa, ki je bil mehansko poškodovan v procesu priprave lepilne površine
- 8 in 9: skrajna člena v verigi – predstavljata lastnosti lepljenca; gostota, poroznost, permeabilnost, vlažnost, itd.



Slika 24: Zgradba lepilnega spoja (Mara, 1992)

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

Trdnost lepilnega spoja je odvisna od kohezije utrjenega lepila, kohezije lepljencev in predvsem od adhezije, ki nastane v procesu lepljenja med lepilom in lepljencem.

2.4.5 Oblikovanje lepilnega spoja

Oblikovanje lepilnega spoja je zelo kompleksen postopek, ki ga največkrat sestavlja več medsebojno dopolnjujočih se faz:

- nanos in tok lepila po lepilni ploskvi,
- prenos lepila na nasprotno lepilno ploskev,
- penetracija lepila v pore in vmesne prostore lesne površine,
- omočitev površine lesnih celic
- utrditev lepila.

Če hočemo material zlepliti, moramo na površino najprej nanesti lepilo. Takoj po nanosu lepila na površino se začne omočitev in penetracija lepila v les. Nato moramo lepljenca med sabo približati. Ko se lepljenca približata se začne tok in prenos lepila na nasprotno površino. S tem, ko tlak stiskanja narašča, se povečuje penetracija lepila v les in omočitev površine celičnih sten. Omočitev celičnih sten poteka sočasno s penetracijo lepila.

2.4.5.1 Nanos in tok lepila po lepilni ploskvi

Lepilo lahko nanašamo ročno (s čopiči, strgali, glavniki in ročnimi valj), ali pa strojno z brizganjem, polivanjem, z valjčnim nanašanjem in z ekstrudiranjem. Brizganje in polivanje pride v poštev največkrat v proizvodnji vezanih plošč, oblepljanju iverja in pri brizganju neoprenskih lepil pri izdelavi oblazinjenega pohištva. Brizganje uporabljamo predvsem pri lepljenju nepravilnih oblik. Valjčno nanašanje je ekonomično, enostavno, primerno za ravne površine (lahko tudi obojestransko nanašanje), z njim dosežemo enakomerne debeline nanosa. Ekstrudiranje je avtomatiziran proces, ki se uporablja predvsem za lepljenje konstrukcijskega lesa. Zanj so značilne zelo majhne izgube in možen daljši vmesni čas.

Nanosi lepila morajo biti enakomerni po vsej lepilni površini. Količina nanosa mora biti ustrezna in je odvisna od vrste lepila (viskoznosti, kemijskega izvora in fizikalnega stanja – film, prah ali tekočina), lepljenca (debelina, velikost, oblika, površina, izvor – les, umetna masa, kovina ali steklo) in posebnih zahtev (hitrost nanašanja, ekonomičnost nanašanja, oblika nanesenega lepila, ekološki vidik, varnostni vidik).

2.4.5.2 Prenos lepila na nasprotno lepilno ploskev

Pri prenosu lepila pazimo, da vmesni čas ni predolg, da se lepilo ne osuši in da se ne naredi tanek film (kožica), ki prepreči penetracijo ali omočitev.

2.4.5.3 Penetracija lepila v pore in vmesne prostore lesne površine

Pri penetraciji lepila gre za mehansko sidranje lepila v lumne, celične stene in razpoke. Lepilo prodira skozi piknje. Lepilo lahko penetrira le, če je tekoče in če je lesno tkivo prevodno. Permeabilnost lesa je veliko večja v vzdolžni smeri kot v prečni smeri. Pri lepljenju lesnih kompozitov kot je furnirna plošča, poteka penetracija lepila pretežno v prečni smeri. Zaradi slabe prečne permeabilnosti lesa je potrebno penetracijo lepila

pospešiti z uporabo tlaka, izboljšati pa jo je mogoče tudi z modifikacijo lesne površine in spreminjanjem tekočinskih lastnosti lepila, kot sta viskoznost lepila in molekulska masa.

Obstaja optimalna globina penetracije, ki daje največjo trdnost lepilnega spoja. Preplitva penetracija ne omogoča zadostnega sidranja lepila v pore lesa, vemo pa, da mehanska adhezija prispeva kar precejšen delež k celotni trdnosti lepilnega spoja. Površina z lepilom omočenih celičnih sten je pri plitvi penetraciji majhna. To pomeni manjšo difuzijo molekul lepila v celične stene in skromnejšo tvorbo vezi med molekulami lepila in hidroksilnimi skupinami celuloze lesa. Pregloboka penetracija pomeni pust lepilni spoj. Lepilo namreč prodre tudi do mest, ki ne prispevajo k trdnosti spoja. V takem primeru je lepilni film prekinjen oziroma reven, pičel. V ekstremnih primerih lahko pride do preboja lepila skozi les. Pri prekomerni penetraciji lepilo izgublja na konsistenci, kar pomeni, da je preveč razvejano po lesni strukturi, da je v nekem smislu redko in ga je premalo na območju lepilnega spoja, ki je ključno za trdnost. (Šernek, 1999)

S stališča kvalitetnega lepljenja je za optimalno globino penetracije lepila značilno:

- da lepilo prepoji in učvrsti površino lesa,
- zadostno sidranje lepila v pore in razpoke lesa,
- zadostno difundiranje lepila v površine celičnih sten,
- konsistenca - povezana porazdelitev lepila,
- da ni preboja lepila.

2.4.5.4 Omočitev površine lesnih celic

Preden lepilo utrdi mora dobro omočiti lesno površino, penetrirati v pore in razpoke lesa ter se usidrati v njih. Omočitev površine je odvisna od površinske napetosti in viskoznosti lepila. Z vidika omočitve in adhezije je za kvalitetno lepljenje lesa potrebno, da:

- je lepilo v tekočem stanju,
- ima lepilo čim manjšo površinsko napetost,
- ima lepilna površina čim večjo površinsko napetost,
- lepilo čim bolj omoči površino – nizek kontaktni kot
- lepilo zadostno penetrira v les.

Omočitev ocenjujemo z merjenjem kontaktnega kota (θ), ki nastane na stiku med kapljico tekočine in trdno površino. Kadar je kontaktni kot velik, je omočitev slaba in obratno. Kadar je kontaktni kot enak 0° govorimo o popolni omočitvi površine. Dobra omočitev je pogoj za nastanek močnih adhezijskih sil pri lepljenju lesa.

Popolna omočitev $\theta = 0^\circ$



$\theta < 90^\circ$



$90^\circ < \theta < 180^\circ$



Ni omočitve $\theta = 180^\circ$

Slika 25: Kontaktni kot in omočitev (Kalčič, 2006)

2.4.5.5 Utrditev lepila

Utrjevanje lepil temelji na številnih fizikalnih in kemijskih osnovah, pri čemer je še veliko nejasnosti. Gre predvsem za:

- delovanje sil med delci lepila in lesa,
- delovanje sil med delci lepila,
- delovanje na mejnih površinah,
- pH vrednost lepila,
- koloidne raztopine in druge pojave.

Lepila lepijo zaradi površinskih sil, tlaka ter adhezije in kohezije.

2.4.6 Procesi utrjevanja lepil

Splošne značilnosti utrjevanja lepil so:

- lepilo se med utrjevanjem spremeni prek gel stanja v trdno stanje,
- pogoji za prehod v trdno stanje so reagenti, temperatura, tlak in čas,
- utrjevanje lepila lahko poteka zaradi oddaje disperzijskega sredstva, ohlajevanja, koagulacije ali kemijske reakcije in ob kombiniranem delovanju dveh ali več omenjenih oblik.

Pri utrjevanju se vključujejo različni mehanizmi: oddaja disperzijskega sredstva, oddaja toplota in toplote, kemijska reakcija. Med procesom utrjevanja se lahko molekule spremenijo (razvejane, zamrežene) ali pa tudi ne (linearne).

2.4.6.1 Fizikalni način utrjevanja

Pri fizikalnem načinu utrjevanja ne gre za kemijsko reakcijo, gre pa za:

- oddajanje disperzijskega sredstva ali
- ohlajanje pod temperaturo steklastega prehoda.

Fizikalni proces utrjevanja lepil je reverzibilen. Slabost lepil, ki utrjujejo fizikalno pa je ta, da so neodporna na temperaturo in vodo. Na fizikalni način utrjujejo talilna in polivinilacetatna lepila.

Talilna lepila prehajajo v tekočo obliko z dovajanjem toplote. Ko pridejo v stik z lesom se zopet ohladijo in utrdijo (kratek odprt in zaprti čas lepljenja). Običajno so to termoplasta lepila. Pri tem procesu ne pride do sprememb molekul.

Polivinilacetatna lepila utrjujejo na principu oddaje disperzijskega sredstva. Običajno je disperzijsko sredstvo voda. Ta v procesu utrjevanja izhlapi in difundira v les. Do sprememb molekul ne pride.

2.4.6.2 Kemijski način utrjevanja

Pri kemijskem načinu utrjevanja gre za kemijsko reakcijo, ki je največkrat nepovratna in je lahko:

- polimerizacija,

- polikondenzacija,
- poliadicija.

Pri kemijskem načinu utrjevanja se dogajajo spremembe na nivoju molekul. Utrjevanje poteka s pomočjo kemijskih reakcij. Molekule se povezujejo v zamrežene makromolekule. To povezovanje pa neugodno vpliva na lepilni spoj, ker prihaja do krčenja spoja. Posledica tega so napetosti v lepilnem spoju.

2.4.6.3 Kombinirano utrjevanje

Pri kombiniranem utrjevanju gre za istočasno kemijsko in fizikalno utrjevanje.

2.4.7 Dejavniki, ki vplivajo na lepljenje

Na lastnost že utrjenega lepilnega spoja vpliva več dejavnikov, ki so povezani z okoljem v katerem se spoj nahaja. Spreminjanje nekaterih lahko nadziramo, nekaterih ne moremo; vsi pa neposredno ali posredno vplivajo na lepljenje. Te dejavnike lahko razdelimo v dve skupini:

- dejavniki, ki vplivajo na oblikovanje-nastanek lepilnega spoja,
- dejavniki, ki vplivajo na lastnosti lepilnega spoja.

Na nastanek lepilnega spoja vplivajo tekočinske lastnosti lepil in sama preobrazba tekočega lepila v trdno snov. Lastnosti lepilnega spoja pa so odvisne od lastnosti utrjenega lepila in od tega kako se lepilni spoj odziva na obremenitev in degradacijo. Dejavniki, ki vplivajo na oblikovanje lepilnega spoja vplivajo tudi na lastnosti le tega, je pa razlikovanje med enimi in drugimi smiselno, ker lahko z njim prikažemo različno vlogo lepila v času nastanka vezi in po njem.

Lastnosti lepljenega izdelka niso vedno v skladu z kvaliteto lepilnega spoja. Izdelek je lahko nekvaliteten, čeprav so lepilni spoji v njem ustrezni. Na lastnost lepljenega izdelka torej vpliva še dodatna skupina dejavnikov in to so lastnosti lepilnega lepljenja, ki pa so predvsem odvisne od količine in organizacije lesa v izdelku ter interakcije lesa z okoljem v katerem se izdelek nahaja (krivljenje, gladkost, dimenzijske spremembe).

Marra (1992) razvršča dejavnike, ki vplivajo na lepljenje, v 6 skupin glede na njihov izvor. Oblikoval je tako imenovano enačbo lastnosti lepljenega izdelka (slika 26). V enačbo je vključil preko 100 spremenljivk, ki vplivajo na rezultat lepljenja. Spremenljivke, ki so zbrane v isto skupino, imajo isti izvor, žal pa ne tudi enakega učinka.

LASTNOST LEPLJENEGA IZDELKA	= 483 MPa	±Σ	DEJAVNIKI ZGRADBE LEPILA	±Σ	DEJAVNIKI LASTNOSTI LESA	±Σ	DEJAVNIKI PRIPRAVE LESA	±Σ	DEJAVNIKI UPORABE LEPILA	±Σ	DEJAVNIKI GEOMETRIJE LESA	±Σ	DEJAVNIKI UPORABE IZDELKA
Trdnost	Potencialne	Viskoznost	Vrsta lesa	Razrez	Skladiščenje	Debelina	Napetosti						
Trajnost	adhezijske	Utrjevanje	Trdnost	Površina	Tehtanje	Širina	Zunanje						
Izgled	sile	Način	Gostota	Gladkost	Mešanje	Dolžina	Strig						
		Hitrost	Stabilnost	Točnost/ravnost	Starost	delcev	Nateg						
		Stopnja	Beljava	Poškodbe	mešanice	Potek vlaken	Razcepitev						
		Trdnost	Jedrovina	Ravnina	Nanos	Vzporeden	Trajanje						
		Trajnost	Rani les	odrezavanja	Način	Prečen	Kratkotrajne						
		pH	Kasni les	Kontaminacija	Hitrost	Število slojev	Dolgotrajne						
		Topila	Permeabilnost	Inaktivacija	Količina	Vzporeden	Udarne						
		Razredčila	pH	Kot lesnih vlaken	Porazdelitev	Poravnana	Ciklične						
		Polnila	Starost	Vlažnost	Vmesni čas	Naključna	Notranje						
		Pov. volumna	Ekstraktivi	Vsebnost	Odpri	Struktura	Sprememba						
		Dod. smole	Higroskopičnost	Porazdelitev	Zaprti	Homogena	vlačnosti						
		Pov. lepljivosti	Reakcijski les	Starost površine	Polzaprti	Heterogena	Zvezna						
		Katalizatorji/	Celuloza	Impregnacijska	Okolje	Slojevita	Ciklična						
		utrjevalci	Lignin	sredstva	Temperatura	Stopnjasta	Sprememba						
		Vsebnost s. snovi	Anizotropija	Temperatura	Vlačnost	V obliki	temperature						
		Vsebnost smole	Razkroj	Kolaps	Gibanje zraka	preproge	Zvezna						
		Krčenje	Grče	Zaskoritev	Predstiskanje	Ekstrudirana	Ciklična						
		Reološke lastnosti	Prevodnost	Razpokanost	Tlak	Arhitektura/	Koncentracije						
		Velikost	Dielektrične	Zagljajenost	Temperatura	oblika	napetosti						
		Oblika	lastnosti	Prah	Stiskalnice	Velikost	Lezenje						
		Porazdelitev	Lezenje	Veženje	Lepilnega	Linearna	Popuščanje						
		molekul ali	Popuščanje	Dobava	spoja	Ravninska	Okolje						
		delcev	Variabilnost	Variabilnost	Hitrost	Prostorska	Toplota						
		Hibridi			segrevanja	Ukrivljena	Zvezno						
		Površinska			Čas stiskanja	Variabilnost	Ciklično						
		napetost			Kondicioniranje		Škodljivci						
					Variabilnost		Sevanje						
							Kemikalije						
							Kontrolirano						
							Nekontrolirano						

Slika 26: Razdelitev dejavnikov, ki vplivajo na lepljenje (Marra, 1992)

Vsi naštetni dejavniki lahko vplivajo na lastnost lepljenega proizvoda v pozitivnem ali negativnem smislu, posamezne prispevke pa lahko seštevamo. Pomembno je poudariti, da lahko en sam dejavnik s svojim negativnim vplivom preseže vse pozitivne vplive ostalih dejavnikov in onemogoči nastanek lepilnega spoja.

Med dejavniki se lahko pojavi veliko neposrednih ali kompleksnih interakcij, ki se lahko izključujejo ali dopolnjujejo. Nekateri dejavniki so poznani, drugi ne, nekateri so merljivi, nekateri niso. Skupek vplivov predstavlja neskončno mrežo nejasnih povezav in ne omogoča enoznačne rešitve za posamezno kombinacijo dejavnikov. Vrednost enačbe lastnosti je v tem, da nam pomaga razumeti celoten proces lepljenja.

Vsi dejavniki enačbe lastnosti so povezani z mobilnostjo lepila, ki tako predstavlja skupni imenovalec enačbe. Če si skušamo razložiti, kako lepilo deluje, lahko hitro ugotovimo, da so tako nastanek lepilnega spoja, kot tudi kasnejše lastnosti utrjenega lepilnega spoja, odvisne od reoloških lastnosti lepila. Proces lepljenja lahko kontroliramo in vodimo, če vemo kako posamezni dejavniki vplivajo na mobilnost lepila.

2.4.7.1 Dejavniki zgradbe lepila

Ko načrtujemo nek nov lepljen izdelek, moramo najprej izbrati primerno lepilo. Če hočemo izbrati ustrezno lepilo moramo vedeti za kaj je izdelek namenjen in v kakšnih pogojih se bo uporabljal. Le tako bomo lahko izbrali lepilo, ki bo zagotovilo dovolj trdne

in trajne lepilne spoje. Z lepljenjem naj bi dosegli spoje, ki bi imeli trdnost enako trdnosti lesa (ali večjo) (Marra.1992).

2.4.7.2 Dejavniki lastnosti lesa

Dejavniki lastnosti lesa so anatomske, mehanske, kemične in fizikalne lastnosti lesa. Večja trdnost lesa pomeni tudi težavnejše lepljenje. Na lastnost spojev močno vplivajo fizikalne lastnosti lesa, kot so npr. krčenje in nabrekanje. Posledica krčenja in nabrekanja lesa so velike napetosti, ki se oblikujejo v lepilnem spoju. Te napetosti so večje pri trših lesovih, zato je njihov negativni vpliv na lastnosti spoja močnejši, kot pri mehkejših lesovih, ki manj delujejo. Na lastnosti lepilnega spoja pa vplivajo tudi lastnosti lesa kot so: pH, kemijske lastnosti lesa in velikost por (Marra.1992).

2.4.7.2.1 Anatomska zgradba lesa

Če gledamo s stališča lepljenja lesa, so pomembne predvsem tiste anatomske značilnosti lesa, ki vplivajo na penetracijo lepila. Le ta pa je v največji meri odvisna od permeabilnosti lesa. Permeabilnost pa je odvisna od usmerjenosti lesnega tkiva, količine in velikosti vlaken in prevodnih elementov in njihovih razporeditev. Problem predstavlja predvsem delež ranega in kasnega lesa, proces ojedritve in otiljenja, prisotnost juvenilnega in reakcijskega lesa. Velik vpliv na lepljenje ima kot pod katerim potekajo lesna vlakna glede na površino lepljenja (Marra.1992).

2.4.7.2.2 Fizikalne lastnosti lesa

Med fizikalnimi lastnostmi, ki vplivajo na lepljenje lesa, so zlasti pomembne: gostota, higroskopičnost in vlažnost lesa ter njegova ravnovesna vlažnost, krčenje oz. nabrekanje in termične lastnosti (Marra.1992).

Gostota lesa ima dvojen vpliv na oblikovanje lepilnega spoja. Po eni strani ima gostejši les višjo trdnost, po drugi strani pa je gostejši les manj permeabilen, zato lepilo vanj težje penetrira (Marra.1992).

Tako kot gostota lesa ima tudi higroskopičnost dva pomena pri lepljenju lesa. Manjša higroskopičnost lesa pomeni, da bo les manj deloval, zaradi česa bodo tudi napetosti v spoju manjše, po drugi strani pa je zaradi manjše higroskopičnosti lesa slabša omočitev površine. Tak les pa je sposoben absorbirati tudi manj vode iz lepila (Marra.1992).

Vlažnost lesa in sama porazdelitev vlage v lesu vpliva tako na oblikovanje lepilnega spoja kot na kasnejše lastnosti utrjenega spoja. Višja vlažnost lesa pomeni vedno tudi večjo mobilnost lepila.

Na oblikovanje lepilnega spoja vplivajo tudi termične lastnosti lesa. Pomembna je zlasti toplotna prevodnost lesa, ki vpliva na hitrost segrevanja lepilnega spoja.

2.4.7.2.3 Mehanske lastnosti lesa

Mehanske lastnosti so za določeno lesno vrsto specifične, vendar so zelo variabilne. Obstaja zelo velika variabilnost, tako med vrstami, kot tudi v okviru iste vrste. Na trdnost lesa vpliva predvsem gostota. Poleg gostote pa so pomembni še: usmerjenost vlaken, vsebnost vlage in prisotnost reakcijskega lesa. Trdnost lesa z naraščanjem vlažnosti pada. Trdnost lesa neposredno vpliva na trdnost lepilnega spoja, vpliva pa tudi na mehansko pripravo površine lesa (Marra.1992).

2.4.7.3 Dejavniki priprave lesa

Na lastnosti lepilnega spoja vplivajo tudi dejavniki priprave lesa. Med procesom priprave lesa za lepljenje, lahko pride do velikih sprememb v lastnostih lesa. Zelo pomembno je sušenje lesa, ki vpliva na mehansko obdelavo, na stabilnost lesa, na medsebojno delovanje med lepilom in lesom ter na oblikovanje notranjih napetosti, ki so posledica delovanja lesa po lepljenju. Sušenje vpliva tudi na trdnost lesa in na lastnosti površine. Za lepljenje lesa morajo biti površine lepljencev čimbolj ravne, zato moramo površine mehansko obdelati. Med procesom mehanske obdelave oziroma priprave površine pa prihaja do poškodb podpovršinskega sloja lesa, ki ga lepimo. Priprava lesa je v procesu lepljenja ključnega pomena (Marra.1992).

2.4.7.4 Dejavniki uporabe lepila

Pri lepljenju so pomembni tudi dejavniki, ki nastopijo med pripravo lepila pred lepljenjem in uporabo lepila v času lepljenja. Ob napačni pripravi ali uporabi lepila, bi bilo tudi sicer najboljše lepilo neuporabno. Za vsako lepilo obstaja optimalen način uporabe in sicer za celoten čas od izdelave lepila do takrat, ko lepilo utrdi med dvema kosoma lesa. Pri lepilih so pomembni predvsem številni časovni intervali, kot so npr.: čas skladiščenja lepila, čas uporabnosti lepila, vmesni čas, čas segrevanja, čas stiskanja in čas potreben za kondicioniranje lepljenca. Za samo pripravo in uporabo so bolj primerna lepila, ki so bolj tolerantna in so uporabna v širših časovnih intervalih (Marra.1992).

2.4.7.5 Dejavniki geometrije površine lesa

En od dejavnikov, ki vpliva na lepilni spoj, je tudi geometrija površine lesa. Od velikosti lesnih delcev je odvisno kakšne napetosti bo moral prenesti lepilni spoj. V lameliranem lesenem nosilcu morajo imeti lepilni spoji visoko trdnost, saj se po lesu prenašajo visoke napetosti. Drugače je, ko med sabo lepimo lesna vlakna. Napetosti, ki se prenašajo iz vlakna na vlakno, so v tem primeru znatno nižje, lepilni spoj pa je dejansko sestavljen iz razpršenih točk lepila (Marra.1992).

2.4.7.6 Dejavniki uporabe izdelka

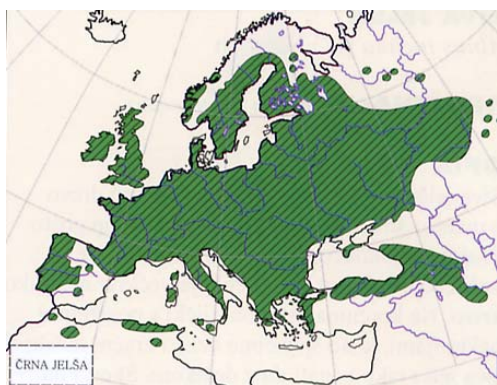
Zelo močan dejavnik, ki vpliva na lepilne spoje, je tudi vpliv zunanjih dejavnikov katerim je izpostavljen lepljen izdelek med uporabo. Med te dejavnike sodijo: vrsta in jakost napetosti katerim so izpostavljeni lepilni spoji ter dejavniki okolja, ki slabijo lepilni spoj kot so: toplota, voda in topila. Od kemične zgradbe lepil je odvisna tudi njegova trdnost in odpornost proti destruktivnim vplivom okolja (Marra.1992).

2.4.8 Opisi uporabljenih lesnih vrst in njihovih lastnosti

Pri diplomski nalogi smo za preskuse uporabili lesne vrste: jelše, macesna, lipe, breze, bukve in smreke. Spodaj navedene opise uporabljenih lesnih vrst smo povzeli po: Čufar 2001, Brus 1999 in Brus 2004.

2.4.8.1 Črna jelša (*Alnus glutinosa*)

Črna jelša je listopadna drevesna vrsta, ki je samonikla skoraj po vsej Evropi razen na skrajnem severu Skandinavije. Tako raste od Norveške (64° severne širine), Finske, Anglije, Španije in severne Afrike do osrednjih delov Sibirije (slika 27).



Slika 27: Areal črne jelše

V Sloveniji je črna jelša samonikla predvsem v nižinskih predelih. Največ je najdemo v panonskem svetu ob reki Muri in Ledavi (Murska Šuma, Črni log, Polanski log), kjer sestavlja obsežne čiste sestoje. Manjše površine pa porašča tudi po ravninah ob Ljubljani (Ljubljansko barje), Krki (Krakovski gozd), Dravi, Ščavnici, Pesnici, Dravinji, Pesnici in spodnjem delu reke Save. V Sloveniji raste do nadmorske višine največ 800 m. Kot zanimivost moramo omeniti, da je črna jelša edina drevesna vrsta v Sloveniji, za katero je dovoljen golosečni sistem gospodarjenja.

Drevo črne jelše zraste do 25 m višine, izjemoma lahko tudi do 30 m. Deblo pa je bolj ali manj vitko in ravno do vrha. Krošnja je jajčasta do stožčasta. Največji prirastek je od 5. do 20. leta, kasneje pa je prirastek manjši.

Les črne jelše je zelo kakovosten, srednje gost (gostota $\rho_0 = 450 \dots 510 \dots 600 \text{ kg/m}^3$), dokaj mehak, vendar dokaj trden z zmernim krčenjem in dobro stabilnostjo. Je rdečkasto bel, do rdečkasto rumen ali rdečkastorjav na zraku pa pordeči. Beljava in jedrovina se barvno ne ločita. Les jelše ni odporen proti atmosferilijam, pod vodo pa je zelo trajen. Vsebuje veliko čreslovin. Letnice so manj izrazite, traheje pa so razporejene difuzno ali v radialnih skupinicah. Pogosti so rdečerjavi parenhimski madeži. Naravno in tehnično sušenje poteka hitro in brez posebnih napak. Les črne jelše se dobro površinsko obdeluje z vsemi komercialnimi sredstvi. Ta žilav les se z lahkoto lepo obdeluje do gladke površine, lepo se struži in rezlja. Posebno lepo se luži. Lepljenje je dobro. Les jelše ima majhno ogrevalno moč.

Na trgu ga najpogosteje najdemo kot žagan les, občasno tudi kot luščen in rezan furnir. Uporablja se v splošnem mizarstvu, za kuhinjske pripomočke, igrače, cikle, glasbila, kemično predelavo, kot les za struženje in rezljanje ter za izdelavo vlaknenih in ivernih plošč.

2.4.8.2 Evropski macesen (*Larix decidua*)

Evropski macesen ima deljen areal, ki obsega 4 med seboj ločena območja: Alpe, Karpate, Sudete in južno Poljsko (slika 28). Macesni s teh območij se med seboj razlikujejo v nekaterih morfoloških (višina, oblika krošnje, velikost in oblika storžev) in fizioloških značilnostih (višinski in debelinski prirastek, količina eteričnih olj, ind.). Alpski macesen raste od Zahodnih Alp (italijansko-francoska meja) do podnožja Vzhodnih Alp (Dunaj) v nadmorski višini 400 m do 2400 m. Sudetski macesen dobimo v jugovzhodnih Sudetih, deloma na Češkem (Moravska), deloma na Poljskem (južna Šlezija) v nadmorski višini 350 m do 800 m. Poljski macesen se nahaja v nižinskih predelih južne in srednje Poljske med 200 m in 600 m. Karpatski macesen pa raste v več ločenih predelih, in sicer na Slovaškem (slovaški macesen), in v Romuniji (romunski macesen) v nadmorski višini 400 m do 1800 m.



Slika 28: Areal Evropskega macesna

V Sloveniji raste macesen predvsem na apnencu, v vetrovnih legah na svežih in humanih tleh z visoko zračno vlago. V nižjih legah ga najdemo predvsem na severnih pobočjih, v višjih pa na južnih. Tako pri nas raste predvsem v Julijskih in Savinskih Alpah ter v Karavankah v nadmorski višini od 560 m do 1590 m. Gospodarsko pomembni sestoji so do višine približno 1600 m. Na postojnskem, kočevskem in novomeškem območju pa so ga posadili tudi v gozdnih nasadih. Kot okrasno drevo pa ga najdemo v vseh delih Slovenije.

Evropski macesen je do 40 m visoko in 1,5 m debelo listopadno iglasto drevo. Je predvsem v mladosti hitrorastoča drevesna vrsta, saj že v prvem letu zraste 10 cm do 15 cm ali pa celo do 50 cm. Najhitrejšo rast v višino ima med 5. in 20. letom, ko znaša višinski prirastek tudi do 1 m. Deblo je izrazito do vrha krošnje, je ravno, polnolesno in je tudi pri prosto rastočih osebkih visoko in brezvejno. Vrhne veje so obrnjene navzgor, ostale so vodoravne ali nekoliko visijo. Iz debla razraščajo brez pravega reda in hitro odmirajo in odpadajo.

Les macesna imenujemo macesnovina. Ta je trpežen, srednje trd, srednje težak, zelo elastičen, in predvsem zaradi svoje barve in svojih lastnosti izjemno cenjen. Njegova gostota (gostota $\rho_0 = 400 \dots 550 \dots 820 \text{ kg/m}^3$) je odvisna od samega rastišča. Tako je macesnovina, ki raste na višjih nadmorskih višinah gostejša in trdnjša. Beljava macesnovine je precej ozka in je rumenkasta do rdečkasto bela, jedrovina pa sprva rdečkastorjava, kasneje pa potemni do rdečerjave oz. temnorjave barve. Macesnovina vsebuje smolne kanale, ki pa so majhni, posamični in vidni le z lupo. Branike so zelo razločne, prehod iz ranega v kasni les pa je oster. Kasni les je pogosto širok. Svež les ima močno aromatičen vonj. Krčenje lesa je zmerno, stabilnost pa dobra. Les je odporen proti glivam in precej odporen proti atmosferilijam in kislinam. Je zelo trajen tudi v vodi. Žaga, skoblja, vrta in brusi se dobro, v kolikor ni prisoten spiralen potek aksialnih elementov ali pa visoka vsebnost smole, ki se lepi na rezila. Naravno in tehnično sušenje poteka hitro, vendar je jedrovina nekoliko nagnjena k pokanju. Pri površinski obdelavi lahko zaradi smole pride do težav pri lakiranju s poliestrskim lakom. Za konstrukcije na prostem pa se priporoča zaščita z lazurami. Macesnovina je les z srednjo ogrevalno močjo.

Macesnovino so v preteklosti uporabljali predvsem za izgradnjo posod na visokogorskih kmetijah, za izgradnjo hiš, ter celotne notranje opreme poslopij v gorskih predelih. Še posebej so bile cenjene skodle. V velikih količinah so ga uporabljali za gradnjo ladij, пристanišč in mostov. Danes ga na trgu najdemo predvsem kot žagan les, redkeje pa kot luščen ali rezan furnir. Tako se danes uporablja predvsem za splošno in stavbno mizarstvo, za zunanje in notranje konstrukcije, okvire, okna, vrata, pohištvo, kot rezan furnir, za stenske in stropne obloge, pode, kot les za rezljanje in struženje, kot rudniški les, za železniške pragove, jambore in drogove, vodne konstrukcije, za mostove, ladjedelništvo, vagoni, karoserije, sode, kot les za kemično predelavo in za vlaknene ter iverne plošče.

2.4.8.3 Lipa (*Tilia grandifolia*)

Lipa je srednje in južноеvropska vrsta. Severna meja njenega areala sega do Poljske, srednje Nemčije in do juga Velike Britanije. Poleg tega pa raste še na zahodu Male Azije, Krimu in na Pirenejskem, Apeninskem in Balkanskem polotoku (slika 29).



Slika 29: Areal lipe

Na Slovenskem je Lipa kot simbol narodnosti, zato jo zelo pogosto najdemo kot okrasno drevo, zlasti v vaških središčih, na trgih in ob cerkvah. Naravno je razširjena v velikem delu Slovenije. Čistih lipovih sestojev sicer nimamo, jo pa največkrat najdemo kot primes

v hrastovih in različnih bukovih združbah v gorskem pasu, pogosto v družbi velikega jesena, gorskega javorja, gorskega bresta in lipovca.

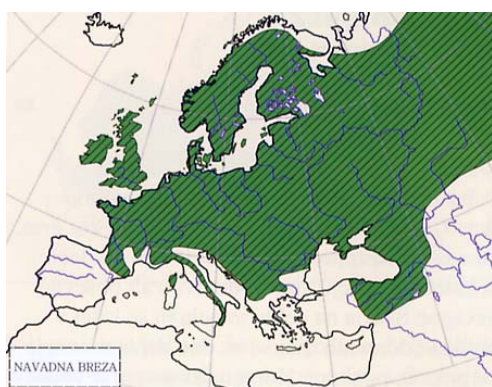
Drevo lipe zraste v višino do 40 m, v debelino pa kar do 5 m. V povprečju doseže starost okrog 500 let. Deblo je ravno in pravilno, krošnja na prostem široka in debelo vejnata, v gozdu pa ožja.

Lipov les je mehak, zelo lahek, nedekorativen, dokaj elastičen, žilav, belkast ali rumenkast, prijetno dišeč in srednje gost (gostota $r_0 = 320 \dots 490 \dots 560 \text{ kg/m}^3$). Gostota precej niha in je odvisna od rastišča. Beljava in jedrovina se barvno ne ločita. Letnice so manj izrazite. Lipovina se dobro obdeluje, je primerna za rezljanje in struženje. Lahko se cepi, žeblija in vijači. Krivljenje lesa je zmerno lahko. Les se zelo krči, po sušenju pa je dokaj stabilen, je nagnjen k pokanju in obarvanju. Sušiti se mora zelo počasi (temperatura pod 60°C , RZV pod 60%). Lipovina se dobro lepi. Površinska obdelava pa je dobra z vsemi znanimi sredstvi. Les je nagnjen k modrenju in zelenkastemu obarvanju, je dokaj neodporen in po parjenju rad postane lisast.

Na trgu ga v glavnem najdemo kot žagan les, občasno pa tudi kot luščen furnir. Uporablja se predvsem: v splošnem mizarstvu, za vezan les, vlaknene plošče, papir, celulozo, lesno volno, sredice, kot les za rezljanje in struženje, za svinčnike, embalažo, vžigalice, razne modele, zamaške sodov, igrače in risalne deske. Iz lipovine izdelujejo tudi odlično oglje, ki ga uporabljamo za risanje. Kot posebnost pa moramo omeniti tudi zdravilne lipove cvetove in liste, ki so zelo prijetnega in močnega vonja.

2.4.8.4 Navadna breza (*Betula pendula*)

Breza je drevesna vrsta z zelo velikim arealom, ki obsega pretežni del Evrope od Skandinavije (65° severne širine) do severne Španije, Sicilije in Kavkaza, proti vzhodu pa sega do Mongolije in Japonskega morja. Samonikla je tudi v severni Afriki, na vzhodu v vsej Sibiriji in na jugovzhodu na Kavkazu (slika 30).



Slika 30: Areal navadne breze

V Sloveniji jo najdemo praktično vsepovsod. Največkrat raste posamezno ali pa v manjših skupinah. Čiste sestoje, na nekoliko večjih površinah, tvori le na degradiranih tleh, ki pa so dandanes že preveč osiromašeni. Nekoč je bila zelo značilna drevesna vrsta belokranjskih stelnikov, kočevskih košenic, dolenskih pašnikov in gozdnih robov. Danes pa prave

steljnike najdemo skoraj samo še na nekaj manjših površinah med Metliko in Drašiči. Večji delež breze v gozdu pa je samo prehodni, saj so jo nadomestile zahtevnejše drevesne vrste. Zato je breza v Sloveniji danes redkejša kot je bila pred pol stoletja.

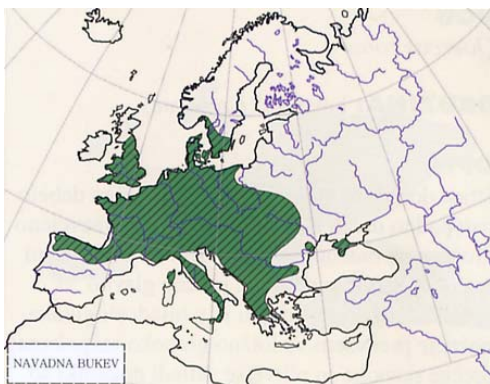
Breza je raztreseno porozna in listopadna drevesna vrsta, ki zraste do višine 30 m in premera od 0,4 m do 0,6 m. Je pionirska drevesna vrsta, s kratko, do največ 100 let trajajočo življenjsko dobo. Deblo je vitko in bolj ali manj ravno do vrha. Veje so tanke, viseče in ustvarjajo rahlo, svetlo krošnjo. Prirastek v prvih letih je počasen, potem pa vedno večji. Največji prirastek, pa doseže med 15 in 20 letom. Kasneje pa rast spet zastaja.

Brezovina je srednje gost (gostota $r_0 = 460...610...800 \text{ kg/m}^3$), rumenkast do rumenkastobel les breze, ki na zraku potemni. Jedrovina in beljava se barvno ne ločita. Za sveže posekan les je značilno oranžno rdečkasto oksidativno obarvanje, ki pa z osušitvijo izgine. Je srednje težak, srednje trd, slabo cepljiv in zelo elastičen les. Branike niso izrazite, traheje so vidne z lupo kot svetle pike. Trakovi so tenki, vendar se zaradi grupiranja (agregirani) zdijo zelo široki. Les nima dekorativnega videza. Cepi se dokaj težko. Pri sušenju se zmerno krči in je nagnjen k zvijanju in pokanju. Na prostem ni trajen, trajnejši je pod vodo. Brezovina se lahko obdeluje, lepo se tudi struži. Pri lepljenju, luženju in površinski obdelavi ni težav, le pri uporabi poliesterskih lakov je potrebna uporaba izolatorja. Ima pa zelo veliko ogrevalno moč.

Uporabnost brezovine je zelo različna od kolarstva, strugarstva, rezbarstva, mizarstva do vezanih plošč, celuloze, športnih orodij in umetne svile. Iz nje izdelujejo celo okvirje za slike, zobotrebce, tobačne pipe in oglje. Uporablja pa se tudi brezov sok in to predvsem v kozmetični industriji.

2.4.8.5 Navadna bukev (*Fagus sylvatica* L)

Bukev je prava listopadna evropska drevesna vrsta. Severna meja njenega areala sega preko južne Skandinavije, vzhodna od Poljske in ob vzhodnem obrobju Karpatov do Krima in Kavkaza. Na jugo poteka preko Male Azije, južnega dela Balkanskega polotoka (do srednje Grčije), Italije in Korzike do severozahodne Španije. Od tu se bukev razprostira po vsej zahodni Evropi, vključno z Anglijo do Danske in Skandinavije na severu (slika 31).



Slika 31: Areal navadne bukve

V Sloveniji je bukev najpogostejša drevesna vrsta in je splošno razširjena vsepovsod, razen v poplavnih področjih Pomurja in Podravja ter Primorju. Zelo je cenjena tudi v parkih in drevoredih. Glede na to v katerem delu Slovenije najdemo bukove gozdove jih razdelimo na: submediteranske (gozdovi na obmorski strani Dinaridov nad pasom gabrovca z ojstrico), predgorske (zlasti gričevni predeli na Notranjskem in Dolenjskem), predalpske in dinarske.

Drevo bukve zraste tudi do 50 m višine in premera do 2 m. Deblo je v večini primerov bolj ali manj ravno in pogosto razvito do vrha, krošnja pa je velika, gosta in zaobljena. Bukev sprva raste zelo počasi, zlasti, če je v gosti senci ali v višjih ali hladnejših legah. V normalnih razmerah zraste v 20. letu starosti do 3 m, v izjemnih primerih pa lahko komaj 20 cm. Ko se prebije iz goste sence v prostor z več svetlobe, raste razmeroma hitro in svojo največjo višino doseže okoli stotega leta. Doživi 200 do 300 let.

Les bukve (bukovina) ima visoko gostoto ($\rho_0 = 490 \dots 680 \dots 880 \text{ kg/m}^3$), je trd, trden in težak, vendar je na prostem neobstojeen les. Se zelo krči in nabreka. Stabilnost je neugodna, trdnostne lastnosti pa so glede na gostoto nadpovprečno visoke (zelo dobra upogibna trdnost). Bukovina je zelo žilava in malo elastična. Je rdečkastobebe barve, v kolikor ni prisotnosti diskoloriranega lesa se beljava in jedrovina barvno ne ločita. Diskoloriran les se pojavlja večinoma pri starejših drevesih, ki pa je ponavadi bolj rdečejav in ga pri bukvi imenujemo »rdeče srce«. Za rdeče srce pa je značilno močno otiljenje trahej, ki med drugim otežuje impregnacijo lesa. Branike so razločne. Kasni les vsebuje manj trahej in je nekoliko temnejši od ranega. Traheje so difuzno razporejene, so velikosti $100 \mu\text{m}$ in so na prečnem prerezu vidne z lupo. Zelo značilni so številni in široki trakovi, ki so na površini vidni kot rdečkasta vretenca, na radialni pa kot očitna, do več milimetrov visoka zrcala, ki zelo vplivajo na izgled lesa. Delež juvenilnega lesa je zanemarljiv, možen pa je obilnejši pojav tenzijskega lesa. Les se zelo dobro cepi, struži, lušči, reže v furnirje in predvsem po parjenju se zelo dobro upogiba. Zelo dobro se žeblija, vijači, lepi in polira. Ročna ali strojna obdelava je enostavna, zaradi visoke gostote lesa je nekoliko povečano le krhanje orodij in nekoliko povečana poraba energije. Z izjemo rdečega srca se dobro impregnira. Nezaščiten bukovina je podvržena okužbi z glivami in insekti in je le zmerno trajna. Za sušenje se, zaradi visoke gostote, nagnjenosti k diskoloraciji, zvijanju, pokanju in nastanku rjavordečih obarvanj, priporoča blag režim sušenja. Površinsko se brez težav obdeluje z vsemi komercialnimi laki. Bukovina nima specifičnega vonja in okusa ima pa veliko ogrevalno moč.

Zaradi pogostosti (je naš najbolj razširjen listavec), velikih dimenzij in dobrih lastnosti bukovega lesa je bukev gospodarsko najbolj pomembna drevesa vrsta pri nas. Na trgu jo najdemo kot hlodovino, žagan les, furnir, vezan les in razne polizdelke. Ločeno se prodaja neparjena, parjena in beljena bukovina. Je zelo uporaben les in se uporablja za gradbeno mizarstvo, stopnice, opaže, parket, pohištvo, palete, igrače, vezane, furnirske, mizarske, iverne in vlaknene plošče, celulozo in celo za zelo kvalitetno oglje. Krivljen in vezan les se uporablja predvsem za šolsko in pisarniško pohištvo, pri katerem je potrebna predvsem trda površina. Ustrezno obdelan in prepariran les bukve pa je odličen za izdelavo železniških pragov.

2.4.8.6 Navadna smreka (*Picea abies*)

Smreka je Evropska drevesna vrsta. Vzhodna meja njenega areala poteka od Finske do Karpatov, južna je na Balkanu in v Pirenejih, zahodna pa v osrednji Franciji. Na severu sega v Skandinavijo skoraj do 70° severne širine. Na severovzhodu pa sklenjeno prehaja v areal sibirska smreke. Je borealno-alpska rastlina in ji ugaja hladnejše celinsko podnebje z obilo padavinami, ki ohranjajo sveža tla in vlažno ozračje (slika 32).



Slika 32: Areal navadne smreke

V Sloveniji naravno raste v dveh predelih, v Alpah v nadmorski višini od 800 m do 1800 m in v Dinarskem gorstvu v mraziščih od 600 m do 1000 m nadmorske višine. Sajena in pospeševana pa danes raste po vsej Sloveniji, izjema so samo močvirna rastišča v panonskem svetu, obrečne nižine in suhi predeli sredozemskega sveta. V zadnjih nekaj stoletjih so se pod gospodarskim vplivom razvili predvsem širni smrekovi gozdovi na Pohorju, Jelovici in Pokljuki. V Dinarskem svetu pa se smreka pojavlja v mraziščnih dolinah in v vrtačah, kjer se zadržuje hladen in vlažen zrak. Lepo razvita mrazišča smrekovja v Sloveniji so v Trnovskem gozdu, na Kočevskem in v Snežniškem pogorju. Najdemo jo tudi v nižinskem delu Slovenije, vendar pa je tam večinoma antropogenega nastanka.

Smreko so podobno kot v vsej srednji Evropi tudi v Sloveniji močno razširili v 2. polovici 19. stoletja. Zaradi hitre in ravne rasti ter kakovostnega lesa je omogočila največji vrednostni prirastek na enoto površine. Nekoč redkeje razširjena smreka je tako postala naša gospodarsko najpomembnejša drevesna vrsta po podatkih iz leta 2001 je smreka z 32 % lesne zaloge skupaj z bukvijo naša najpogostejša drevesna vrsta.

Smreka je vednozeleno, do 50 m visoko iglasto drevo s stožčasto krošnjo. Deblo je ravno, gladko, enakomerno razvito do vrha in polnolesno. Rast je v prvih letih počasna in je močno odvisna od količine svetlobe, ki prodre do listov. Več svetlobe pomeni večji prirastek in obratno. Pospeševanje rasti traja do približno 35. leta, ko je na višku in tedaj prirašča do 70 cm letno. Doseže starost je do 300 in več let.

Smrekovina je lahek, mehak, elastičen les smreke. Njegova gostota (gostota $\rho_0 = 300...430...640 \text{ kg/m}^3$) je nizka do srednja in močno variira, odvisna pa je od samega

rastišča. Les je večinoma rumenkastobel, v starosti tudi rumenkastorjav, ki vsebuje smolne kanale, ti pa so majhni, vidni le s pomočjo lupe in so pretežno posamezni. Smrekovina ima neobarvano jedrovino zato se beljava in jedrovina barvno ne ločita. Svež les diši po smoli. Širina branik je odvisna od rastišča in je lahko zelo ozka ali pa zelo široka. Branike pa so zelo razločne. Prehod iz svetlega, belkastega ranega lesa do rdečkastorumenega kasnega lesa je večinoma postopen. Krčenje je zmerno. Les se lahko cepi, lepo lušči in je le malo nagnjen k zvijanju in pokanju. Obdeluje se z lahkoto, brez težav se površinsko obdeluje z vsemi komercialnimi laki, lepi se dobro, suši se brez težav, dobro pa se tudi žeblja in vijači. Nezaščiten les je le zmerno odporen proti atmosferilijam in neodporen proti insektom in glivam. Pri uporabi na prostem mora biti zato smrekovina pravilno vgrajena in zaščiten oz. površinsko obdelana. Zaradi nizke vsebnosti ekstraktivov je les kemično komajda aktiven. Ob stiku z vodo, kislinami, bazami, alkoholom, maščobami, olji, bakrom ali medenino ne pride do obarvanja. Ob stiku z železom se les sivkasto obarva, železo pa ne korodira.

Smrekovina se uporablja v gradbeništvu, pohištveni industriji, papirni industriji, pri izdelavi glasbil in celo za novejša drevesa. Poseben pomen ima kot gradbeni in konstrukcijski les za visoke in nizke gradnje. Uporablja se za ostrešja in konstrukcije v industrijskih halah, športnih dvoranih, za mostove, za rudniške in ogrodne konstrukcije, za skeletne konstrukcije, stene, stropne, stopnice, okna, fasade, vrata, tla, balkone, pergole, vhodna vrata, in ograje, za betonske opaže, drogove, zaboje, palete, igrače in talne kocke. Primerna je tudi za proizvodnjo lesnih tvoriv (vezane plošče, mizarske plošče, iverne in vlaknene plošče), kot tudi za proizvodnjo celuloze in papirja. Na trgu jo najdemo kot hlodovino, žagan les in furnir.

3 MATERIAL IN METODE

Cilj diplomske naloge je bil razvoj novega lesnega kompozita, namenjenega za konstrukcijske uporabo in ugotovitev njegovih mehanskih lastnosti. Izdelali smo lepljence različnih sestavov in iz različnih lesnih vrst. Lepili smo z dvema vrstama lepil in po vročem ter hladnem postopku. Ugotavljali smo mehanske lastnosti samega masivnega lesa ter lepljencev in jih med sabo primerjali ter ugotavljali razlike. Po lepljenju pa smo izmerili in izračunali tudi izgubo debeline, gostoto in vlažnost. Nekatere fizikalne in mehanske lastnosti uporabljenih lesnih vrst so prikazane v preglednici 1.

3.1 UPORABLJENE LESNE VRSTE

V diplomski nalogi smo poleg lesa buke in smreke, ki sta na slovenskem gospodarsko pomembni lesni vrsti, uporabili pri nas gospodarsko manj pomembne lesne vrste: črno jelšo, macesen, lipo in brezo.

Delež nekaterih drevesnih vrst je na ozemlju Slovenije izredno nizek, medtem ko nekaterih precej visok in znaša za (Eleršek, 2001):

- črno jelšo: 0,6 %,
- evropski macesen: 1,2 %,
- lipo: 0,4 %,
- navadno brezo: 0,3 %,
- navadno bukev: 31,6 %,
- navadno smreko: 32,5 %.

Preglednica 1: Nekatere lastnosti uporabljenih lesnih vrst

	Črna jelša	Evropski macesen	Lipa	Navadna breza	Navadna bukev	Navadna smreka
Gostota ρ_0 (kg/m ³)	450..510..600	400..550..820	320..490..560	460..610..800	490..680..880	300..430..640
E – modul iz upogiba (GPa)	7...12	12	7	14	14	10
Tlačna trdnost vzporedno s potekom aksialnih elementov (N/mm ²)	51	55	49	61	53	43
Upogibna trdnost vzporedno s potekom aksialnih elementov (MPa)	85...97	93	90...106	120	120	66

3.2 UPORABLJENO LEPILO

V raziskavi smo uporabljali dve vrsti lepila z oznakama A in B

3.2.1 Lastnosti lepila A

Lepilo A je bilo fenol-formaldehidno lepilo za proizvodnjo vezanega lesa, za slojnat les in podobne proizvode (furniranje in lepljene podobnih lesnih sortimentov). Uporabljamo ga

za vroče lepljenje. Če mu dodamo še utrjevalec BP-345 pa lahko lepimo tudi v hladnem. Lastnosti lepila A so prikazane v preglednici 2.

Preglednica 2: Lastnosti lepila A

Lastnost:	Količina:
Delež suhe snovi:	45% - 46 %
Vsebnost alkanov:	7 % - 8%
Viskoznost pri temperaturi 20°C:	90 s - 110 s
Delež NaOH:	6 % - 7 %
Delež prostega formaldehida:	< 0,2 %
Delež prostega fenola:	< 0,2 %
Čas skladiščenja pri T 20°C:	min 30 dni

3.2.2 Lastnosti lepila B

Lepilo B je bilo enokomponentno, belo PVAc lepilo. Primerno je za vroča in hladna lepljenja. Ima izboljšan oprijem za lesne vrste, kot sta npr. hrast in macesen. Primerno je predvsem za lameliranje okenskih profilov in drugih podobnih lepljencev. Lastnosti lepila B so prikazane v preglednici 3.

Preglednica 3: Lastnosti lepila B

Lastnost:	Količina:
Čas stiskanja pri 20°C	120 min
Čas stiskanja pri 70°C	1 min
Vlažnost lesa	8 – 15 %
Količina nanosa	150 – 180 g/m ²
Odprti čas pri 150g/m ²	8 – 9 min
Viskoznost pri temperaturi 20°C:	140 s
Čas skladiščenja pri T 20°C:	min 6 mesev

3.3 ZASNOVA EKSPERIMENTA

3.3.1 Priprava preskušancev

Za eksperiment smo uporabili zračno suhe plohe, debeline 50 mm, naslednjih lesnih vrst: črne jelše, breze, bukve, lipe, macesna in smreke. Iz vsake lesne vrste smo izdelali lamele dimenzij 550 x 55 x 30 mm (slika 33) in jih označili. Ker so imele lamele različno vlažnost, smo jih štiri tedne sušili v sušilni komori (slika 34) in jih posušili na vlažnost 12 %. V komori je bila temperatura 20 ± 2 °C in relativna zračna vlažnost (RZV) 60 ± 5 %.



Slika 33: Pripravljene vzorci lesa dimenzij 550 x 55 x 30 mm

Po klimatiziranju smo za vsako lesno vrsto v komori pustili po osem lamel za preskus mehanskih lastnosti masivnega lesa, ostale lamele pa smo obdelali na dimenzije 550 x 55 x 4 mm (slika 35) in jih za dva tedna zložili v klima komoro (slika 36), s temperaturo 20 ± 2 °C in relativno zračno vlažnostjo 65 ± 5 %. S tem smo dosegli enakomerno vlažnost po celotnem prerezu lamel.



Slika 34: Prikaz klimatiziranja lesa v komori ($T = 22^{\circ}\text{C}$, RZV = 55 – 65 %) pred razžagovanjem na lamele



Slika 35: Izdelava lamel dimenzij 550 x 50 x 4 mm za lepljenje



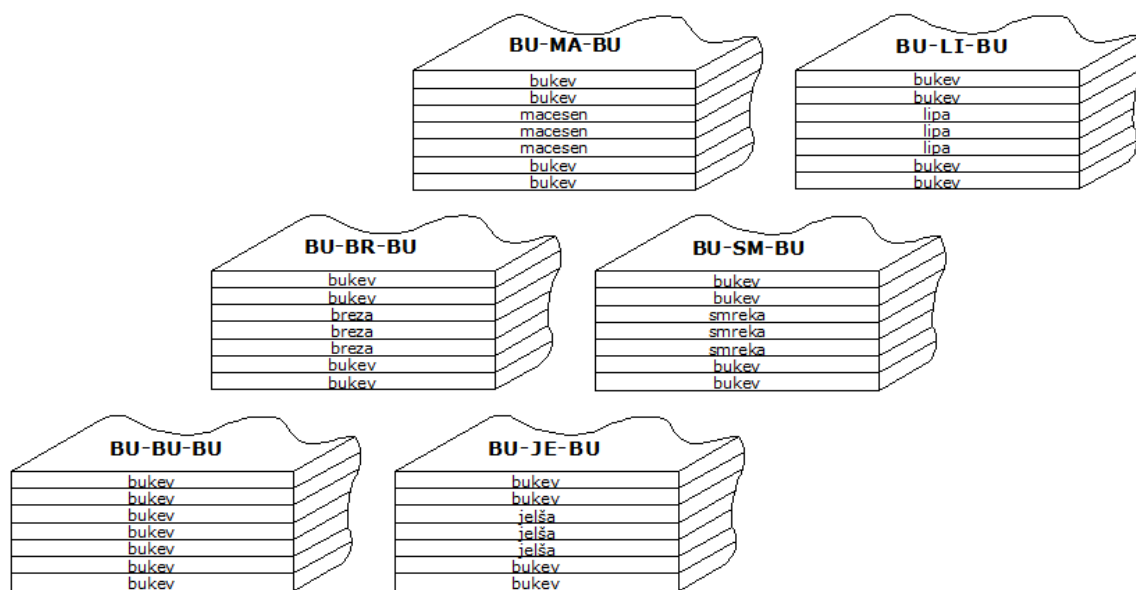
Slika 36: Klima komora za kondicioniranje lesa v normalnih pogojih ($T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{RZV} = 65\%$)

3.3.2 Sestava lepljenca in merjenje debeline lamel

Po končani klimatizaciji smo lamele na kontaktnem brusilnem stroju (slika 37) zbrusili na 3,5 mm. Pri tem smo pazili, da smo lamele brusili največ 24 ur pred lepljenjem, da smo s tem ohranili čim bolj svežo površino za lepljenje. Po brušenju smo lamele najprej sestavili v ustrezne sestave lepljenec. Sestavljali smo tako, da smo lesove med sabo kombinirali kot prikazuje slika 38.



Slika 37: Kontaktni brusilni stroj za brušenje lamel pred lepljenjem



Slika 38: Sestava lepljencev iz lamel različnih lesnih vrst

Pred samim lepljenjem smo vsaki lameli izmerili debelino za kasnejši izračun izgube debeline med lepljenjem. Debelino lamel smo merili po standardu SIST EN 324. Z mikrometrom smo izmerili debelino na 0,01 mm natančno.

3.3.3 Lepljenje preskušancev

Za lepljenje preskušancev smo uporabili dva postopka lepljenja in sicer vroč postopek z lepilno mešanico A in hladen postopek z lepilno mešanico B.

Vroče lepljenje je potekalo v enoetažni visokotemperaturni stiskalnici (slika 39) v laboratoriju Katedre za žagarstvo in lesna tvoriva na Biotehniški fakulteti.

Hladno lepljenje pa je potekalo v enoetažni stiskalnici (slika 40) v delavnici podjetja Ščernjavič s.p..



Slika 39: Enoetažna visokotemperaturna stiskalnica za lepljenje



Slika 40: Enoetažna stiskalnica za hladno lepljenje

3.3.3.1 Določitev parametrov vročega lepljenja

Naenkrat smo v stiskalnici lepili po 2 preskušanca.

Temperaturo lepljenja smo nastavili na stiskalnici, kjer smo grelne plošče segreli na 150°C.

Čas lepljenja smo določili tako, da smo osnovnemu času, ki ga je predpisal proizvajalec lepila, prišteli še čas, ki je potreben za prehod toplote skozi lepljenec. Tako je čas lepljenja po vročem postopku znašal 12 min.

Specifični tlak lepljenja smo izračunali glede na parametre stiskalnice in na dimenzije lepljencev po formuli in je znašal 16 bar.

Nanos lepilne mešanice je znašal 170 g/m². Nanos smo uravnavali s tehtanjem z laboratorijsko tehtnico, kjer smo tehtali na 0,01 g natančno. Lepilo pa smo nanašali ročno s čopičem.

3.3.3.2 Določitev parametrov hladnega lepljenja

Hladno lepljenje je potekalo pri sobni temperaturi, tako je temperatura lepljenja znašala 22°C.

Čas lepljenja je predpisal proizvajalec lepila in je znašal 120 minut.

Specifični tlak lepljenja je znašal 16 bar.

Nanos lepilne mešanice je znašal 170 g/m². Nanos smo uravnavali s tehtanjem na laboratorijski tehtnici, kjer smo tehtali na 0,01 g natančno. Lepilo pa smo nanašali ročno s čopičem.

3.3.4 Ugotavljanje in izračun izgube debeline po lepljenju

Po lepljenju smo lepljence vzeli iz stiskalnice, jih 24 ur klimatizirali v standardni klimi in jim nato na treh mestih izmerili debelino, z mikrometrom na 0,01 mm natančno. Na osnovi podatkov, ki smo jih dobili z merjenjem debeline posameznih lamel in debeline po končanem lepljenju, smo izračunali izgubo debeline (V):

$$V(\%) = \frac{\sum d_f - d_p}{\sum d_f} \cdot 100\% \quad \dots (1)$$

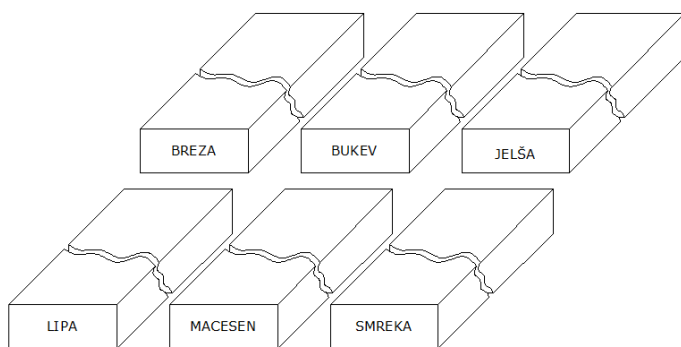
kjer je:

$\sum d_f$ - vsota debelin posameznih lamel

d_p - debelina lepljenca po lepljenju

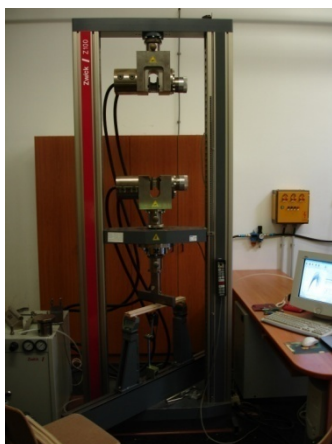
3.3.5 Ugotavljanje mehanskih lastnosti

Po končanem merjenju debelin smo izvedli teste mehanskih lastnosti tako masivnega lesa (slika 41) kot lepljencev. Teste smo izvajali na napravi za testiranje mehanskih lastnosti Zwick Z100 (slika 42) na katedri za Žagarstvo in lesna tvoriva na Oddelku za lesarstvo na Biotehniški fakulteti. Ugotavljali smo modul elastičnosti in upogibno trdnost po standardu SIST EN 310 (slika 43).

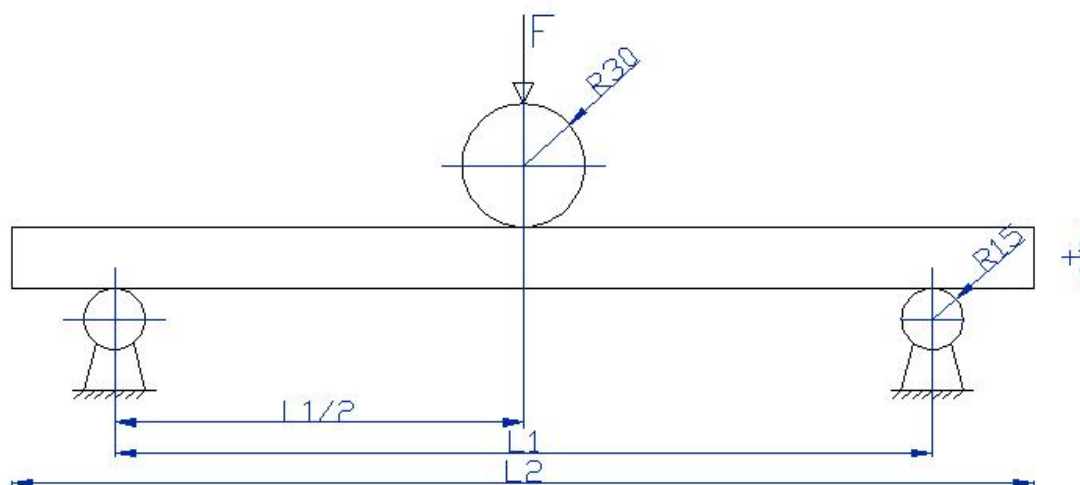


Slika 41: Preskušanci iz masivnega lesa

Test mehanskih lastnosti smo izvajali tako, da smo najprej preskušanec položili na napravo za testiranje mehanskih lastnosti. Nato smo v računalnik, ki je povezan z napravo za testiranje, vnesli potrebne parametre (na primer: debelino preskušanca), ki jih je računalniški program zahteval. Ko smo to naredili, smo preizkus izvedli. Rezultat preizkusa nam je računalniški program podal kot modul elastičnosti, silo loma in upogibno trdnost. Do loma je moralo priti v času 60 ± 30 sekund. Pogoji v katerih smo izvajali poizkus so bili sledeči: $T=20^{\circ}\text{C}$ in $RZV=65\%$.



Slika 42: Naprava za testiranje mehanskih lastnosti Zwick Z100



Slika 43: Shema testa za preizkus mehanskih lastnosti (SIST EN 310)

Upogibno trdnost (f_m) smo izračunali po formuli:

$$f_m = \frac{3 \cdot F_{\max} \cdot L_1}{2 \cdot b_2 \cdot t^2} \quad \dots (2)$$

kjer je :

- $F_{\max}$... sila loma (N),
- L_1 ... razdalja med podporama (mm),
- b_2 ... širina preizkušanca (mm),
- t ... debelina preizkušanca (mm).

Modul elastičnosti (E_m) smo izračunali po formuli:

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

kjer je :

- F_{10} ... 10% maksimalne sile (N),
- F_{40} ... 40% maksimalne sile (N),
- b_2 ... širina preizkušanca (mm),
- t ... debelina preizkušanca (mm),
- a_{10} ... uklon pri 10% maksimalne sile (mm),
- a_{40} ... uklon pri 40% maksimalne sile (mm),
- L_1 ... razdalja med podpornikoma (mm).

3.3.6 Ugotavljanje vlažnosti

Ugotavljanje vlage v lesu smo izvedli po standardu SIST EN 322:1993. Po končanem mehanskem testu smo iz vsake skupine preskušancev izbrali štiri iz katerih smo nato na miznem krožnem žagalnem stroju izžagali preskušance dimenzij 50 x 50 mm. Nato smo preskušance stekali na laboratorijski tehtnici na 0,01 g natančno. Po tehtanju smo preskušance dali v laboratorijski sušilnik s temperaturo 103 ± 2 °C (slika 44). Po opravljenem sušenju do konstantne mase smo vzorce za 30 minut dali v eksikator s silika gelom. Vzorce smo ponovno stekali na 0,01 g natančno ter izračunali vlažnost vzorcev (H) po naslednji formuli:

$$H = \frac{m_H - m_0}{m_0} \times 100 \quad \dots (4)$$

kjer je :

H – vlažnost (%)

m_0 – masa testnih preskušancev po sušenju (g)

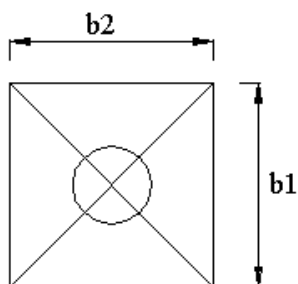
m_H – začetna masa testnih preskušancev (g).



Slika 44: Sušenje preskušancev v laboratorijskem sušilniku

3.3.7 Ugotavljanje gostote lesnih vrst (SIST EN 323:1993)

Gostoto preskušancev smo ugotavljali po standardu SIST EN 323:1993. Uporabili smo enake preskušance kot pri ugotavljanju vlažnosti lesa. Preskušance smo s pomočjo kljunastega merila na 0,1 mm natančno izmerili dolžino in širino. Debelino smo merili na središču diagonal s pomočjo mikrometra na 0,01 mm natančno (slika 45). Na koncu smo preskušance še stekali z laboratorijsko tehtnico na 0,1 g natančno.



Slika 45: Merjenje dimenzij preskušancev za ugotavljanje gostote

Gostoto preskušancev (ρ) smo izračunali po enačbi:

$$\rho = \frac{m}{b_1 \times b_2 \times t} \times 10^6 \quad \dots (5)$$

kjer je:

ρ – gostota preskušancev (kg/m^3)

m – masa preskušancev (kg)

b_1 – širina preskušancev (mm)

b_2 – dolžina preskušancev (mm)

t – debelina preskušancev (mm)

4 REZULTATI

V preglednicah od št. 4 do št. 8 so prikazani rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti, izgube debeline, vlažnosti in gostote. Rezultati so prikazani z osnovno statistiko, posamični rezultati pa so priloženi v prilogi. V vsaki preglednici posebej so podatki posameznih meritev oziroma izračuna.

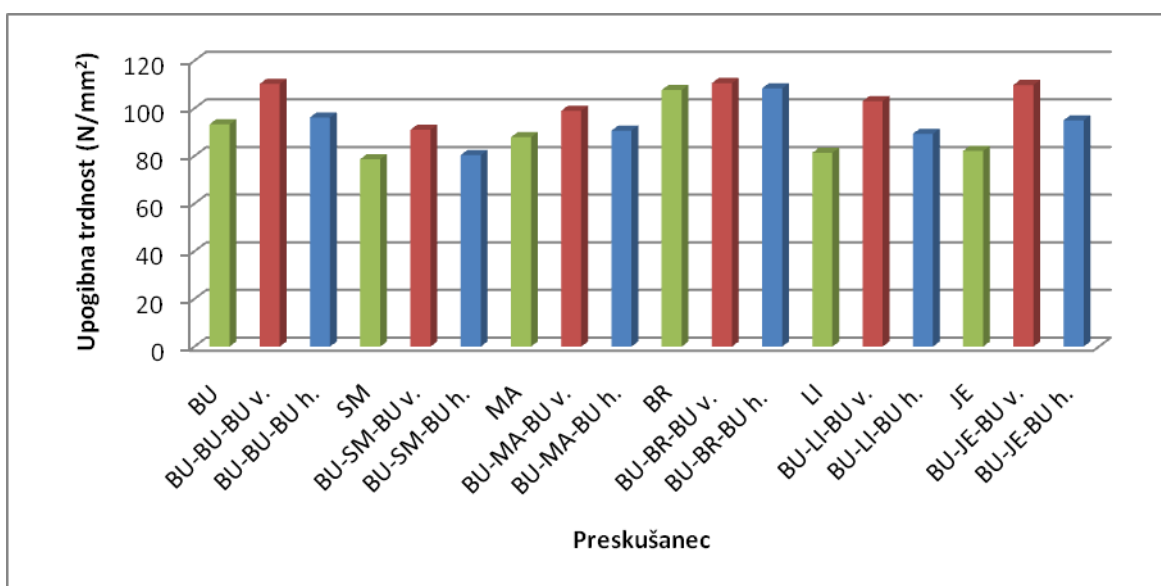
4.1 REZULTATI MERJENJA UPOGIBNE TRDNOSTI

V preglednici št. 4 in na sliki št. 46 so prikazani rezultat meritev upogibne trdnosti. Dobljeni rezultati kažejo razliko v upogibnih trdnostih glede na način lepljenja, lesno vrsto, in sestavo lepljenja.

Preglednica 4: Osnovna statistika rezultatov merjenja upogibne trdnosti (N/mm²)

Statistični parametri	Lesna vrsta	Masiven les	Oznaka lepljenja	Vroče lepljenje	Hladno lepljenje
Srednja vrednost	BREZA	107,7	BU-BR-BU	110,6	108,4
Najmanjša vrednost		85,3		103,9	103,0
Največja vrednost		117,9		115,8	116,6
Standardni odklon		11,4		3,8	3,7
Koeficient variacije (%)		10,6		3,4	3,4
Srednja vrednost	BUKEV	93,3	BU-BU-BU	110,3	96,2
Najmanjša vrednost		83,2		99,9	83,3
Največja vrednost		102,8		123,6	107,2
Standardni odklon		6,6		6,8	7,2
Koeficient variacije (%)		7,1		6,1	7,5
Srednja vrednost	JELŠA	82,1	BU-JE-BU	109,8	95,0
Najmanjša vrednost		71,0		101,7	91,4
Največja vrednost		89,9		116,3	105,2
Standardni odklon		5,7		3,7	3,6
Koeficient variacije (%)		6,9		3,4	3,8
Srednja vrednost	LIPA	81,4	BU-LI-BU	103,1	89,3
Najmanjša vrednost		53,3		95,1	80,2
Največja vrednost		102,0		108,6	102,0
Standardni odklon		13,0		3,9	5,4
Koeficient variacije (%)		15,9		3,8	6,1
Srednja vrednost	MACESEN	87,9	BU-MA-BU	99,0	90,7
Najmanjša vrednost		63,8		91,0	80,9
Največja vrednost		105,1		106,7	103,3
Standardni odklon		13,6		5,4	5,8
Koeficient variacije (%)		15,4		5,4	6,4
Srednja vrednost	SMREKA	78,7	BU-SM-BU	91,0	80,4
Najmanjša vrednost		45,6		84,0	74,9
Največja vrednost		89,9		98,7	86,9
Standardni odklon		13,5		3,7	4,2
Koeficient variacije (%)		17,2		4,1	5,3

Rezultati na sliki 46 so prikazani po posameznih lesnih vrstah in glede na vrsto preskušanca. Zeleni stolpec pri vsaki drevesni vrsti predstavlja upogibne trdnosti masivnega lesa, rdeči stolpec upogibne trdnosti lepljencev, ki so bili zlepljeni po vročem postopku in moder stolpec upogibne trdnosti lepljencev, ki so bili zlepljeni po hladnem načinu. Iz rezultatov vidimo, da so upogibne trdnosti masivnega lesa pri vseh drevesnih vrstah najnižje, sledijo jim upogibne trdnosti lepljencev, ki so lepljeni po hladnem postopku in najvišje vrednosti upogibne trdnosti so izkazovali lepljenci, ki so bili zlepljeni po vročem postopku. Če analiziramo samo masiven les ugotovimo, da je imela najnižjo upogibno trdnost smreka, najvišjo pa breza. Gledano v celoti pa so najboljše rezultate izkazovali vroče lepljeni preskušanci iz breze, saj je upogibna trdnost v povprečju znašala $110,6 \text{ N/mm}^2$.



Slika 46: Povprečna upogibna trdnost masivnega lesa in lepljencev

4.2 REZULTATI MERJENJA MODULA ELASTIČNOSTI

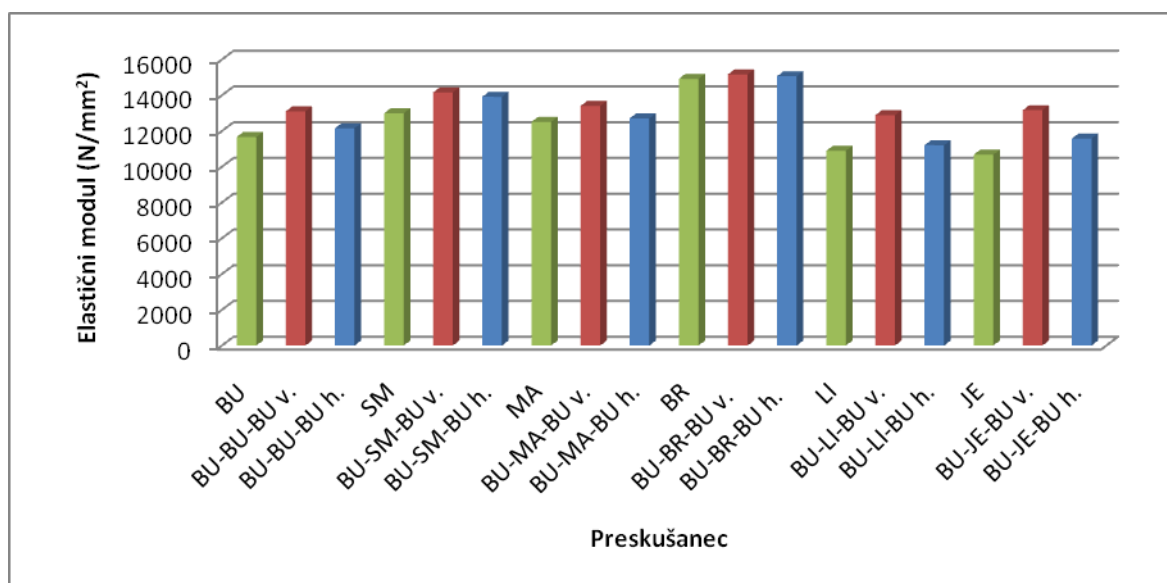
V preglednici št. 5 in sliki št. 47 so prikazani rezultat meritev modula elastičnosti. Dobljeni rezultati kažejo razliko v modulu elastičnosti glede na način lepljenja, lesno vrsto in sestavo lepljenja.

Preglednica 5: Osnovna statistika rezultatov merjenja modula elastičnosti (N/mm²)

Statistični parametri	Lesna vrsta	Masiven les	Oznaka lepljenja	Vroče lepljenje	Hladno lepljenje
Srednja vrednost	BREZA	14922,0	BU-BR-BU	15169,7	15069,0
Najmanjša vrednost		12306,0		14409,0	13941,0
Največja vrednost		15897,0		15653,0	15987,0
Standardni odklon		1154,9		321,9	501,6
Koeficient variacije (%)		7,7		2,1	3,3
Srednja vrednost	BUKEV	11665,9	BU-BU-BU	13102,2	12157,9
Najmanjša vrednost		11106,0		11816,0	11061,0
Največja vrednost		12739,0		14234,0	13559,0
Standardni odklon		553,3		666,3	614,9
Koeficient variacije (%)		4,7		5,1	5,1
Srednja vrednost	JELŠA	10675,3	BU-JE-BU	13165,8	11584,0
Najmanjša vrednost		9668,0		12714,0	10729,0
Največja vrednost		11579,0		13694,0	12351,0
Standardni odklon		649,8		302,1	404,9
Koeficient variacije (%)		6,1		2,3	3,5
Srednja vrednost	LIPA	10892,3	BU-LI-BU	12891,0	11209,3
Najmanjša vrednost		6393,0		12073,0	10063,0
Največja vrednost		12764,0		13965,0	12616,0
Standardni odklon		1860,2		480,5	621,8
Koeficient variacije (%)		17,1		3,7	5,5
Srednja vrednost	MACESEN	12515,3	BU-MA-BU	13402,8	12711,3
Najmanjša vrednost		10654,0		12331,0	11757,0
Največja vrednost		14286,0		14167,0	13584,0
Standardni odklon		1320,3		491,0	554,9
Koeficient variacije (%)		10,5		3,7	4,4
Srednja vrednost	SMREKA	12993,8	BU-SM-BU	14161,5	13918,2
Najmanjša vrednost		7337,0		13281,0	11723,0
Največja vrednost		14825,0		14794,0	14833,0
Standardni odklon		2270,5		436,8	757,7
Koeficient variacije (%)		17,5		3,1	5,4

Rezultati na sliki 47 so prikazani po posameznih lesnih vrstah in glede na vrsto preskušanca. Zeleni stolpec pri vsaki lesni vrsti predstavlja modul elastičnosti masivnega lesa, rdeči stolpec modul elastičnosti lepljencev, ki so bili zlepljeni po vročem postopku in moder stolpec modul elastičnosti lepljencev, ki so bili zlepljeni po hladnem načinu. Iz rezultatov vidimo, da je modul elastičnosti masivnega lesa pri vseh lesnih vrstah najnižji, sledi mu modul elastičnosti lepljencev, ki so bili zlepljeni po hladnem postopku in najvišjo vrednost modula elastičnosti so izkazovali lepljenci, ki so bili zlepljeni po vročem

postopku. Če analiziramo samo masiven les ugotovimo, ja je imela najnižji modul elastičnosti jelša, najvišji pa breza. Gledano v celoti po so najboljše rezultate izkazovali vroče lepljeni lepljenci breze, saj je modul elastičnosti v povprečju znašal $15169,7 \text{ N/mm}^2$.



Slika 47: Povprečni modul elastičnosti masivnega lesa in lepljencev

4.3 REZULTATI MERJENJA IZGUBE DEBELINE

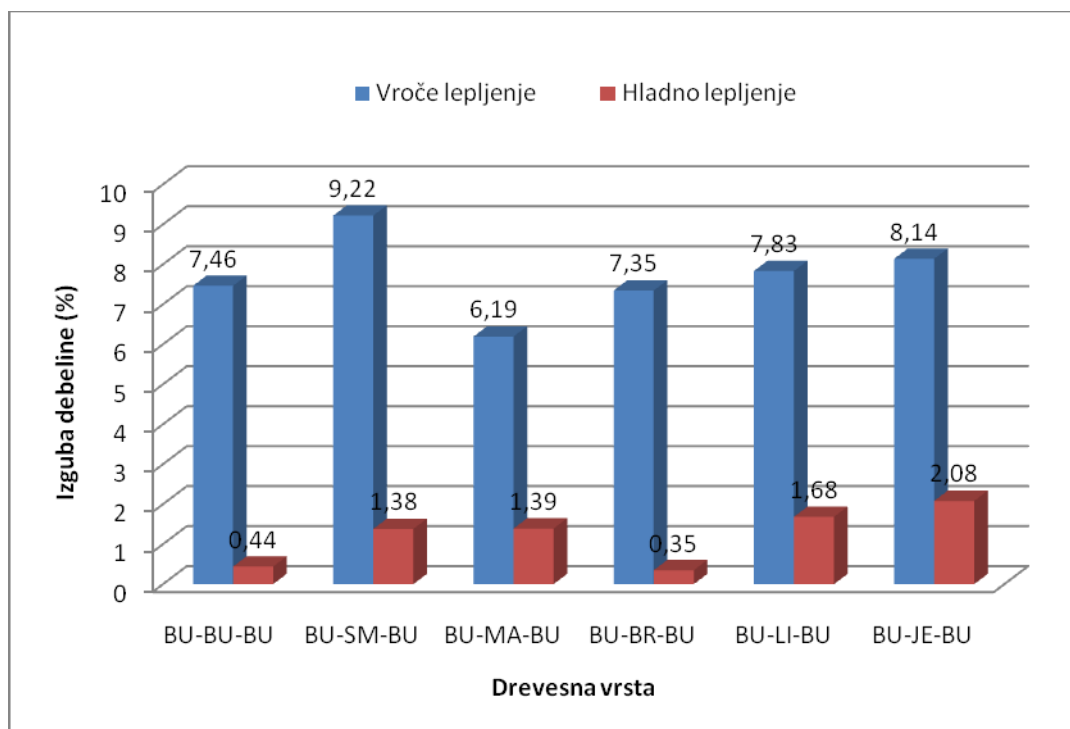
V preglednici št. 6 in na sliki št. 48 so prikazani povprečni rezultati meritev izgube debelin po končanem lepljenju. Dobljeni rezultati kažejo razliko v izgubi debeline glede na sestavo lepljenca in način lepljenja.

Preglednica 6: Osnovna statistika rezultatov izračuna izgube debeline (%)

Lesna vrsta	Statistični parametri	Vroče lepljenje	Hladno lepljenje
BU-BR-BU	Srednja vrednost	7,35	0,35
	Najmanjša vrednost	2,18	0,05
	Največja vrednost	10,90	1,20
	Standardni odklon	2,18	0,32
	Koeficient variacije (%)	29,74	92,44
BU-BU-BU	Srednja vrednost	7,46	0,44
	Najmanjša vrednost	5,72	0,01
	Največja vrednost	9,89	1,11
	Standardni odklon	1,05	0,39
	Koeficient variacije (%)	14,06	89,69
BU-JE-BU	Srednja vrednost	8,14	2,08
	Najmanjša vrednost	6,75	0,13
	Največja vrednost	10,43	4,26
	Standardni odklon	1,13	1,28
	Koeficient variacije (%)	13,93	61,67
BU-LI-BU	Srednja vrednost	7,83	1,68
	Najmanjša vrednost	5,31	0,53
	Največja vrednost	10,50	4,77
	Standardni odklon	1,38	1,16
	Koeficient variacije (%)	17,64	68,68
BU-MA-BU	Srednja vrednost	6,19	1,39
	Najmanjša vrednost	3,27	0,17
	Največja vrednost	8,54	3,25
	Standardni odklon	1,46	0,91
	Koeficient variacije (%)	23,57	65,52
BU-SM-BU	Srednja vrednost	9,22	1,38
	Najmanjša vrednost	6,75	0,38
	Največja vrednost	11,59	4,59
	Standardni odklon	1,46	1,14
	Koeficient variacije (%)	15,83	82,36

Rezultati na sliki 48 so prikazani po posameznih lesnih vrstah in glede na vrsto preskušanca. Prvi stolpec pri vsaki lesni vrsti predstavlja izgubo debeline pri lepljenjih, ki so bili zlepljeni po vročem postopku in drugi stolpec izgubo debeline lepljenec, ki so bili zlepljeni po hladnem načinu. Iz rezultatov vidimo, da so lepljenci, ki so bili lepljeni po vročem postopku izgubili več debeline, kot lepljenci, ki so bili lepljeni po hladnem postopku. Največjo izgubo debeline je imel smrekov lepljenec, ki je bil lepljen po vročem

postopku (9,22%), najmanjšo pa lepljenec breze, ki je bil lepljen po hladnem postopku (0,35%).



Slika 48: Povprečna izguba debeline lepljencev glede na način lepljenja

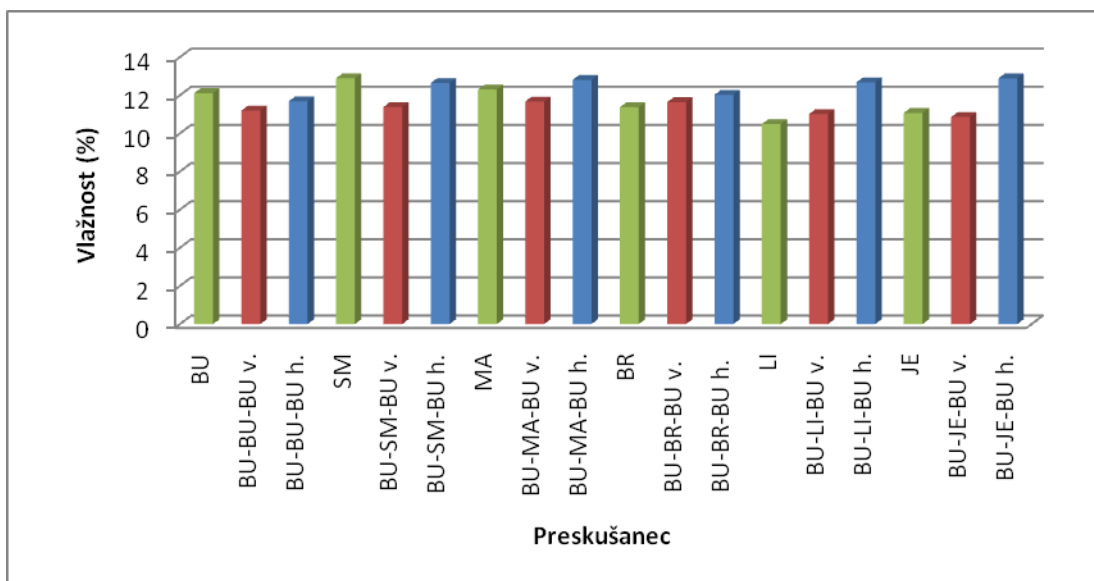
4.4 REZULTATI MERJENJA VLAŽNOSTI

V preglednici št. 7 in na sliki št. 49 so prikazani rezultat meritev vlage v lesu. Dobljeni rezultati kažejo razliko v vlagi glede na način lepljenja in lesno vrsto.

Preglednica 7: Osnovna statistika rezultatov merjenja vlage (%)

Statistični parametri	Lesna vrsta	Masiven les	Oznaka lepljenja	Vroče lepljenje	Hladno lepljenje
Srednja vrednost	BREZA	11,4	BU-BR-BU	11,6	12,0
Najmanjša vrednost		11,1		11,4	11,2
Največja vrednost		11,6		12,0	12,6
Standardni odklon		0,2		0,2	0,6
Koeficient variacije (%)		1,6		2,1	4,9
Srednja vrednost	BUKEV	12,1	BU-BU-BU	11,2	11,7
Najmanjša vrednost		11,7		10,7	11,4
Največja vrednost		12,7		12,2	12,1
Standardni odklon		0,4		0,6	0,2
Koeficient variacije (%)		3,2		5,2	2,1
Srednja vrednost	JELŠA	11,1	BU-JE-BU	10,9	12,9
Najmanjša vrednost		11,1		10,7	12,8
Največja vrednost		11,1		10,9	13,0
Standardni odklon		0,0		0,1	0,1
Koeficient variacije (%)		0,1		0,9	0,7
Srednja vrednost	LIPA	10,5	BU-LI-BU	11,0	12,7
Najmanjša vrednost		10,3		10,8	12,4
Največja vrednost		10,6		11,3	13,1
Standardni odklon		0,1		0,2	0,3
Koeficient variacije (%)		1,4		1,4	2,2
Srednja vrednost	MACESEN	12,3	BU-MA-BU	11,7	12,8
Najmanjša vrednost		11,9		11,5	12,1
Največja vrednost		12,9		12,0	13,6
Standardni odklon		0,4		0,2	0,6
Koeficient variacije (%)		3,4		1,8	4,5
Srednja vrednost	SMREKA	12,9	BU-SM-BU	11,4	12,6
Najmanjša vrednost		12,3		11,2	11,8
Največja vrednost		13,2		11,6	13,6
Standardni odklon		0,4		0,1	0,7
Koeficient variacije (%)		2,8		1,1	5,6

Rezultati na sliki 49 so prikazani po posameznih lesnih vrstah in glede na vrsto preskušanca. Zeleni stolpec pri vsaki lesni vrsti predstavlja vlago masivnega lesa, rdeči stolpec vlago lepljencev, ki so bili zlepljeni po vročem postopku in modri stolpec vlago lepljencev, ki so bili zlepljeni po hladnem postopku. Iz rezultatov vidimo, da so se povprečne vlažnosti vseh preskušancev gibale med 10 in 13 %. Noben preskušanec pa ni presegal vlažnosti 15 %, kar naj bi bila največja dovoljena vlažnost za lepljenje.



Slika 49: Povprečna vlažnost masivnega lesa in lepljencev

4.5 REZULTATI MERJENJA GOSTOTE LESNIH VRST

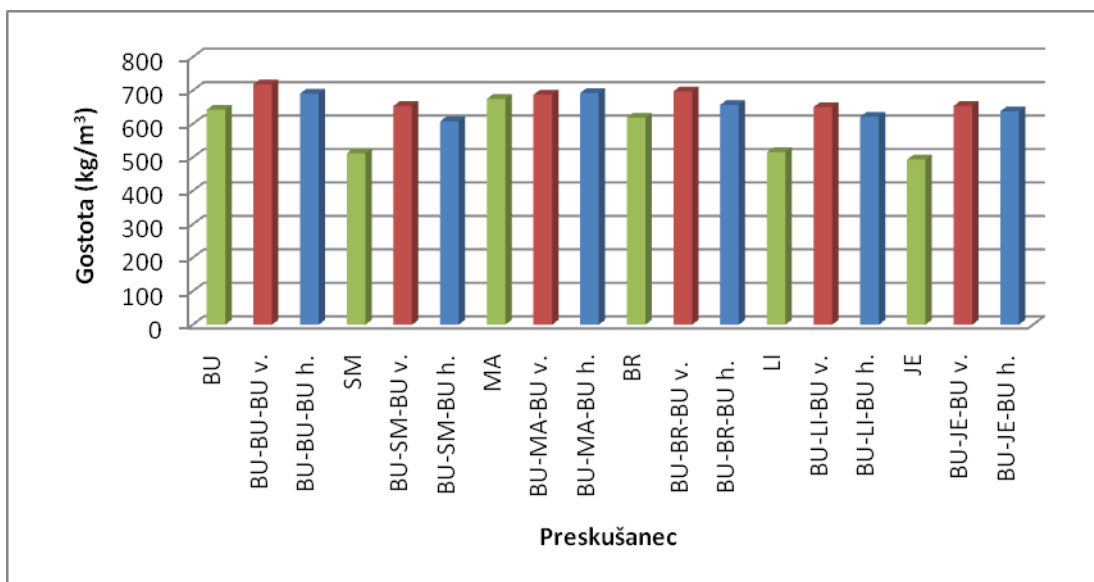
V preglednici št. 8 in na sliki št. 50 so prikazani rezultati meritev gostote. Dobljeni rezultati kažejo razliko v gostoti med načinom lepljenja, lesno vrsto, in sestavo lepljenca.

Preglednica 8: Osnovna statistika rezultatov merjenja gostote (kg/m^3)

Statistični parametri	Lesna vrsta	Masiven les	Oznaka lepljenca	Vroče lepljenje	Hladno lepljenje
Srednja vrednost	BREZA	619,04	BU-BR-BU	697,59	657,08
Najmanjša vrednost		548,90		678,09	643,25
Največja vrednost		678,73		707,14	666,64
Standardni odklon		53,06		11,54	8,77
Koeficient variacije (%)		8,57		1,65	1,34
Srednja vrednost	BUKEV	642,65	BU-BU-BU	718,20	690,55
Najmanjša vrednost		619,06		713,21	671,70
Največja vrednost		653,23		726,19	721,40
Standardni odklon		13,84		4,97	18,58
Koeficient variacije (%)		2,15		0,69	2,69
Srednja vrednost	JELŠA	493,59	BU-JE-BU	653,87	637,73
Najmanjša vrednost		479,95		650,57	620,64
Največja vrednost		510,11		658,52	668,09
Standardni odklon		11,38		2,89	18,86
Koeficient variacije (%)		2,31		0,44	2,96
Srednja vrednost	LIPA	515,76	BU-LI-BU	650,50	621,72
Najmanjša vrednost		470,78		630,83	606,64
Največja vrednost		583,19		668,72	643,74
Standardni odklon		42,72		14,46	13,62
Koeficient variacije (%)		8,28		2,22	2,19
Srednja vrednost	MACESEN	674,97	BU-MA-BU	687,33	692,73
Najmanjša vrednost		639,94		686,18	675,80
Največja vrednost		723,65		688,62	710,38
Standardni odklon		31,67		1,15	12,89
Koeficient variacije (%)		4,69		0,17	1,86
Srednja vrednost	SMREKA	512,33	BU-SM-BU	653,70	607,85
Najmanjša vrednost		498,74		629,94	592,60
Največja vrednost		530,52		684,77	619,04
Standardni odklon		12,84		20,30	11,44
Koeficient variacije (%)		2,51		3,11	1,88

Rezultati na sliki 50 so prikazani glede na vrsto preskušanca. Zeleni stolpec pri vsaki lesni vrsti predstavlja gostoto masivnega lesa, rdeči stolpec gostoto lepljencev, ki so bili zlepljeni po vročem postopku in moder stolpec gostoto lepljencev, ki so bili zlepljeni po hladnem načinu. Iz rezultatov vidimo, da je gostota masivnega lesa pri vseh lesnih vrstah nižja od gostote lepljencev ne glede na način lepljenja. Pri vseh lesnih vrstah razen pri

macesnu je bila večja gostota lepljencev, ki so lepljeni po vročem načinu kot pa pri lepljencih, ki so bili zlepljeni hladnem načinu. Če analiziramo samo masiven les ugotovimo, da je imela najmanjšo gostoto jelša, največjo pa macesen. Gledano v celoti pa so največjo gostoto izkazovali vroče lepljeni preizkušanci iz bukve ($718,20 \text{ kg/m}^3$).

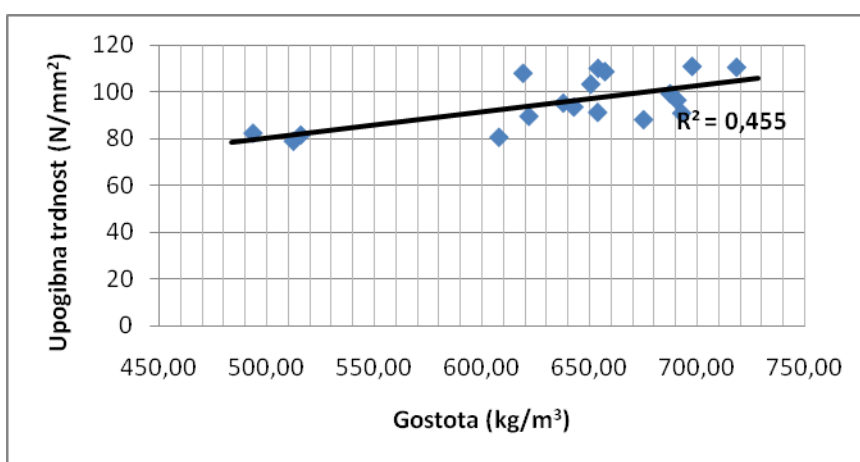


Slika 50: Povprečna gostota drevesnih vrst in lepljencev

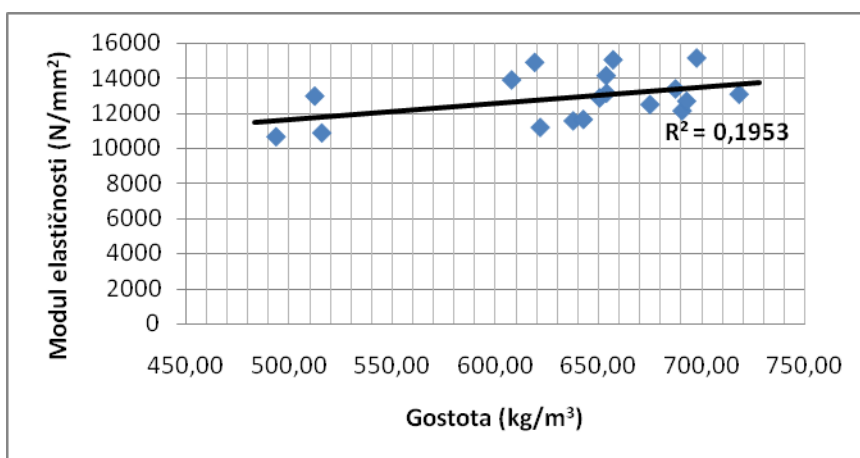
5 RAZPRAVA

Mehanske lastnosti konstrukcijskih izdelkov so najbolj pomembna lastnost, ki vpliva na uporabno vrednost teh izdelkov. Na same mehanske lastnosti masivnega lesa ne moremo bistveno vplivati in so odvisne predvsem od gostote lesa, anatomske zgradbe, kemijske zgradbe, usmerjenosti lesnih vlaken, prisotnosti reakcijskega lesa, itd. Pravilom velja, da imajo gostejše lesne vrste boljše mehanske lastnosti od redkejših. Razlike pri mehanskih lastnostih se pojavijo celo med enakimi lesnimi vrstami in so odvisne tudi od tega, v kakšnih pogojih je drevo raslo. Te trditve smo dokazali tudi z našimi testiranjmi.

Na sliki 51 in 52 so prikazani rezultati meritev upogibne trdnosti in elastičnega modula masivnega lesa in lepljencev.



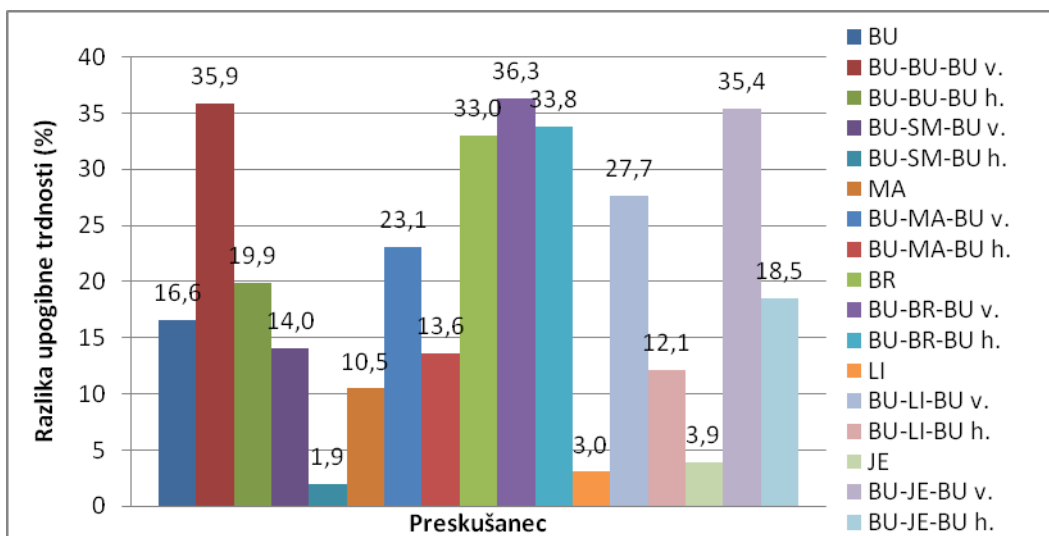
Slika 51: Upogibna trdnost preskušancev v odvisnosti od gostote



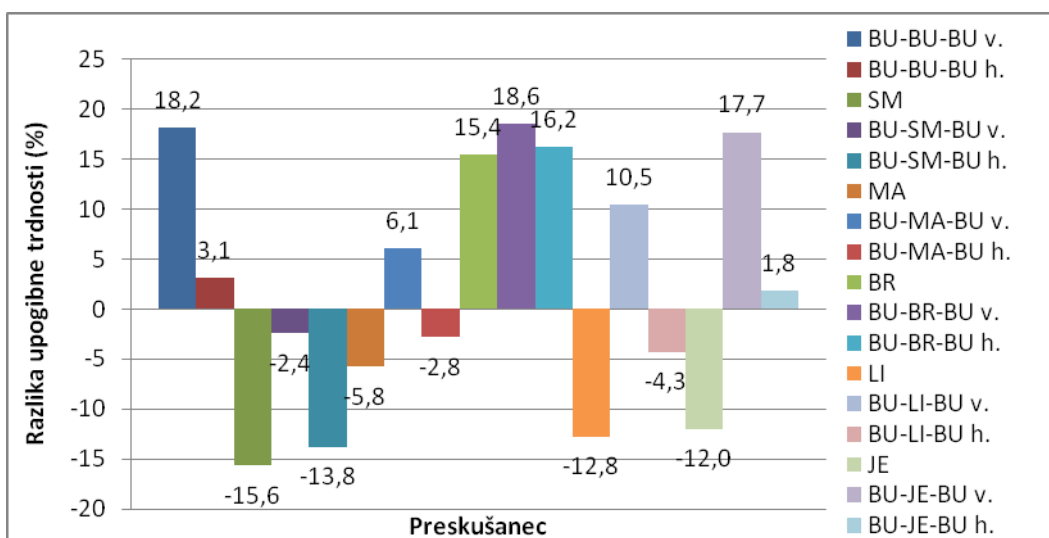
Slika 52: Modul elastičnosti preskušancev v odvisnosti od gostote

Če primerjamo meritve mehanskih lastnosti masivnega lesa, vidimo, da imajo vse lesne vrste enake oz. celo boljše upogibne trdnosti, kot konstrukcijsko najbolj uporabljena lesna vrsta smreka (slika 53). Iz tega lahko sklepamo, da so z vidika upogibnih trdnosti

gospodarsko manj pomembne lesne vrste lahko enako ali pa še bolj primerne za uporabo v konstrukcijske namene.



Slika 53: Primerjava upogibne trdnosti preskušancev z upogibno trdnostjo masivnega lesa smreke



Slika 54: Primerjava upogibne trdnosti preskušancev z upogibno trdnostjo masivnega lesa bukve

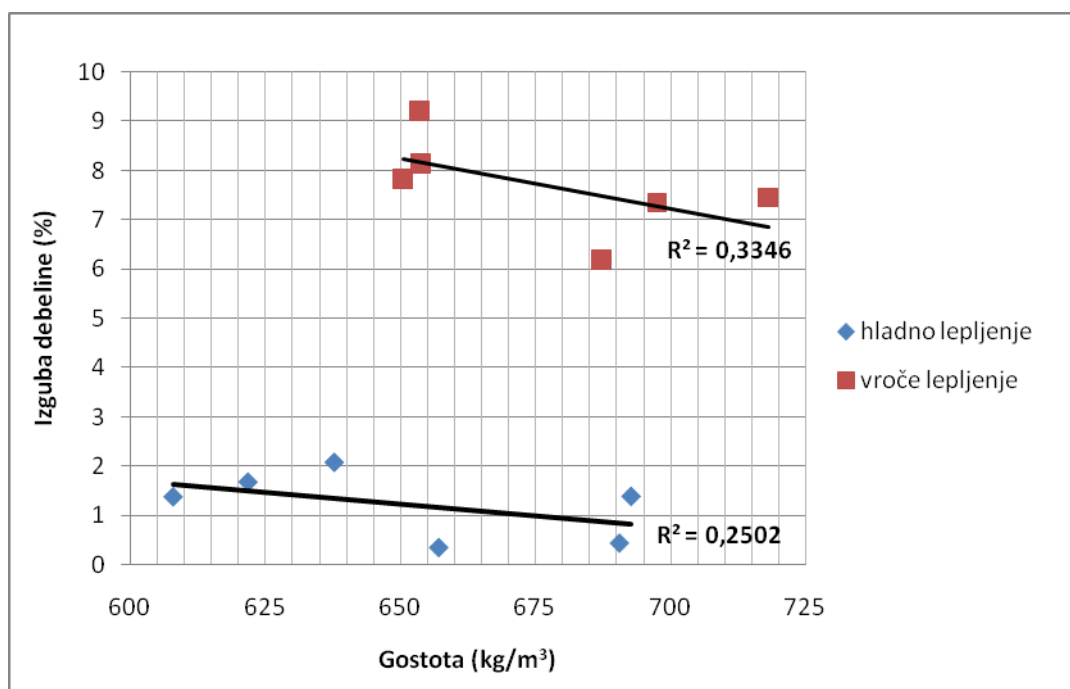
Pri lepljenju različnih sestavov in ne glede na temperaturo lepljenja smo na videz dobili dobre in kvalitetne spoje. Zato sklepamo, da so lesne vrste in obe vrsti lepila primerni za lepljenje. Sestavo lepljencev smo kombinirali tako, da smo za mehansko najbolj obremenjena zunanja sloja uporabili bukove lamele, v notranjosti lepljenca pa smo uporabili gospodarsko manj pomembne lesne vrste. Iz rezultatov meritev in izračunov vidimo, da so mehanske lastnosti, ne glede na sestav lepljenca, boljše kot mehanske lastnosti masivnega lesa. Do tega izboljšanja mehanskih lastnosti pride predvsem zaradi:

- izločitve šibkih mest (smole, grč, vraščene skorje) na lamelah, ki jih lepimo in s tem povečanja kvalitete lesa,

- zgostitve lesa, ki nastane ob stiskanju,
- večslojne zgradbe lepljencev in
- primernejše sestave (lamelle na najbolj obremenjenem delu preskušancev so iz gostejšega lesa kot lamela v sredici).

Na osnovi rezultatov lahko sklepamo, da imajo lepljenci, ki so bili zlepljeni po vročem postopku, boljše mehanske lastnosti, kot lepljenci, ki so bili zlepljeni po hladnem postopku. Predvidevamo, da je to posledica boljšega sidranja lepila pri vročem lepljenju kot pa pri hladnem. Trdnost spoja določa predvsem mehansko sidranje lepila, to pa je zaradi večje mobilnosti lepila pri vročem postopku lepljenja boljše. Najbolj pa na mehanske lastnosti vpliva gostota, ki se pri vročem lepljenju bolj poveča kot pri hladnem in s tem se posledično izboljšajo tudi mehanske lastnosti.

Meritve gostote so pokazale, da ima le les črne jelše manjšo gostoto kot konstrukcijsko najbolj uporabna lesna vrsta smreka, vse ostale lesne vrste pa imajo večjo gostoto. Z lepljenjem ne glede na temperaturo lepljenja in sestav se gostote še povečujejo. Pri tem pa moremo povedati, da se zaradi večje izgube debeline, gostota nekoliko bolj poveča pri lepljencih, ki so bili zlepljeni po vročem postopku. To je posledica večje plastifikacije lesa pri večji temperaturi.



Slika 55: Primerjava izgube debeline preskušancev glede na gostoto in način lepljenja

Meritve in izračuni izgube debelin so pokazali, da so lesne vrste z manjšo gostoto pri lepljenju imele večjo izgubo debeline kot gostejše (slika 55). To je nekako logično, saj imajo redkejše vrste več praznih prostorov, ki jih je možno bolj deformirati. Velike razlike so se pokazale tudi glede na način lepljenja. Tako so vsi lepljenci, ki so bili zlepljeni po vročem postopku, imeli večjo izgubo debeline kot lepljenci, ki so bili lepljeni po hladnem postopku.

Povzamemo lahko, da so uporabnostne vrednosti lesa za konstrukcijsko uporabo odvisne predvsem od mehanskih lastnosti lesa. Na mehanske lastnosti samega masivnega lesa ne moremo vplivati. Z lepljenjem pa lahko mehanske lastnosti lesa izboljšamo. Zaradi boljše mobilnosti in boljšega zamreženja lepila ter zaradi večje zgostitve lesa je izboljšanje mehanskih lastnosti pri vročem lepljenju večje kot pri hladnem lepljenju.

6 SKLEP

Za konstrukcijsko rabo lesa so pomembne predvsem njegove mehanske lastnosti. Praviloma so mehanske lastnosti gostejših lesnih vrst boljše kot mehanske lastnosti redkejših lesnih vrst. Z ustreznimi inženirskimi pristopi lahko pri izdelavi konstrukcijskega lepljenega lesa izločimo ali zmanjšamo nezaželene lastnosti lesa. Trdnost lepljenega izdelka pa je odvisna tudi od uporabe ustreznih lepil, tehnologij in pogojev lepljenja.

Na podlagi opravljene raziskave smo ugotovili, da:

- so mehanske lastnosti lepljencev, ki so bili lepljeni po vročem postopku, boljše od mehanskih lastnosti lepljencev, ki so bili lepljeni po hladnem postopku,
- se mehanske lastnosti preskušancev z večanjem gostote povečujejo,
- je gostota lepljencev višja od gostote masivnega lesa, kar je bolj izrazito pri vročem lepljenju in manj pri hladnem lepljenju,
- so izgube debelin pri lepljencih, ki so bili lepljeni po vročem postopku večje, kot pri lepljencih, ki so bili lepljeni po hladnem postopku,
- se izguba debeline z večanjem gostote preskušancev zmanjšuje,
- so za rabo, gledano z vidika mehanskih lastnosti, v konstrukcijske namene primerne vse kombinacije preizkušancev, ki smo jih testirali, saj so rezultati testiranj pokazali, da so mehanske lastnosti vseh lepljencev boljše od mehanskih lastnosti masivnega lesa smreke,
- da imajo najboljše mehanske lastnosti preskušanci v sestavi »bukev-breza-bukev«, ki so bil zlepljeni po vročem postopku, saj je njihova upogibna trdnost za 36 % boljša od upogibne trdnosti masivnega lesa smreke.

V nadaljnjih raziskavah bi bilo smiselno podrobno proučiti še ostale dejavnike, ki vplivajo na lepljenje gospodarsko manj pomembnih lesnih vrst, kot so priprava lesa, priprava lepila, vrsta lepila, debelina lamel, itd. Prav tako bi bilo smiselno pogledati, kaj se bo z lepljenci dogajalo skozi čas uporabe. Zanimivo pa bi bilo izračunati ceno lepljenih izdelkov iz manj vrednih lesnih vrst in jih primerjati z podobnimi izdelki na trgu.

7 POVZETEK

Osnovni cilj diplomske naloge je bil izdelati nov lesni kompozit, ki bo namenjen predvsem za konstrukcijsko uporabo. Pri tem bi naj uporabili gospodarsko manj pomembne lesne vrste, kot so črna jelša, lipa, breza, macesen in jih primerjati predvsem z masivnim lesom smreke, bukve in lepljenim lesom.

Za uporabnost lesa in lesnih kompozitov v konstrukcijske namene so pomembne predvsem mehanske lastnosti. Na mehanske lastnosti masivnega lesa ne moremo vplivati in so odvisne od več dejavnikov in variirajo celo med istimi lesnimi vrstami. Na mehanske lastnosti lesnih kompozitov pa lahko vplivamo na različne načine in so odvisne od: dejavnikov zgradbe lepila, dejavnikov lastnosti lesa, dejavnikov priprave lesa, dejavnikov priprave lepila in dejavnikov geometrije površine lesa.

V raziskavi smo najprej merili mehanske lastnosti masivnega lesa zgoraj navedenih lesnih vrst. Nato smo iz teh lesnih vrst izdelali lamele jih v različnih sestavih zlepili in jim prav tako izmerili mehanske lastnosti. Lepili smo po vročem in hladnem postopku. Za vroče lepljenje smo uporabljali fenol formaldehidno lepilo za hladno lepljenje pa PVAc lepilo.

Za testiranja in izračune smo si najprej iz vsake lesne vrste pripravili preskušance dimenzij 550 x 55 x 30 mm. Te preskušance smo, zaradi različnih vlažnosti, najprej klimatizirali v klima komori pri temperaturi 20 ± 2 °C in relativni zračni vlažnosti 55 ± 65 % in jim tako izenačili vlažnost na 12 %. Po klimatiziranju smo za vsako lesno vrsto v komori pustili po osem lamel za preskus mehanskih lastnosti masivnega lesa, ostale lamele pa smo obdelali na dimenzije 550 x 55 x 4 mm in jih za dva tedna zložili v klima komoro s temperaturo 20 ± 2 °C in relativno zračno vlažnostjo 65 ± 5 %. S tem smo dosegli enakomerno vlažnost po celotnem prerezu lamel. Po končani klimatizaciji smo lamele na kontaktnem brusilnem stroju zbrusili na 3,5 mm. Pri tem smo pazili, da smo lamele brusili največ 24 ur pred lepljenjem, da smo s tem dobili čim bolj svežo površino za lepljenje. Po brušenju smo lamele najprej sestavili v različne sestave, pri katerih smo za zunanja sloja vedno izbrali lesno vrsto bukve, za srednji sloj pa ostale gospodarsko manj pomembne lesne vrste. Po lepljenju smo lepljence vzeli iz stiskalnice, jih 24 ur kondicionirali v standardni klimi. Po klimatiziranju smo izvedli teste mehanskih lastnosti tako masivnega lesa kot lepljencev. Teste smo izvajali na napravi za testiranje mehanskih lastnosti Zwick Z100 na katedri za Žagarstvo in lesna tvoriva na Oddelku za lesarstvo na Biotehniški fakulteti. Ugotavljali smo modul elastičnosti in upogibno trdnost po standardu SIST EN 310. Test mehanskih lastnosti smo izvajali tako, da smo najprej preizkušane položili na napravo za testiranje mehanskih lastnosti. Nato smo v računalnik, ki je povezan z napravo za testiranje, vnesli potrebne parametre, ki jih je računalniški program zahteval. Ko smo to naredili smo preizkus izvedli. Rezultat preizkusa nam je računalniški program podal kot modul elastičnosti, silo loma in upogibno trdnost. Do loma je moglo priti v času 60 ± 30 sekund.

Ugotavljanje vlage v lesu smo izvedli po standardu SIST EN 322:1993. Po končanem mehanskem testu, smo iz vsake skupine preskušancev izbrali štiri iz katerih smo nato na miznem krožnem žagalnem stroju izžagali preskušance dimenzij 50 x 50 mm. Nato smo preskušance stekali na laboratorijski tehtnici na 0,01 g natančno. Po tehtanju smo preskušance dali v laboratorijski sušilnik s temperaturo 103 ± 2 °C. Po opravljenem

sušenju do konstantne mase smo preskušance za 30 minut dali v eksikator s silika gelom. Preskušance smo ponovno stehali na 0,01 g natančno ter izračunali njihovo vlažnost.

Gostoto preskušancev smo ugotavljali po standardu SIST EN 323:1993. Uporabili smo enake preskušance kot pri ugotavljanju vlažnosti lesa. Preskušance smo s pomočjo kljunastega merila na 0,1 mm natančno izmerili dolžino in širino. Debelino smo merili na središču diagonal s pomočjo mikrometra na 0,01 mm natančno. Na koncu smo preskušance še stehali z laboratorijsko tehtnico na 0,1 g natančno. Gostoto preskušancev smo nato izračunali.

Test izgube debeline smo izvajali skozi testiranja. Tako smo debelino merili že pred samim lepljenjem in po končanem lepljenju. Debelino smo merili z mikrometrom na 0,01 mm natančno po standardu SIST EN 324.

Iz testov in izračunov smo ugotovili, da na mehanske lastnosti samega masivnega lesa ne moremo vplivati in so slabše kot pa lastnosti lesnih kompozitov. Na mehanske lastnosti lesnih kompozitov pa lahko vplivamo na več načinov in so odvisne od več dejavnikov. Pri ugotavljanju mehanskih lastnosti lepljencev, smo ugotovili, da dobimo boljše lastnosti pri lepljencih, ki so bili zlepljeni po vročem postopku in nekoliko slabše, pa vendar boljše od mehanskih lastnosti masivnega lesa, pri lepljencih, ki so bili zlepljeni po hladnem postopku. Iz mehanskih rezultatov testiranja vidimo, da bi za konstrukcijske namene bil najbolj uporaben lesni kompozit, ki je bil zlepljen po vročem postopku v sestavi bukovega in brezovega lesa.

Pri ugotavljanju gostote lesa in lesnih kompozitov, smo dobili pričakovane rezultate, saj smo dobili višje rezultate pri lepljencih, ki so bili zlepljeni po vročem postopku, nekoliko nižje pri lepljencih, ki so bili zlepljeni po hladnem postopku in najnižje pri preskušancih iz masivnega lesa. Iz tega smo dobili tudi logične rezultate iz merjenja izgube debeline, ki so bili višji pri lepljencih, ki so bili lepljeni po vročem postopku.

Pri merjenju vlažnosti masivnega lesa in vlažnosti lesnih kompozitov smo ugotovili, da so se vlažnosti gibale okrog 12% in niso presegle meje 15%, ki je kritična za proces lepljenja.

8 VIRI

1. Brus R. 2004. Drevesne vrste na Slovenskem. Ljubljana, Mladinska knjiga Založba d.d.: 399 str.
2. Čufar K. 2001. Anatomija lesa: študijsko gradivo Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
3. Čufar K. 2001. Opis lesnih vrst: študijsko gradivo Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
4. Eleršek L. 2001. Knjiga o gozdu o njegovem pomenu, lepoti, podrobnostih in sestavi. Ljubljana, Golo Brdo: 142 str.
5. Kalčič I. 2006. Omočitev in adhezija pri lepljenju hitrorastočih drevesnih vrst: diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 43 str.
6. Kitek Kuzman M., Hrovatin J. 2006. Lesene lepljene konstrukcije v arhitekturi. Ar. 2006: 44-49
7. Kotar M., Brus R. 1999. Naše drevesne vrste. Ljubljana Slovenska matica v Ljubljani: 320 str.
8. Lukan M. 1999. Eksperimentalne preiskave obnašanja lameliranih lepljenih lesenih nosilcev. Diplomsko naloga. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 12
9. Marra. 1992. Technology of wood bonding: Principles and practice. New York, Van Nostrand Reinhold: 454
10. Medved S., Pikmaier S. 2000. Praktikum za preizkušanje lesnih tvoriv iz dezintegriranega lesa. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 71 str.
11. Pohleven F., Resnik J., Saje F. 1991 Lesene inženirske konstrukcije. Nova proizvodnja, 42: 5, 230-251
12. Resnik J. 1989. Lepila in lepljenje lesa. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 103 str.
13. Resnik J. 1987. LVL - nova generacija lepljenega lesa za gradbeništvo. Les, 39: 1/2, 25-32
14. Resnik J. 1990. Raziskava pogojev uporabe sestavljenih izdelkov iz lesa v gradbeništvu. Les, 42: 9/10, 269-274.
15. SIST EN 310 - Lesne plošče - Določanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti. 1996
16. SIST EN 322 - Lesne plošče - Določanje vlažnosti. 1996
17. SIST EN 333 - Lesne plošče - Določanje gostote. 1996

18. Shukla S. R., Rao, R. V., Sharma, S. N., 1999. Evlution Of Strenght Properties Of Parallel Splint Lumber (PSL) And Its Comparison With Laminated Vaneer Lumber (LVL), Rubber Wood And Teak. Holz-Roh- Werkstoff . 57: 4, 267-270
19. Statistični letopis republike Slovenije 2005
20. Šega B. 2003. Osnove lepljenja lesa. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 1-38
21. Šernek M. 2004. Furnir in lepljen les; študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 50 str.
22. Šernek M. 2006. Inženirski lesni proizvodi za gradbene namene, Pomurska akademija Pomurju, Znanstvena konferenca PAZU, Hotel Diana, Murska Sobota 1. in 2. december 2006
23. Šernek M. 1999. Vpliv bistvenih dejavnikov na penetracijo in trdnost UF lepilnega spoja pri lepljenju bukovine; magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 111 str.
24. Zbašnik Senegačnik M., 2001. Hiša iz masivnega lesa. Les, 53, 10 (2001): 339-344

ZAHVALA

Skozi čas študija in ob nastajanju te diplomske naloge sem spoznal in sodeloval s kar nekaj ljudmi, od katerih sem se naučil zelo veliko. V pogovorih z njimi pa sem dopolnil svoje znanje tako o samih materialih, načinu testiranja, obdelavi in drugih podobnih stvareh.

Tako se zahvaljujem celotnemu kolektivu Biotehniške fakultete Oddelka za lesarstvo predvsem pa kolektivu katedre za Žagarstvo in lesna tvoriva na kateri sem mojo diplomsko nalogo izvajal.

Moja zahvala tako velja mentorju izr.prof.dr. Milanu Šerneku za zanimivo temo, za pomoč in številne strokovne nasvete pri pisanju in oblikovanju diplomskega dela, asist. Bogdanu Šegi in asist. Mateju Jošt za pomoč pri izvajanju testiranja in nastanku diplomskega dela in recenzentu prof.dr. Jožetu Resniku za opravljeno strokovno recenzijo ter ostalim, ki so kakorkoli in na kakršen koli način pomagali pri izdelavi moje diplomske naloge. Povedati moram, da sem se od vsakega posebej nekaj naučil. S hvaležnostjo se spominjam vseh članov kolektiva, s katerimi sem pri nastajanju moje diplomske naloge zelo dobro sodeloval. Hvala vsem, ki ste odgovarjali na moja vprašanja in ste mi omogočili, da sem prišel do novega znanja, ki mi bo v prihodnosti prav gotovo prišlo prav.

Vsem in vsakemu posebej še enkrat hvala za Vaš dragocen čas in pomoč, ki ste mi jo nudili.

PRILOGE

Priloga A

Rezultati merjenja mehanskih lastnosti preskušancev

Preskušanec		Širina (mm)	Debelina (mm)	f_m (N/mm ²)	E_m (N/mm ²)
BREZA	BR 1	49,3	22,77	117,9	15394
	BR 2	49,5	22,37	112,5	15260
	BR 3	49,7	22,51	115,1	15803
	BR 4	49,7	22,41	113,1	15341
	BR 5	49,4	22,03	85,3	12306
	BR 6	49,4	22,18	91,6	13828
	BR 7	49,7	22,34	111,5	15547
	BR 8	49,4	22,46	114,6	15897
	Srednja vred.			107,7	14922,0
	Standardni od.			11,4	1154,9
	Koeficient var. (%)			10,6	7,7

Preskušanec		Širina (mm)	Debelina (mm)	f_m (N/mm ²)	E_m (N/mm ²)
BU-BR-BU - VROČE	BU-BR-BU v.1	49,6	22,71	112,8	14978
	BU-BR-BU v.2	49,7	22,20	103,9	15284
	BU-BR-BU v.3	49,4	22,61	113,6	15405
	BU-BR-BU v.4	49,7	22,30	112,1	15443
	BU-BR-BU v.5	49,7	22,77	114,2	15426
	BU-BR-BU v.6	49,7	22,67	108,8	15012
	BU-BR-BU v.7	49,7	22,09	114,4	14981
	BU-BR-BU v.8	49,6	22,67	110,6	15183
	BU-BR-BU v.9	49,6	22,79	105,4	14884
	BU-BR-BU v.10	49,7	22,34	115,8	15378
	BU-BR-BU v.11	49,6	22,55	110,2	15653
	BU-BR-BU v.12	49,8	22,67	105,8	14409
	Srednja vred.			110,6	15169,7
	Standardni od.			3,8	321,9
	Koeficient var. (%)			3,4	2,1

Preskušane		Širina (mm)	Debelina (mm)	f_m (N/mm ²)	E_m (N/mm ²)
BU-BR-BU - HLADNO	BU-BR-BU h. 1	49,7	23,40	103,0	14690
	BU-BR-BU h. 2	49,4	23,36	110,5	15215
	BU-BR-BU h. 3	49,4	23,63	107,9	13941
	BU-BR-BU h. 4	49,4	23,63	112,6	14513
	BU-BR-BU h. 5	49,4	23,05	103,6	15987
	BU-BR-BU h. 6	49,4	23,39	109,6	15297
	BU-BR-BU h. 7	49,4	21,67	109,4	15517
	BU-BR-BU h. 8	49,4	22,67	107,6	15209
	BU-BR-BU h. 9	49,4	23,12	116,6	15339
	BU-BR-BU h. 10	49,5	23,35	104,5	15153
	BU-BR-BU h. 11	49,3	22,98	108,2	14805
	BU-BR-BU h. 12	49,3	23,53	107,7	15162
	Srednja vred.			108,4	15069,0
	Standardni od.			3,7	501,6
	Koeficient var. (%)			3,4	3,3

Preskušane		Širina (mm)	Debelina (mm)	f_m (N/mm ²)	E_m (N/mm ²)
BUKEV	BU 1	49,8	22,20	93,4	12081
	BU 2	49,6	22,04	89,0	11120
	BU 3	49,6	22,09	83,2	11129
	BU 4	49,6	22,05	102,8	12739
	BU 5	49,9	22,01	96,8	11766
	BU 6	49,3	22,12	86,4	11366
	BU 7	49,0	22,15	92,7	12020
	BU 8	49,5	21,80	102,1	11106
	Srednja vred.			93,3	11665,9
	Standardni od.			6,6	553,3
	Koeficient var. (%)			7,1	4,7

Preskušane		Širina (mm)	Debelina (mm)	f_m (N/mm ²)	E_m (N/mm ²)
BU-BU-BU - VROČE	BU-BU-BU v. 1	49,8	21,42	115,5	13849
	BU-BU-BU v. 2	49,6	20,99	112,6	13363
	BU-BU-BU v. 3	49,7	20,91	108,7	12132
	BU-BU-BU v. 4	49,7	20,98	99,9	12971
	BU-BU-BU v. 5	49,6	21,18	107,5	13063
	BU-BU-BU v. 6	49,7	21,33	113,6	12841
	BU-BU-BU v. 7	49,7	21,39	107,7	12918
	BU-BU-BU v. 8	50,0	20,52	117,8	14234
	BU-BU-BU v. 9	49,8	20,77	102,9	12956
	BU-BU-BU v. 10	49,7	21,01	100,9	13156
	BU-BU-BU v. 11	49,6	21,91	112,5	11816
	BU-BU-BU v. 12	49,6	21,93	123,6	13927
	Srednja vred.			110,3	13102,2
	Standardni od.			6,8	666,3
	Koeficient var. (%)			6,1	5,1

Preskušane		Širina (mm)	Debelina (mm)	f_m (N/mm ²)	E_m (N/mm ²)
BU-BU-BU - HLADNO	BU-BU-BU h. 1	49,5	23,09	98,7	12846
	BU-BU-BU h. 2	49,4	23,53	99,8	11527
	BU-BU-BU h. 3	49,4	23,56	103,6	12290
	BU-BU-BU h. 4	49,6	23,18	88,7	12063
	BU-BU-BU h. 5	49,4	23,54	94,4	11061
	BU-BU-BU h. 6	49,4	23,45	107,2	12344
	BU-BU-BU h. 7	49,4	23,39	91,0	11761
	BU-BU-BU h. 8	49,5	23,75	99,6	11812
	BU-BU-BU h. 9	49,4	23,68	99,5	12084
	BU-BU-BU h. 10	49,8	23,61	102,7	13559
	BU-BU-BU h. 11	49,8	23,63	86,0	12527
	BU-BU-BU h. 12	49,5	23,38	83,3	12021
	Srednja vred.			96,2	12157,9
	Standardni od.			7,2	614,9
	Koeficient var. (%)			7,5	5,1

Preskušane		Širina (mm)	Debelina (mm)	f_m (N/mm ²)	E_m (N/mm ²)
JELŠA	JE 1	49,7	22,57	89,9	11579
	JE 2	49,7	22,24	71,0	10180
	JE 3	49,5	22,48	82,5	10504
	JE 4	49,7	22,32	86,0	11288
	JE 5	49,6	22,61	77,8	9668
	JE 6	49,4	22,43	84,4	10663
	JE 7	49,0	22,51	78,6	10096
	JE 8	49,9	22,41	86,8	11424
	Srednja vred.			82,1	10675,3
	Standardni od.			5,7	649,8
	Koeficient var. (%)			6,9	6,1

Preskušane		Širina (mm)	Debelina (mm)	f_m (N/mm ²)	E_m (N/mm ²)
BU-JE-BU - VROČE	BU-JE-BU v. 1	49,7	21,57	108,3	13648
	BU-JE-BU v. 2	49,7	22,18	113,3	13008
	BU-JE-BU v. 3	49,9	21,55	111,7	13483
	BU-JE-BU v. 4	49,7	22,31	113,4	12937
	BU-JE-BU v. 5	49,7	21,96	109,0	13694
	BU-JE-BU v. 6	49,7	21,81	107,6	12714
	BU-JE-BU v. 7	49,8	21,92	110,2	12932
	BU-JE-BU v. 8	49,8	21,26	101,7	12883
	BU-JE-BU v. 9	49,6	21,88	110,5	13341
	BU-JE-BU v. 10	49,7	22,07	105,5	13150
	BU-JE-BU v. 11	49,8	21,79	116,3	13216
	BU-JE-BU v. 12	49,7	21,79	110,5	12983
	Srednja vred.			109,8	13165,8
	Standardni od.			3,7	302,1
	Koeficient var. (%)			3,4	2,3

Preskušane		Širina (mm)	Debelina (mm)	f_m (N/mm ²)	E_m (N/mm ²)
BU-JE-BU - HLADNO	BU-JE-BU h. 1	49,4	22,96	93,9	12351
	BU-JE-BU h. 2	49,2	23,09	93,6	11601
	BU-JE-BU h. 3	49,5	23,13	105,2	11834
	BU-JE-BU h. 4	49,0	22,92	91,4	10729
	BU-JE-BU h. 5	49,1	22,86	98,3	11634
	BU-JE-BU h. 6	49,4	23,15	95,9	11998
	BU-JE-BU h. 7	49,3	23,16	92,4	11513
	BU-JE-BU h. 8	49,3	23,13	95,0	11751
	BU-JE-BU h. 9	49,3	22,73	92,6	11624
	BU-JE-BU h. 10	49,5	23,12	94,1	11245
	BU-JE-BU h. 11	49,3	23,05	91,5	11651
	BU-JE-BU h. 12	49,4	23,10	96,1	11077
	Srednja vred.			95,0	11584,0
	Standardni od.			3,6	404,9
	Koeficient var. (%)			3,8	3,5

Preskušane		Širina (mm)	Debelina (mm)	f_m (N/mm ²)	E_m (N/mm ²)
LIPA	LI 1	49,8	22,40	53,3	6393
	LI 2	49,5	22,13	102,0	10926
	LI 3	49,8	21,82	80,3	12317
	LI 4	49,5	22,46	91,4	12764
	LI 5	49,5	22,24	78,5	11719
	LI 6	49,0	21,84	82,2	10428
	LI 7	49,5	22,29	84,7	11879
	LI 8	49,3	22,21	78,5	10712
	Srednja vred.			81,4	10892,3
	Standardni od.			13,0	1860,2
	Koeficient var. (%)			15,9	17,1

Preskušane		Širina (mm)	Debelina (mm)	f_m (N/mm ²)	E_m (N/mm ²)
BU-LI-BU - VROČE	BU-LI-BU v. 1	49,7	21,84	108,2	13513
	BU-LI-BU v. 2	49,7	21,58	97,5	12550
	BU-LI-BU v. 3	49,7	22,08	102,2	12335
	BU-LI-BU v. 4	49,6	21,72	108,4	13217
	BU-LI-BU v. 5	49,6	21,72	95,1	12791
	BU-LI-BU v. 6	49,7	21,43	103,6	12843
	BU-LI-BU v. 7	49,6	21,96	101,1	12790
	BU-LI-BU v. 8	49,7	22,74	102,3	12853
	BU-LI-BU v. 9	49,6	21,82	103,3	12073
	BU-LI-BU v. 10	49,7	21,49	102,8	12830
	BU-LI-BU v. 11	49,7	22,17	103,6	12932
	BU-LI-BU v. 12	49,7	21,21	108,6	13965
	Srednja vred.			103,1	12891,0
	Standardni od.			3,9	480,5
	Koeficient var. (%)			3,8	3,7

Preskušane		Širina (mm)	Debelina (mm)	f_m (N/mm ²)	E_m (N/mm ²)
BU-LI-BU - HLADNO	BU-LI-BU h. 1	49,3	23,18	102,0	11780
	BU-LI-BU h. 2	49,4	22,80	92,6	11457
	BU-LI-BU h. 3	49,0	23,04	82,5	10063
	BU-LI-BU h. 4	49,4	22,48	80,2	11148
	BU-LI-BU h. 5	49,2	22,84	93,4	11540
	BU-LI-BU h. 6	49,1	22,61	85,8	10923
	BU-LI-BU h. 7	49,3	23,00	90,1	12616
	BU-LI-BU h. 8	49,2	22,81	88,3	10562
	BU-LI-BU h. 9	49,3	22,90	89,7	11524
	BU-LI-BU h. 10	49,4	22,95	86,5	10925
	BU-LI-BU h. 11	49,3	23,10	88,3	10803
	BU-LI-BU h. 12	49,3	23,02	92,6	11171
	Srednja vred.			89,3	11209,3
	Standardni od.			5,4	621,8
	Koeficient var. (%)			6,1	5,5

Preskušane		Širina (mm)	Debelina (mm)	f_m (N/mm ²)	E_m (N/mm ²)
MACESEN	MA 1	49,5	21,81	84,8	10654
	MA 2	49,6	22,00	87,0	13308
	MA 3	49,2	21,98	103,4	14233
	MA 4	49,8	22,36	100,3	11773
	MA 5	49,6	21,86	84,3	13181
	MA 6	49,7	22,00	63,8	11459
	MA 7	49,6	21,96	74,6	11228
	MA 8	49,5	22,21	105,1	14286
	Srednja vred.			87,9	12515,3
	Standardni od.			13,6	1320,3
	Koeficient var. (%)			15,4	10,5

Preskušane		Širina (mm)	Debelina (mm)	f_m (N/mm ²)	E_m (N/mm ²)
BU-MA-BU - VROČE	BU-MA-BU v. 1	49,6	22,61	102,3	13582
	BU-MA-BU v. 2	49,6	22,81	91,1	13018
	BU-MA-BU v. 3	49,7	22,89	91,0	13596
	BU-MA-BU v. 4	49,8	22,71	95,0	13400
	BU-MA-BU v. 5	49,6	23,23	106,7	14167
	BU-MA-BU v. 6	49,6	23,67	101,0	14122
	BU-MA-BU v. 7	49,7	22,33	99,0	12831
	BU-MA-BU v. 8	49,6	22,72	106,4	13595
	BU-MA-BU v. 9	49,7	22,98	100,6	12331
	BU-MA-BU v. 10	49,5	23,15	105,0	13572
	BU-MA-BU v. 11	49,6	22,98	93,9	13398
	BU-MA-BU v. 12	49,6	22,58	96,0	13221
	Srednja vred.			99,0	13402,8
	Standardni od.			5,4	491,0
	Koeficient var. (%)			5,4	3,7

Preskušane		Širina (mm)	Debelina (mm)	f_m (N/mm ²)	E_m (N/mm ²)
BU-MA-BU - HLADNO	BU-MA-BU h. 1	49,3	23,11	86,2	12047
	BU-MA-BU h. 2	49,3	23,15	87,8	13159
	BU-MA-BU h. 3	49,2	22,84	92,7	13584
	BU-MA-BU h. 4	49,4	23,39	90,0	12656
	BU-MA-BU h. 5	49,3	23,20	80,9	11757
	BU-MA-BU h. 6	49,2	23,21	90,8	12854
	BU-MA-BU h. 7	49,3	23,27	96,4	13264
	BU-MA-BU h. 8	49,4	23,41	87,8	12531
	BU-MA-BU h. 9	50,0	23,20	88,1	12629
	BU-MA-BU h. 10	49,4	23,48	86,5	11932
	BU-MA-BU h. 11	49,4	23,40	97,6	13345
	BU-MA-BU h. 12	49,4	23,47	103,3	12777
	Srednja vred.			90,7	12711,3
	Standardni od.			5,8	554,9
	Koeficient var. (%)			6,4	4,4

Preskušane		Širina (mm)	Debelina (mm)	f_m (N/mm ²)	E_m (N/mm ²)
SMREKA	SM 1	49,7	21,89	77,0	13088
	SM 2	49,4	21,73	83,6	14825
	SM 3	49,7	22,14	86,6	14576
	SM 4	49,7	21,70	73,4	12362
	SM 5	49,6	21,85	87,1	13645
	SM 6	49,3	21,31	45,6	7337
	SM 7	49,6	21,57	89,9	14436
	SM 8	49,1	21,77	86,4	13681
	Srednja vred.			78,7	12993,8
	Standardni od.			13,5	2270,5
	Koeficient var. (%)			17,2	17,5

Preskušane		Širina (mm)	Debelina (mm)	f_m (N/mm ²)	E_m (N/mm ²)
BU-SM-BU - VROČE	BU-SM-BU v. 1	49,6	22,18	92,6	14613
	BU-SM-BU v. 2	49,7	21,53	98,7	14351
	BU-SM-BU v. 3	49,7	21,28	91,6	14537
	BU-SM-BU v. 4	49,7	20,52	88,2	14398
	BU-SM-BU v. 5	49,6	21,17	95,8	14133
	BU-SM-BU v. 6	49,7	22,30	87,3	13281
	BU-SM-BU v. 7	49,7	20,82	84,0	13591
	BU-SM-BU v. 8	49,7	21,13	90,9	14029
	BU-SM-BU v. 9	49,7	22,29	90,3	13871
	BU-SM-BU v. 10	49,6	21,18	91,5	14794
	BU-SM-BU v. 11	49,6	21,22	93,0	14523
	BU-SM-BU v. 12	49,7	21,19	88,5	13817
	Srednja vred.			91,0	14161,5
	Standardni od.			3,7	436,8
	Koeficient var. (%)			4,1	3,1

Preskušane		Širina (mm)	Debelina (mm)	f_m (N/mm ²)	E_m (N/mm ²)
BU-SM-BU - HLADNO	BU-SM-BU h. 1	49,6	23,68	86,9	14833
	BU-SM-BU h. 2	49,4	23,70	74,9	13920
	BU-SM-BU h. 3	49,3	23,80	85,6	13846
	BU-SM-BU h. 4	49,3	23,23	76,9	13947
	BU-SM-BU h. 5	49,4	22,45	80,6	14230
	BU-SM-BU h. 6	49,4	23,99	83,3	14664
	BU-SM-BU h. 7	49,4	23,59	84,9	14561
	BU-SM-BU h. 8	49,4	22,58	74,9	13670
	BU-SM-BU h. 9	49,4	22,63	76,4	13862
	BU-SM-BU h. 10	49,5	23,36	83,8	13664
	BU-SM-BU h. 11	49,8	23,70	76,4	11723
	BU-SM-BU h. 12	49,4	23,53	80,3	14098
	Srednja vred.			80,4	13918,2
	Standardni od.			4,2	757,7
	Koeficient var. (%)			5,3	5,4

Rezultati merjenja izgube debeline preskušancev

Preskušanec		Debeline lemel (mm)							Vsota debelin (mm)	Debeline lepljenja (mm)			Povprečna debelina (mm)	Izguba debeline (%)	
		la. 1	la. 2	la. 3	la. 4	la. 5	la. 6	la. 7		d1	d2	d3			
BU-BR-BU - VROČE	BU-BR-BU v.1	3,41	3,50	3,68	3,68	3,42	3,32	3,44	24,45	22,41	22,68	22,62	22,57	7,69	
	BU-BR-BU v.2	3,25	3,33	3,34	3,78	3,56	3,62	3,35	24,23	21,93	22,06	22,06	22,02	9,13	
	BU-BR-BU v.3	3,35	3,48	3,51	3,61	3,57	3,39	3,26	24,17	22,37	22,52	22,39	22,43	7,21	
	BU-BR-BU v.4	3,45	3,44	3,74	3,39	3,40	3,31	3,35	24,08	22,15	22,34	22,07	22,19	7,86	
	BU-BR-BU v.5	3,47	3,22	3,63	3,51	3,68	3,50	3,34	24,35	22,53	22,59	22,47	22,53	7,47	
	BU-BR-BU v.6	3,49	3,40	3,50	3,66	3,35	3,42	3,25	24,07	22,54	22,59	22,53	22,55	6,30	
	BU-BR-BU v.7	3,31	3,70	3,68	3,52	3,51	3,50	3,28	24,50	21,72	21,93	21,84	21,83	10,90	
	BU-BR-BU v.8	3,33	3,32	3,39	3,64	3,42	3,47	3,30	23,87	22,37	22,48	22,30	22,38	6,23	
	BU-BR-BU v.9	3,41	3,23	3,52	3,49	3,25	3,58	3,26	23,74	22,44	22,65	22,51	22,53	5,08	
	BU-BR-BU v.10	3,30	3,43	3,61	3,57	3,44	3,25	3,48	24,08	21,92	22,30	22,04	22,09	8,28	
	BU-BR-BU v.11	3,29	3,46	3,57	4,39	3,52	3,25	3,32	24,80	22,16	22,45	22,50	22,37	9,80	
	BU-BR-BU v.12	3,22	3,46	3,23	3,32	3,35	3,20	3,30	23,08	22,62	22,63	22,48	22,58	2,18	
	Srednja vrednost														7,35
	Standardni odklon														2,18
Koeficient var. (%)														29,74	
BU-BR-BU - HLADNO	BU-BR-BU h. 1	3,58	3,59	3,72	3,59	3,62	3,60	3,58	25,28	24,98	25,21	25,10	25,10	0,73	
	BU-BR-BU h. 2	3,56	3,62	3,79	3,52	3,58	3,58	3,66	25,31	24,96	25,45	24,61	25,01	1,20	
	BU-BR-BU h. 3	3,55	3,57	3,54	3,57	3,66	3,58	3,53	25,00	24,73	25,37	24,74	24,95	0,21	
	BU-BR-BU h. 4	3,59	3,53	3,54	3,58	3,59	3,62	3,58	25,03	24,03	25,90	24,98	24,97	0,24	
	BU-BR-BU h. 5	3,54	3,60	3,57	3,58	3,55	3,56	3,58	24,98	24,55	25,54	24,75	24,95	0,13	
	BU-BR-BU h. 6	3,57	3,56	3,57	3,63	3,58	3,59	3,60	25,10	24,84	25,48	24,80	25,04	0,24	
	BU-BR-BU h. 7	3,57	3,58	3,66	3,67	3,61	3,61	3,56	25,26	24,3,1	25,30	25,16	25,23	0,12	
	BU-BR-BU h. 8	3,61	3,51	3,61	3,62	3,58	3,55	3,49	24,97	24,73	25,19	24,77	24,90	0,29	
	BU-BR-BU h. 9	3,57	3,44	3,62	3,57	3,52	3,59	3,58	24,89	24,52	25,31	24,80	24,88	0,05	
	BU-BR-BU h. 10	3,57	3,62	3,57	3,58	3,53	3,58	3,66	25,11	25,03	25,42	24,82	25,09	0,08	
	BU-BR-BU h. 11	3,49	3,41	3,42	3,55	3,46	3,70	3,52	24,55	24,00	24,90	24,55	24,48	0,27	
	BU-BR-BU h. 12	3,52	3,49	3,67	3,36	3,49	3,55	3,47	24,55	24,16	24,70	24,34	24,40	0,61	
	Srednja vrednost														0,35
	Standardni odklon														0,32
Koeficient var. (%)														92,44	

Preskušanec		Debeline lemel (mm)							Vsota debelin (mm)	Debeline lepljenja (mm)			Povprečna debelina (mm)	Izguba debeline (%)	
		la. 1	la. 2	la. 3	la. 4	la. 5	la. 6	la. 7		d1	d2	d3			
BU-BU-BU - VROČE	BU-BU-BU v. 1	3,16	3,37	3,27	3,16	3,27	3,14	3,19	22,56	21,16	21,22	21,43	21,27	5,72	
	BU-BU-BU v. 2	3,47	3,27	3,40	3,16	3,17	3,34	3,13	22,94	21,31	20,79	21,31	21,31	7,11	
	BU-BU-BU v. 3	3,22	3,21	3,26	3,20	3,28	3,24	3,20	22,61	20,71	20,76	20,83	20,77	8,15	
	BU-BU-BU v. 4	3,35	3,15	3,29	3,23	3,19	3,30	3,06	22,57	20,95	20,86	20,77	20,86	7,58	
	BU-BU-BU v. 5	3,18	3,25	3,43	3,14	3,50	3,43	3,04	22,97	21,35	21,15	20,80	21,10	8,14	
	BU-BU-BU v. 6	3,20	3,36	3,19	3,42	3,20	3,31	3,08	22,76	21,03	21,20	21,42	21,22	6,78	
	BU-BU-BU v. 7	3,12	3,33	3,51	3,23	3,26	3,40	3,23	23,08	21,42	21,24	21,12	21,26	7,89	
	BU-BU-BU v. 8	3,52	3,17	3,30	3,43	3,27	3,17	3,12	22,98	21,22	20,58	20,32	20,71	9,89	
	BU-BU-BU v. 9	3,24	3,50	3,14	3,28	3,11	3,20	3,04	22,51	20,64	20,66	20,70	20,67	8,19	
	BU-BU-BU v. 10	3,08	3,17	3,21	3,13	3,41	3,37	3,14	22,51	20,92	20,98	20,92	20,94	6,97	
	BU-BU-BU v. 11	3,28	3,34	3,53	3,55	3,42	3,12	3,10	23,34	21,94	21,88	21,81	21,88	6,27	
	BU-BU-BU v. 12	3,32	3,52	3,52	3,30	3,20	3,07	3,45	23,38	21,98	21,79	21,55	21,77	6,87	
	Srednja vrednost														7,46
	Standardni odklon														1,05
Koefficient var. (%)														14,06	
BU-BU-BU - HLADNO	BU-BU-BU h. 1	3,67	3,55	3,62	3,59	3,62	3,54	3,53	25,12	24,72	25,49	25,10	25,10	0,07	
	BU-BU-BU h. 2	3,59	3,58	3,59	3,58	3,54	3,55	3,67	25,10	24,85	25,31	24,85	25,00	0,39	
	BU-BU-BU h. 3	3,68	3,54	3,59	3,59	3,53	3,55	3,56	25,04	24,72	25,22	24,76	24,90	0,56	
	BU-BU-BU h. 4	3,64	3,68	3,63	3,61	3,60	3,64	3,69	25,49	25,12	25,57	25,77	25,49	0,01	
	BU-BU-BU h. 5	3,56	3,59	3,58	3,60	3,51	3,57	3,64	25,05	24,64	25,20	24,52	24,79	1,05	
	BU-BU-BU h. 6	3,69	3,67	3,57	3,68	3,62	3,65	3,58	25,46	25,07	25,61	25,49	25,39	0,27	
	BU-BU-BU h. 7	3,63	3,62	3,73	3,73	3,52	3,58	3,53	25,34	24,79	25,40	25,02	25,07	1,07	
	BU-BU-BU h. 8	3,57	3,61	3,57	3,59	3,58	3,57	3,68	25,17	25,11	25,24	25,02	25,12	0,19	
	BU-BU-BU h. 9	3,57	3,54	3,58	3,54	3,51	3,48	3,51	24,73	24,11	24,82	24,44	24,46	1,11	
	BU-BU-BU h. 10	3,66	3,62	3,55	3,49	3,57	3,55	3,65	25,09	24,87	25,52	24,80	25,06	0,11	
	BU-BU-BU h. 11	3,52	3,54	3,66	3,52	3,57	3,49	3,61	24,91	24,84	25,28	24,52	24,88	0,12	
	BU-BU-BU h. 12	3,62	3,62	3,69	3,65	3,68	3,72	3,64	25,62	25,24	26,02	25,34	25,53	0,34	
	Srednja vrednost														0,44
	Standardni odklon														0,39
Koefficient var. (%)														89,69	

Preskušanec		Debeline lemel (mm)							Vsota debelin (mm)	Debeline lepljenja (mm)			Povprečna debelina (mm)	Izguba debeline (%)
		la. 1	la. 2	la. 3	la. 4	la. 5	la. 6	la. 7		d1	d2	d3		
BU-JE-BU - VROČE	BU-JE-BU v. 1	3,27	3,29	3,42	3,55	3,42	3,29	3,11	23,35	21,13	21,50	21,57	21,40	8,35
	BU-JE-BU v. 2	3,27	3,47	3,48	3,32	3,42	3,51	3,30	23,77	22,00	22,10	22,05	22,05	7,24
	BU-JE-BU v. 3	3,24	3,22	3,41	3,43	3,38	3,39	3,50	23,57	21,59	21,38	21,12	21,36	9,36
	BU-JE-BU v. 4	3,31	3,28	3,54	3,37	3,51	3,37	3,35	23,73	22,13	22,14	22,09	22,12	6,78
	BU-JE-BU v. 5	3,37	3,42	3,47	3,67	3,49	3,38	3,22	24,02	21,33	21,80	22,13	21,75	9,44
	BU-JE-BU v. 6	3,50	3,42	3,40	3,62	3,55	3,18	3,58	24,25	21,48	21,68	22,00	21,72	10,43
	BU-JE-BU v. 7	3,25	3,12	3,52	3,42	3,36	3,50	3,14	23,31	21,96	21,78	21,47	21,74	6,75
	BU-JE-BU v. 8	3,19	3,14	3,41	3,45	3,42	3,21	3,22	23,04	21,04	21,19	21,16	21,13	8,29
	BU-JE-BU v. 9	3,30	3,28	3,44	3,60	3,39	3,27	3,18	23,46	21,83	21,74	21,73	21,77	7,22
	BU-JE-BU v. 10	3,30	3,42	3,44	3,44	3,54	3,11	3,49	23,74	21,98	21,07	22,03	21,69	8,62
	BU-JE-BU v. 11	3,20	3,32	3,57	3,35	3,31	3,36	3,54	23,65	21,28	21,82	22,06	21,72	8,16
	BU-JE-BU v. 12	3,22	3,49	3,58	3,35	3,48	3,16	3,19	23,47	21,55	21,84	22,08	21,82	7,02
	Srednja vrednost													
Standardni odklon														1,13
Koefficient var. (%)														13,93
BU-JE-BU - HLADNO	BU-JE-BU h. 1	3,48	3,41	3,52	3,45	3,48	3,39	3,49	24,22	23,29	23,99	23,71	23,66	2,30
	BU-JE-BU h. 2	3,42	3,57	3,50	3,54	3,49	3,41	3,42	24,35	23,22	23,49	23,23	23,31	4,26
	BU-JE-BU h. 3	3,47	3,46	3,44	3,62	3,54	3,49	3,44	24,46	23,49	23,84	23,69	23,67	3,22
	BU-JE-BU h. 4	3,45	3,58	3,56	3,58	3,48	3,43	3,51	24,59	24,01	24,03	23,92	23,99	2,45
	BU-JE-BU h. 5	3,49	3,58	3,46	3,49	3,46	3,48	3,54	24,50	24,18	24,49	24,47	24,38	0,49
	BU-JE-BU h. 6	3,68	3,71	3,69	3,68	3,59	3,69	3,63	25,67	25,87	25,12	25,92	25,64	0,13
	BU-JE-BU h. 7	3,41	3,49	3,45	3,46	3,45	3,48	3,55	24,29	24,07	24,32	24,13	24,17	0,48
	BU-JE-BU h. 8	3,49	3,51	3,56	3,49	3,52	3,60	3,47	24,64	23,70	24,13	24,11	23,98	2,68
	BU-JE-BU h. 9	3,39	3,52	3,47	3,63	3,60	3,55	3,45	24,61	23,87	24,40	24,50	24,26	1,44
	BU-JE-BU h. 10	3,46	3,42	3,38	3,45	3,47	3,41	3,52	24,11	23,42	23,96	24,21	23,86	1,02
	BU-JE-BU h. 11	3,42	3,41	3,51	3,41	3,40	3,45	3,41	24,01	23,21	23,44	23,06	23,24	3,22
	BU-JE-BU h. 12	3,47	3,45	3,43	3,52	3,58	3,51	3,44	24,40	23,28	23,76	23,75	23,60	3,29
	Srednja vrednost													
Standardni odklon														1,28
Koefficient var. (%)														61,67

Preskušanec		Debeline lemel (mm)							Vsota debelin (mm)	Debeline lepljenja (mm)			Povprečna debelina (mm)	Izguba debeline (%)
		la. 1	la. 2	la. 3	la. 4	la. 5	la. 6	la.7		d1	d2	d3		
BU-LI-BU - VROČE	BU-LI-BU v. 1	3,37	3,31	3,61	3,44	3,66	3,26	3,30	23,95	21,47	21,69	22,28	21,81	8,92
	BU-LI-BU v. 2	3,12	3,20	3,61	3,40	3,62	3,14	3,45	23,54	21,43	21,41	21,09	21,31	9,47
	BU-LI-BU v. 3	3,29	3,19	3,42	3,66	3,48	3,21	3,38	23,63	21,68	22,06	21,87	21,87	7,45
	BU-LI-BU v. 4	3,20	3,27	3,54	3,20	3,53	3,18	3,19	23,11	21,23	21,57	21,54	21,45	7,20
	BU-LI-BU v. 5	3,25	3,27	3,52	3,19	3,43	3,14	3,52	23,32	21,17	21,74	22,45	21,79	6,58
	BU-LI-BU v. 6	3,31	3,16	3,61	3,68	3,41	2,26	3,30	22,73	21,20	21,25	21,16	21,20	6,72
	BU-LI-BU v. 7	3,17	3,28	3,53	3,60	3,67	3,29	3,51	24,05	21,80	21,81	21,91	21,84	9,19
	BU-LI-BU v. 8	3,19	3,42	3,41	3,60	3,45	3,23	3,49	23,79	22,22	22,67	22,69	22,53	5,31
	BU-LI-BU v. 9	3,26	3,12	3,56	3,43	3,46	3,22	3,28	23,33	22,14	21,50	21,12	21,59	7,47
	BU-LI-BU v. 10	3,16	3,31	3,55	3,13	3,54	3,22	3,20	23,11	21,56	21,38	21,26	21,40	7,40
	BU-LI-BU v. 11	3,39	3,42	3,50	3,48	3,20	3,35	3,52	23,86	21,79	22,16	22,05	22,00	7,80
	BU-LI-BU v. 12	3,45	3,14	3,48	3,61	3,45	3,20	3,22	23,55	20,98	21,04	21,21	21,08	10,50
	Srednja vrednost													
Standardni odklon														1,38
Koeficient var. (%)														17,64
BU-LI-BU - HLADNO	BU-LI-BU h. 1	3,43	3,42	4,54	3,62	3,70	3,51	3,24	25,46	24,56	24,26	23,92	24,25	4,77
	BU-LI-BU h. 2	3,49	3,47	3,52	3,49	3,51	3,50	3,49	24,47	24,21	24,31	23,92	24,15	1,32
	BU-LI-BU h. 3	3,54	3,42	3,50	3,60	3,52	3,54	3,57	24,69	24,00	24,71	24,33	24,52	0,69
	BU-LI-BU h. 4	3,43	3,45	3,62	3,52	3,53	3,41	3,52	24,48	24,24	24,17	24,11	24,17	1,25
	BU-LI-BU h. 5	3,53	3,56	3,48	3,58	3,49	3,55	3,48	24,67	24,18	24,69	24,23	24,37	1,23
	BU-LI-BU h. 6	3,47	3,43	3,61	3,48	3,53	3,55	3,52	24,59	24,17	24,50	24,09	24,25	1,37
	BU-LI-BU h. 7	3,48	3,42	3,49	3,56	3,54	3,41	3,59	24,49	24,09	24,29	23,99	24,12	1,50
	BU-LI-BU h. 8	3,47	3,44	3,55	3,54	3,56	3,52	3,64	24,72	24,11	24,33	24,22	24,22	2,02
	BU-LI-BU h. 9	3,55	3,51	3,58	3,67	3,50	3,43	3,43	24,67	24,56	24,82	24,24	24,54	0,53
	BU-LI-BU h. 10	3,43	3,49	3,66	3,50	3,48	3,42	3,47	24,45	24,19	24,17	24,19	24,18	1,09
	BU-LI-BU h. 11	3,44	3,43	3,53	3,40	3,46	3,42	3,51	24,19	24,03	23,97	23,82	23,93	1,10
	BU-LI-BU h. 12	3,48	3,41	3,56	3,66	3,66	3,57	3,42	24,76	23,24	24,32	24,24	23,93	3,34
	Srednja vrednost													
Standardni odklon														1,16
Koeficient var. (%)														68,68

Preskušaneec		Debeline lemel (mm)							Vsota debelin (mm)	Debeline lepljenja (mm)			Povprečna debelina (mm)	Izguba debeline (%)	
		la. 1	la. 2	la. 3	la. 4	la. 5	la. 6	la. 7		d1	d2	d3			
BU-MA-BU - VROČE	BU-MA-BU v. 1	3,38	3,29	3,90	3,66	3,60	3,40	3,32	24,55	22,18	22,64	22,62	22,48	8,43	
	BU-MA-BU v. 2	3,40	3,36	3,80	3,58	3,70	3,13	3,32	24,29	22,56	22,70	22,34	22,53	7,23	
	BU-MA-BU v. 3	3,25	3,24	3,80	3,62	3,50	3,46	3,42	24,29	23,04	22,98	22,84	22,95	5,50	
	BU-MA-BU v. 4	3,28	3,00	3,54	3,66	3,60	3,49	3,38	23,95	22,45	22,47	22,32	22,41	6,42	
	BU-MA-BU v. 5	3,38	3,50	3,72	3,61	3,40	3,49	3,20	24,30	22,95	23,18	23,17	23,10	4,94	
	BU-MA-BU v. 6	3,42	3,30	3,59	3,70	3,85	3,18	3,29	24,33	23,84	23,59	23,17	23,53	3,27	
	BU-MA-BU v. 7	3,44	3,42	3,56	3,70	3,57	3,33	3,23	24,25	22,37	22,20	21,97	22,18	8,54	
	BU-MA-BU v. 8	3,43	3,25	3,67	3,68	3,52	3,60	3,24	24,39	22,72	22,95	22,70	22,79	6,56	
	BU-MA-BU v. 9	3,20	3,50	3,62	3,58	3,52	3,54	3,25	24,21	22,73	23,15	23,07	22,98	5,07	
	BU-MA-BU v. 10	3,36	3,34	3,80	3,53	3,64	3,38	3,21	24,26	22,67	23,07	22,76	22,83	5,88	
	BU-MA-BU v. 11	3,36	3,31	3,76	3,66	3,58	3,22	3,26	24,15	22,67	23,13	22,83	22,88	5,27	
	BU-MA-BU v. 12	3,35	3,40	3,67	3,72	3,61	3,54	3,14	24,43	22,75	22,58	22,68	22,67	7,20	
	Srednja vrednost														6,19
	Standardni odklon														1,46
Koeficient var. (%)														23,57	
BU-MA-BU - HLADNO	BU-MA-BU h. 1	3,80	3,58	3,67	3,55	3,60	3,52	3,53	25,25	25,08	25,13	24,78	25,00	1,00	
	BU-MA-BU h. 2	3,45	3,62	3,70	3,57	3,62	3,47	3,51	24,94	24,23	24,41	24,59	24,41	2,13	
	BU-MA-BU h. 3	3,42	3,44	3,82	3,70	3,83	3,62	3,46	25,29	24,67	25,06	24,74	24,82	1,85	
	BU-MA-BU h. 4	3,59	3,55	3,78	3,71	3,65	3,57	3,59	25,44	25,39	25,53	25,03	25,32	0,48	
	BU-MA-BU h. 5	3,59	3,43	3,59	3,70	3,70	3,57	3,43	25,01	24,46	24,54	24,08	24,36	2,60	
	BU-MA-BU h. 6	3,57	3,58	3,67	3,64	3,62	3,61	3,55	25,24	25,00	25,48	25,11	25,20	0,17	
	BU-MA-BU h. 7	3,42	3,61	3,71	3,58	3,53	3,45	3,53	24,83	24,41	24,54	24,14	24,36	1,88	
	BU-MA-BU h. 8	3,53	3,42	3,80	3,61	3,64	3,42	3,48	24,90	24,35	24,59	24,89	24,61	1,16	
	BU-MA-BU h. 9	3,47	3,48	3,73	3,51	3,44	3,39	3,48	24,50	24,32	24,53	23,92	24,26	0,99	
	BU-MA-BU h. 10	3,48	3,42	3,68	3,65	3,60	3,45	3,47	24,75	24,56	24,64	24,79	24,66	0,35	
	BU-MA-BU h. 11	3,42	3,47	3,52	3,85	3,42	3,42	3,54	24,64	24,53	23,07	23,92	23,84	3,25	
	BU-MA-BU h. 12	3,42	3,54	3,81	3,64	3,63	3,52	3,55	25,11	24,76	25,32	24,63	24,90	0,82	
	Srednja vrednost														1,39
	Standardni odklon														0,91
Koeficient var. (%)														65,52	

Preskušanec		Debeline lemel (mm)							Vsota debelin (mm)	Debeline lepljenja (mm)			Povprečna debelina (mm)	Izguba debeline (%)
		la. 1	la. 2	la. 3	la. 4	la. 5	la. 6	la. 7		d1	d2	d3		
BU-SM-BU - VROČE	BU-SM-BU v. 1	3,55	3,16	3,34	3,39	3,53	3,51	3,23	23,71	21,19	22,11	22,16	21,82	7,97
	BU-SM-BU v. 2	3,12	3,18	3,45	3,28	3,43	3,53	3,22	23,21	21,30	21,53	21,14	21,32	8,13
	BU-SM-BU v. 3	3,58	3,27	3,41	3,40	3,26	3,22	3,15	23,29	20,81	21,22	21,07	21,03	9,69
	BU-SM-BU v. 4	3,14	3,16	3,23	3,36	3,29	3,22	3,04	22,44	20,09	20,31	20,06	20,15	10,19
	BU-SM-BU v. 5	3,14	3,13	3,39	3,46	3,26	3,20	3,11	22,69	20,45	21,21	21,09	20,92	7,82
	BU-SM-BU v. 6	3,25	3,10	3,29	3,45	3,42	3,45	3,21	23,17	20,92	22,07	21,83	21,61	6,75
	BU-SM-BU v. 7	3,23	3,21	3,29	3,45	3,31	3,22	3,12	22,83	20,06	20,77	20,39	20,41	10,61
	BU-SM-BU v. 8	3,21	3,19	3,34	3,32	3,40	3,23	3,15	22,84	20,26	20,90	20,38	20,51	10,19
	BU-SM-BU v. 9	3,27	3,24	3,35	3,31	3,40	3,20	3,17	22,94	21,26	20,27	21,45	20,99	8,49
	BU-SM-BU v. 10	3,12	3,25	3,41	3,35	3,34	3,41	3,09	22,97	20,76	21,42	21,11	21,10	8,16
	BU-SM-BU v. 11	3,42	3,21	3,38	3,49	3,33	3,21	3,22	23,26	20,15	21,07	20,84	20,69	11,06
	BU-SM-BU v. 12	3,25	3,30	3,41	3,40	3,30	3,36	3,45	23,47	20,37	21,17	20,71	20,75	11,59
	Srednja vrednost													
Standardni odklon														1,46
Koeficient var. (%)														15,83
BU-SM-BU - HLADNO	BU-SM-BU h. 1	3,48	3,53	3,60	3,41	3,44	3,50	3,62	24,58	24,43	24,58	24,12	24,38	0,83
	BU-SM-BU h. 2	3,58	3,56	3,44	3,34	3,31	3,65	3,48	24,36	24,32	24,50	23,98	24,27	0,38
	BU-SM-BU h. 3	3,58	3,53	3,53	3,42	3,52	3,57	3,51	24,66	24,32	24,80	24,54	24,55	0,43
	BU-SM-BU h. 4	3,53	3,58	3,48	3,51	3,52	3,53	3,56	24,71	24,72	24,75	24,21	24,56	0,61
	BU-SM-BU h. 5	3,48	3,52	3,51	3,53	3,40	3,43	3,48	24,35	23,74	22,92	23,04	23,23	4,59
	BU-SM-BU h. 6	3,51	3,56	3,54	3,48	3,55	3,60	3,62	24,86	23,97	24,67	24,27	24,30	2,24
	BU-SM-BU h. 7	3,51	3,50	3,58	3,49	3,46	3,58	3,55	24,67	23,95	24,60	24,43	24,33	1,39
	BU-SM-BU h. 8	3,53	3,53	3,45	3,51	3,54	3,63	3,55	24,74	23,80	24,55	24,38	24,24	2,01
	BU-SM-BU h. 9	3,58	3,54	3,50	3,53	3,56	3,59	3,56	24,86	24,94	24,82	24,41	24,72	0,55
	BU-SM-BU h. 10	3,56	3,42	3,48	3,54	3,53	3,48	3,58	24,59	24,10	24,72	24,50	24,44	0,61
	BU-SM-BU h. 11	3,56	3,57	3,51	3,58	3,46	3,58	3,49	24,75	23,86	24,72	24,50	24,36	1,58
	BU-SM-BU h. 12	3,56	3,59	3,48	3,54	3,45	3,50	3,59	24,71	24,26	24,51	24,35	24,37	1,36
	Srednja vrednost													
Standardni odklon														1,14
Koeficient var. (%)														82,36

Preskušaneec		Širina (mm)	Dolžina (mm)	Debelina (mm)	Prostornina (mm ³)	Masa (g)	Masa m ₀ (g)	gostota (kg/m ³)	vlažnost (%)
BREZA	BR 1	49,6	50,7	22,42	56444,74	37,32	33,58	661,18	11,1
	BR 2	49,7	50,2	22,46	56046,10	38,04	34,11	678,73	11,5
	BR 3	49,2	50,6	21,98	54745,54	30,05	26,93	548,90	11,6
	BR 4	49,4	50,5	22,22	55333,76	32,50	29,21	587,34	11,3
	Srednja vrednost							619,04	11,4
	Standardni odklon							53,06	0,2
Koeficient var. (%)								8,57	1,6
BU-BR-BU - VROČE	BU-BR-BU v.1	49,7	50,4	22,28	55871,94	39,12	35,06	700,17	11,6
	BU-BR-BU v.2	49,7	50,4	21,88	54741,95	38,71	34,69	707,14	11,6
	BU-BR-BU v.3	49,7	50,4	22,56	56496,90	38,31	34,40	678,09	11,4
	BU-BR-BU v.4	49,6	50,2	22,67	56399,82	39,76	35,49	704,97	12,0
	Srednja vred.							697,59	11,6
	Standardni od.							11,54	0,2
Koeficient var.								1,65	2,1
BU-BR-BU - HLADNO	BU-BR-BU h.1	49,1	50,4	24,13	59792,33	39,86	35,41	666,64	12,6
	BU-BR-BU h.2	49,2	50,5	23,69	58808,74	38,60	34,28	656,37	12,6
	BU-BR-BU h.3	49,6	50,4	23,86	59603,18	39,46	35,32	662,05	11,7
	BU-BR-BU h.4	49,7	50,5	23,86	59836,62	38,49	34,61	643,25	11,2
	Srednja vrednost							657,08	12,0
	Standardni odklon							8,77	0,6
Koeficient var. (%)								1,34	4,9

Preskušane		Širina (mm)	Dolžina (mm)	Debelina (mm)	Prostornina (mm ³)	Masa (g)	Masa m ₀ (g)	gostota (kg/m ³)	vlačnost (%)
BUKV	BU 1	49,6	50,2	21,80	54179,84	35,03	31,24	646,55	12,1
	BU 2	48,9	50,3	22,13	54375,86	35,52	31,80	653,23	11,7
	BU 3	49,3	50,3	22,12	54808,68	33,93	30,10	619,06	12,7
	BU 4	49,7	50,1	21,90	54422,05	35,47	31,70	651,76	11,9
	Srednja vrednost							642,65	12,1
	Standardni odklon							13,84	0,4
Koefficient var. (%)								2,15	3,2
BU-BU-BU - VROČE	BU-BU-BU v. 1	49,6	50,3	21,03	52451,59	38,09	34,40	726,19	10,7
	BU-BU-BU v. 2	49,6	50,4	21,44	53660,44	38,37	34,20	715,05	12,2
	BU-BU-BU v. 3	49,7	50,4	21,16	52999,96	37,80	34,10	713,21	10,9
	BU-BU-BU v. 4	49,7	50,3	21,39	53470,41	38,41	34,60	718,34	11,0
	Srednja vrednost							718,20	11,2
	Standardni odklon							4,97	0,6
Koefficient var. (%)								0,69	5,2
BU-BU-BU - HLADNO	BU-BU-BU h. 1	49,4	50,4	24,02	59758,72	43,11	38,70	721,40	11,4
	BU-BU-BU h. 2	49,2	50,4	23,35	57960,67	39,63	35,50	683,74	11,6
	BU-BU-BU h. 3	49,5	50,4	23,80	59356,79	40,68	36,30	685,35	12,1
	BU-BU-BU h. 4	49,5	50,2	23,84	59133,19	39,72	35,58	671,70	11,6
	Srednja vrednost							690,55	11,7
	Standardni odklon							18,58	0,2
Koefficient var. (%)								2,69	2,1

Preskušane		Širina	Dolžina	Debelina	Prostornina	Masa	Masa m ₀	gostota	vlačnost
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm ³)	(g)	(g)	(kg/m ³)	(%)
JELŠA	JE 1	49,6	50,5	22,61	56634,51	28,89	26,01	510,11	11,1
	JE 2	49,4	50,2	22,10	54747,40	27,23	24,52	497,38	11,1
	JE 3	49,7	50,6	22,32	56150,20	27,34	24,61	486,91	11,1
	JE 4	48,7	50,4	22,38	54963,64	26,38	23,75	479,95	11,1
	Srednja vrednost							493,59	11,1
	Standardni odklon							11,38	0,0
Koefficient var. (%)								2,31	0,1
BU-JE-BU - VROČE	BU-JE-BU v. 1	49,9	50,3	22,06	55381,91	36,03	32,55	650,57	10,7
	BU-JE-BU v. 2	49,7	50,4	22,22	55695,56	36,38	32,80	653,19	10,9
	BU-JE-BU v. 3	49,7	50,5	21,71	54470,86	35,87	32,33	658,52	10,9
	BU-JE-BU v. 4	49,7	50,3	22,04	55097,45	35,99	32,46	653,21	10,9
	Srednja vrednost							653,87	10,9
	Standardni odklon							2,89	0,1
Koefficient var. (%)								0,44	0,9
BU-JE-BU - HLADNO	BU-JE-BU h. 1	49,2	50,3	23,25	57456,84	35,66	31,62	620,64	12,8
	BU-JE-BU h. 2	49,3	50,6	23,45	58413,90	36,41	32,21	623,31	13,0
	BU-JE-BU h. 3	49,2	50,5	23,18	57612,05	38,49	34,10	668,09	12,9
	BU-JE-BU h. 4	49,4	50,4	23,51	58526,06	37,39	33,13	638,86	12,9
	Srednja vrednost							637,73	12,9
	Standardni odklon							18,86	0,1
Koefficient var. (%)								2,96	0,7

Preskušane		Širina (mm)	Dolžina (mm)	Debelina (mm)	Prostornina (mm ³)	Masa (g)	Masa m ₀ (g)	gostota (kg/m ³)	vlačnost (%)
LIPA	LI 1	49,6	50,2	22,49	56034,26	26,38	23,87	470,78	10,5
	LI 2	49,9	50,5	21,90	55077,88	28,64	25,89	519,99	10,6
	LI 3	49,7	50,2	22,46	55967,76	32,64	29,52	583,19	10,6
	LI 4	49,7	50,3	22,23	55634,70	27,21	24,68	489,08	10,3
	Srednja vrednost							515,76	10,5
	Standardni odklon							42,72	0,1
Koeficient var. (%)								8,28	1,4
BU-LI-BU - VROČE	BU-LI-BU v. 1	49,7	50,3	21,71	54302,91	34,95	31,49	643,61	11,0
	BU-LI-BU v. 2	49,7	50,5	21,99	55111,19	36,31	32,63	658,85	11,3
	BU-LI-BU v. 3	49,7	50,3	21,19	52962,03	33,41	30,14	630,83	10,8
	BU-LI-BU v. 4	49,8	50,3	21,99	55015,93	36,79	33,16	668,72	10,9
	Srednja vrednost							650,50	11,0
	Standardni odklon							14,46	0,2
Koeficient var. (%)								2,22	1,4
BU-LI-BU - HLADNO	BU-LI-BU h. 1	49,3	50,1	23,13	57034,90	35,36	31,46	619,97	12,4
	BU-LI-BU h. 2	49,2	50,3	23,34	57709,88	37,15	33,00	643,74	12,6
	BU-LI-BU h. 3	49,1	50,2	22,97	56573,71	34,88	30,83	616,54	13,1
	BU-LI-BU h. 4	49,4	50,2	23,34	57843,25	35,09	31,16	606,64	12,6
	Srednja vrednost							621,72	12,7
	Standardni odklon							13,62	0,3
Koeficient var. (%)								2,19	2,2

Preskušane		Širina (mm)	Dolžina (mm)	Debelina (mm)	Prostornina (mm ³)	Masa (g)	Masa m ₀ (g)	gostota (kg/m ³)	vlačnost (%)
MAČESN	MA 1	49,4	50,3	22,26	55345,68	37,68	33,37	680,81	12,9
	MA 2	49,8	50,4	21,95	55067,68	35,24	31,34	639,94	12,4
	MA 3	49,1	50,3	22,03	54473,87	39,42	35,22	723,65	11,9
	MA 4	49,6	50,4	21,99	55013,69	36,06	32,22	655,47	11,9
	Srednja vrednost							674,97	12,3
	Standardni odklon							31,67	0,4
	Koeficient var. (%)							4,69	3,4
BU-MA-BU - VROČE	BU-MA-BU v. 1	49,6	50,0	22,24	55076,29	37,91	34,00	688,32	11,5
	BU-MA-BU v. 2	49,8	50,2	22,81	57011,19	39,12	35,10	686,18	11,5
	BU-MA-BU v. 3	49,7	50,4	22,09	55232,29	37,9	33,85	686,19	12,0
	BU-MA-BU v. 4	49,5	50,4	23,07	57462,68	39,57	35,40	688,62	11,8
	Srednja vrednost							687,33	11,7
	Standardni odklon							1,15	0,2
	Koeficient var. (%)							0,17	1,8
BU-MA-BU - HLADNO	BU-MA-BU h. 1	49,4	50,3	23,72	58981,83	40,50	35,81	686,65	13,1
	BU-MA-BU h. 2	49,2	50,4	23,62	58544,60	40,87	35,98	698,10	13,6
	BU-MA-BU h. 3	49,3	50,3	23,47	58081,37	41,26	36,71	710,38	12,4
	BU-MA-BU h. 4	49,3	50,3	23,76	58937,78	39,83	35,52	675,80	12,1
	Srednja vrednost							692,73	12,8
	Standardni odklon							12,89	0,6
	Koeficient var. (%)							1,86	4,5

Preskušane		Širina (mm)	Dolžina (mm)	Debelina (mm)	Prostornina (mm ³)	Masa (g)	Masa m ₀ (g)	gostota (kg/m ³)	vlačnost (%)
SMREKA	SM 1	49,8	50,4	22,16	55619,69	27,74	24,7	498,74	12,3
	SM 2	49,5	50,2	21,56	53570,43	28,42	25,1	530,52	13,2
	SM 3	49,8	50,3	22,01	55115,15	27,66	24,5	501,86	12,9
	SM 4	49,5	50,3	21,58	53703,19	27,83	24,6	518,22	13,1
	Srednja vrednost							512,33	12,9
	Standardni odklon							12,84	0,4
	Koeficient var. (%)							2,51	2,8
BU-SM-BU - VROČE	BU-SM-BU v. 1	49,5	50,5	21,02	52558,47	34,52	31,0	656,79	11,4
	BU-SM-BU v. 2	49,6	50,4	21,46	53609,12	36,71	32,9	684,77	11,6
	BU-SM-BU v. 3	49,5	50,6	21,01	52621,24	33,85	30,4	643,28	11,3
	BU-SM-BU v. 4	49,7	50,3	20,56	51385,44	32,37	29,1	629,94	11,2
	Srednja vrednost							653,70	11,4
	Standardni odklon							20,30	0,1
	Koeficient var. (%)							3,11	1,1
BU-SM-BU - HLADNO	BU-SM-BU h. 1	49,4	50,3	23,51	58335,20	35,06	30,86	601,01	13,6
	BU-SM-BU h. 2	49,6	50,3	23,50	58635,82	36,28	32,36	618,73	12,1
	BU-SM-BU h. 3	49,3	50,5	23,68	58946,05	36,49	32,29	619,04	13,0
	BU-SM-BU h. 4	49,4	50,5	23,64	58977,42	34,95	31,25	592,60	11,8
	Srednja vrednost							607,85	12,6
	Standardni odklon							11,44	0,7
	Koeficient var. (%)							1,88	5,6