

»Mladi za napredek Maribora 2023«
40. srečanje

Lubadarji proti lepljencem!

Raziskovalno področje: Gradbeništvo

Raziskovalna naloga

PROSTOR ZA NALEPKO

Maribor, 2023

KAZALO VSEBINE

1.	UVOD	6
1.1	Cilji raziskovalnega dela	7
1.3	Hipoteze.....	7
1.4	Metodologija dela.....	7
2.	NOSILCI	8
2.1	les	8
2.2	vrste lepil	13
2.2.1	Osnove lepljenja	17
3.	Priprava preizkušancev.....	25
4.	LEPLJENI NOSILCI - Preizkus	26
4.1	Značilnosti lesa bora	26
4.2	Značilnosti lesa smreke.....	29
4.3	Značilnosti lesa jesena	31
4.4	Značilnosti lesa hrasta	33
4.5	Značilnosti lesa oreha	35
5.	UGOTOVITVE.....	37
4.1	Deformacija nosilcev pred porušitvijo.....	37
4.2	Porušitev nosilcev.....	38
4.3	Upogib nosilcev	39
4.4	Računski preizkus	40
6.	ZAKLJUČEK.....	43
7.	VIRI IN LITERATURA	45

KAZALO SLIK

Slika 1: Delitev lepil.....	14
Slika 2: Nanašanje lepila na nosilce	15
Slika 3: Sušenje lepljenih nosilcev.....	15
Slika 4: Sušenje lepljenih nosilcev.....	15
Slika 5: Deske	15
Slika 6: Lepilo Mekol v vedru	16
Slika 7: Lepilni spoj je močan toliko, kot so močne najšibkejšje sile.	17
Slika 8: Kronometer	20
Slika 9: Orodje za nanašanje lepila	22
Slika 10: Stiskanje lepila	23
Slika 11: Jesenov nosilec	25
Slika 12: Orehov nosilec	25
Slika 13: Lepilo mekol v tubi	25
Slika 14: Borov nosilec	25
Slika 15: Smrekin nosilec.....	25
Slika 16: Hrastov nosilec.....	25
Slika 17: Upogibni preizkus s tri točkovno obremenitvijo.....	26
Slika 18: Struktura lesa smreke	27
Slika 19: Bor porušitev	28
Slika 20: Bor začetek	28
Slika 21: Struktura lesa smreke	29
Slika 22: Smreka začetek	30
Slika 23: Smreka porušitev	30
Slika 24: Struktura lesa jesena in olivno obarvana sredica	31
Slika 25: Jesen začetek	32
Slika 26: Jesen porušitev	32
Slika 27: Struktura lesa hrasta	33
Slika 28: Hrast začetek	34
Slika 29: Hrast porušitev	34
Slika 30: Struktura lesa oreha	35
Slika 31: Oreh začetek	36
Slika 32: Oreh porušitev	36

KAZALO GRAFIKONOV

Graf 1: Deformacija nosilca pred poružitvijo.....	37
Graf 2: Graf porušitve lepljencev	38
Graf 3: Maksimalni upogib lepljencev pri obremenitvi.....	39
Graf 4: Napetosti v lesovih	41
Graf 5: Napetosti v lesovih – maksimalni upogibni moment	41
Graf 6: Povezava napetosti in dejanski upogib.....	42

KAZALO TABEL

Tabela 1: pH vrednosti lesov	20
Tabela 2: Deformacije pred poružitvijo.....	37
Tabela 3: Vrednosti porušitve lepljencev	38
Tabela 4: Vrednosti upogiba lepljencev	39
Tabela 5: Izračunane vrednosti nosilcev	40

POVZETEK

V raziskovalni nalogi bomo preizkušali lepljene nosilce iz bora, smreke, jesena, hrasta in oreha, ki jih bomo zlepili skupaj belim lepilom Mekol. Preizkušali bomo njihovo trdnost. Prikazali bomo tudi dimenzije plasti in število plasti.

Cilji:

V prvem delu bomo predstavili delovanje nosilca, njegovo sestavo in njegove dobre in slabe lastnosti in kako reagirajo na deformacije.

V Praktičnem delu bomo preizkušali lepljene nosilce. Rezultate bomo dokumentirali in jih po končanem delu tudi analizirali in primerjali.

Za to raziskovalno nalogo smo se odločili, ker želimo najti najboljši nosilec, katerega bi lahko uporabljali v praksi.

Cilj naloge je pridobiti računalniški model za izračun lepljenega nosilca, ki bo verodostojen realnemu odzivu.

ZAHVALA

Veseli nas, da smo lahko kljub razmeram v tem času sodelovali v tem projektu, tako da se zahvaljujemo organizatorjem tega projekta.

Zahvaljujemo se tudi osebam, ki so nam pomagale pridobiti samo idejo za to raziskovalno nalogo in kasneje tudi material in znanje za opravljanje preizkusov.

Zahvala gre tudi staršem, ki so nam skozi ves proces izdelave raziskovalne naloge stali ob strani.

Posebej bi se radi zahvalili mentorju, ki nas je spodbujal in vodil pri izdelavi naloge. Zahvaljujemo se tudi vsem profesorjem na šoli in na Fakulteti za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo, ki so nam omogočili izvedbo praktičnega dela naloge. Iskrena hvala vsem.

1. UVOD

Les je eden najstarejših gradbenih materialov. Vendar vsak les nima primernih konstrukcijskih in mehanske lastnosti (upogibna, tlačna trdnost, strižna in natezna trdnost ...) Zato veliko vrst lesa izkazuje v gradbeništvu določene pomanjkljivosti. Rešitev so moderni tehnološki postopki, s katerimi je mogoče les predelati tako, da bo v gradbeništvu uporaben.

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.

Eden izmed takšnih postopkov je tudi lepljenje lesa, s čimer lesu prilagodimo strukturo in mu izboljšamo mehanske lastnosti. Najbolj znani in v gradbeništvu uporabni so lepljenci oziroma leseni lepljeni nosilci, ki dosegajo precej večje razpone in nastopajo celo kot konstrukcijski elementi hal in športnih dvoran.

Leseni lepljeni tramovi se v gradbeništvu uporabljajo v najrazličnejše namene. Iz njih lahko naredimo konstrukcijo za nadstrešek ali streho. Lepljen les je uporaben tako za gradnjo stanovanjskih blokov in hiš kot tudi poslovnih stavb in industrijskih objektov. Lepljeni nosilci pa se uporabljajo tudi za konstrukcijo mostov in drugih infrastrukturnih objektov. Pri lesenih montažnih objektih smo omejeni z razponi, ki jih omogoča montažna konstrukcija. Tako tudi v montažni gradnji vse pogosteje uporabljajo lesene lepljene nosilce, ki omogočajo večje razpone v objektu.

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.

1.1 Cilji raziskovalnega dela

Zastavila so se nam številna vprašanja glede lepljencev. Cilj naše raziskovalne naloge je, da raziščemo zakaj se uporablja samo določen les v lepljencih. Zakaj ne moremo uporabljati cenejšega lesa.

Cilji pri tej raziskovalni nalogi so:

- poučiti se še bolj o lesenih nosilcih,
- počiti se na kakšen način so sestavljeni lepljeni nosilci,
- ugotoviti, kateri les, ki smo si jih izbrali, bo prenesel največ obremenitev in bo primeren za gradnjo.

1.3 Hipoteze

1. Lepljeni nosilec iz oreha bo zdržal največjo silo,
2. Pri tlačni obremenitvi pride, do odstopa lesa zaradi lepila,
3. Cena vpliva na izbor lesa v nosilcih.

1.4 Metodologija dela

Raziskovalno nalogo smo razdelili v dva dela. V prvem delu naloge smo raziskovali, kaj je so leseni lepljenci, kakšne lepila se uporabljajo, iz katerih vrst lesa so narejeni, kako jih lepimo ...

Drugi del naloge je bil malo bolj raziskovalen, saj smo pridobili različne vrste lesa, in jih pripravili (narezali, pobrusili,..) za lepljenje. Mere (robne pogoje) smo določili že vnaprej, nato smo jih morali upoštevati pri pripravi lepljencev. Nato smo les pravilno temperaturno pripravili, da je imel les pravilno vlago in temperaturo.

Raziskovanje je sledilo, ko so bili lepljenci dokončno pripravljeni. Potrebovali smo tlačni preizkus, katerega smo opravili ni tlačni stiskalnici na UM Fakulteti za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo. Tam imajo primerno napravo za testiranje tlačne trdnosti.

Predhodno smo določili, da morajo biti nosilci tritočkovno obremenjeni. Med podporama je mora biti 80 cm, da ima nosilec dovolj previsa preko podpore, kakor je tudi po predpisih.

2. NOSILCI

2.1 LES

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 je živ material. Kar pomeni, da konstanto diha in se spreminja. In kot živ organizem ni imun na vse pojave, ki nanj vplivajo med samo rastjo. Človek, vreme, insekti in živali so vsi odgovorni za nastanek poškodb in napak, ki kasneje vplivajo na izgled ter kvaliteto lesa.

Napake oz. lastnosti lesa so vsi pojavi, ki motijo predelavo, obdelavo in uporabo lesa. Delimo jih v dve skupini.

- Prva skupina so posledice, ki nastanejo zaradi rasti. To so koničnost lesa, spremenjen potek vlaken, krivost debla, nepravilen prečni les, reakcijski les, grče ter smolike.
- Drug sklop napak pa nastane kot posledica poškodb. Med te štejemo razpoke, barvne spremembe itn.

Ena največjih prednosti uporabe lesa kot gradbenega materiala je ta, da je naravni vir, zaradi česar je lahko dostopen in ekonomsko izvedljiv. Je izjemno močan glede na svojo težo in zagotavlja dobro izolacijo pred mrazom. Les je zelo dober obdelovanec in ga lahko oblikujemo v vseh oblikah in velikostih, tako da ustreza praktično vsem gradbenim potrebam. Les je biološko razgradljiv in obnovljiv ter ima najnižji odtis ogljika od primerljivih gradbenih materialov. Poleg tega za proizvodnjo lesa niso potrebna visoko energijska fosilna goriva, za razliko od drugih običajnih gradbenih materialov, kot so opeka, jeklo ali plastika.

Prednosti lesa v gradbeništvu:

- Gradbeni les je ekološko in lokalno gradivo
- Les ponuja številne konstrukcijske prednosti
- Konstrukcijski les ima dobro požarno odpornost

Slabosti lesa v gradbeništvu:

- Gradbeni les je občutljiv na vremenske vplive
- Les je slab toplotni akumulator
- Lesene konstrukcije so drage

Zmotno velja les kot problematičen ob požaru, saj gre pravzaprav material z visoko požarno odpornostjo. Skrivnost protipožarne učinkovitosti lesa se skriva v njegovi lastnosti oglečenja, torej dejstvu, da les ob stiku z ognjem zgori. Ta proces se zgodi pri temperaturi 300 stopinj. Prav zoglenela plast tvori naravno protipožarno zaščito in preprečuje, da bi ogenj dosegel sredico lesene konstrukcije. To lesenim konstrukcijam omogoča, da ohranijo svojo mehansko trdnost, objekt pa v primeru požara ostane stabilen in varen za evakuacijo še več ur. Lesene konstrukcije so v primeru požara celo bolj varne od jeklenih, ki se kljub obvezno zahtevanim protipožarnim premazom po relativno kratkem času začnejo topiti in s tem izgubljati svoje konstrukcijske lastnosti.

Les ima kot produkt živega organizma, celično zgradbo.

Zgrajen je torej iz posebnih lesnih celic, ki jih je več vrst in imajo različne oblike. Vsaka vrsta celice služi drevesu za drug namen. Skupna lastnost vseh vrst celic v lesu pa je, da so zgrajene iz celične stene (ki je nekaj posebnega) in votle notranjosti. Skupno je tudi to, da je v celični steni vsake lesne celice vse polno luknjic, ki povezujejo votle notranjosti celic med seboj.

Kljub vsemu pa bi lahko rekli, da ima nekako tipična lesna celica podolgovato, vlaknasto obliko in je votla. Več kot besede lahko o mikrostrukturi lesa povedo slike. Pri tem je potrebno pojasniti, kaj določena slika predstavlja. Pri pripravi vzorca lesa, ki ga bomo opazovali, ločimo tri poglede ali reze. Drugače povedano, isti kos lesa ima lahko tri tipične izglede, odvisno kako ga prerežemo.

Ti trije rezi ali pogledi so: radialni rez, tangencialni rez in prečni rez.

V bistvu so to trije načini, kako lahko (moramo) prerežemo les tako, da nam vsi trije pogledi skupaj, kar najbolj resnično predstavijo sliko strukture lesa in. Obenem pa so to tudi rezi ali pogledi pri katerih nam vsak pokaže drugačno sliko lesa.

Poznavanje mikro zgradbe lesa nam bo omogočilo lažje razumevanje nekaterih tipičnih lastnosti lesa.

Trdnost lesa

Trdnost lesa je lastnost, ki pove koliko obremenitve les prenese preden se zlomi.

Trden les prenese veliko obremenitev preden se zlomi, in obratno, šibak les ne prenese velikih obremenitev. Na trdnost lesa močno vpliva teža (gostota) lesa. Težji, torej gostejši lesovi, so bolj trdni od lažjih lesov. Po trdnih lesovih sežemo, ko gradimo razne konstrukcije, pohištvo in vsepovsod tam kjer mora les prenašati veliko obremenitev.

Trdni les je les hrasta, jesena, bresta, bukve, akacije, gabra, macesna.

Trajnost lesa

Trajnost lesa je lastnost lesa, ki pove kako, je les odporen na gnitje in razpadanje oziroma koliko časa obdrži svoje prvotne lastnosti.

Trajen les je naravno bolj odporen na gnitje in razpadanje, medtem ko, netrajnen les hitreje razpada. Lastnost trajnih lesov je, da dlje vzdržijo v pogojih, ki so ugodni za začetek razpadanja (visoka vlažnost lesa, ugodne temperature). To lastnost izkoriščamo povsod tam kjer je les stalno v stiku z vlago, bodisi v zemlji, vodi ali zraku. Tako iz takih vrst izdelujemo razne drogeve, pilote, kostrukcije, ki so izpostavljene dežju in podobno.

Les v glavnem uničujejo insekti, glive, vremenski vplivi (dež, sonce, zrak) ter mehanska obraba. Noben les ni varen pred škodljivci, so samo bolj in manj odporni.

Trajni lesovi so: hrast, kostanj, akacija, macesen, bor, deloma brest, oreh ...Izrazito netrajni lesovi pa so: topol, lipa, jelka, bukev, javor, pa tudi jesen.

Zanimivost: V ugodnih pogojih les bolj ali manj hitro razpada. Še najbolje se obdrži, če je popolnoma suh ali pa popolnoma potopljen v vodo. V takih razmerah so pogoji za razvoj insektov in gliv najmanjši. Dokaz za to so ostanki starih lesenih ladij in čolnov, ki jih arheologi odkrivajo na dnu morja in močvirji, ali pa pohištvo iz faraonovih grobnic, zgrajenih pod zemljo v suhih puščah.

V takih razmerah les lahko vzdrži tudi tisoče let.

Trdota lesa

Trdota lesa je lastnost, ki pove, kakšen odpor nudi površina lesa na neko silo s katero delujemo na to površino.

Taka sila je lahko orodje s katerim obdelujemo les, čevlji s katerimi drsamo, naprimer po parketu ali pa trud s katerim zabijamo žebelj v les. Vrste lasa bi lahko v grobem razdelili na trde in mehke.

Trde lesove težje obdelujemo in so bolj odporni na površinsko obrabo. Mehke lesove pa lažje obdelujemo, se površinsko hitro obrabijo in so praviloma lažji ob trdih lesov.

Trd les praviloma uporabljamo za talne obloge, stopnice, pohištvo... medtem ko mehki les bolj za embalažo, gradbeni les, rezbarijo, modelarstvo in podobno.

Trdi lesovi so: gaber, akacija, hruška, hrast, brest, bukev, jesen, javor...Mehki lesovi pa so: smreka, jelka, bor, macesen, lipa, topol, jelša, breza, kostanj, vrba,...

Hidroskopičnost lesa

Hidroskopičnost je lastnost, ki pove, da je les sposoben vpijanja in oddajanja vode, torej vlaženja in sušenja.

Les lahko vpija vodo iz zraka (zračna vlaga), lahko pa vpija vodo, ki je v tekočem stanju. To je proces vlaženja lesa. Takrat les nabreka. Ravno tako les v primernih okoliščinah oddaja vodo v zrak, torej se suši. Pri tem se krči, običajno poka in se zvija. Ko se hlodi razžagajo v deske, je les v deskah vlažen. Take deske moramo, preden jih predelamo v izdelke, posušiti. To storimo tako, da deske zložimo v kup, med njih pa vstavimo prečne letve. Tako pripravljen les potem sušimo na zraku ali pa v posebnih zaprtih prostorih (sušilnicah), pri višjih temperaturah. Šele v sušilnicah posušen les je pripravljen za predelavo v izdelke kot so pohištvo, talne obloge, vrata, okna...

Posušen les se lahko v vlažnem zraku ali vodi ponovno navlaži.

Požarna varnost

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 zogleenelost 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).

Cena lesa

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 pred izdelavi

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.

2.2 VRSTE LEPIL

Poznamo raznovrstna lepila, ki jih glede na lastnosti in način uporabe uporabljamo za različne namene.

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.

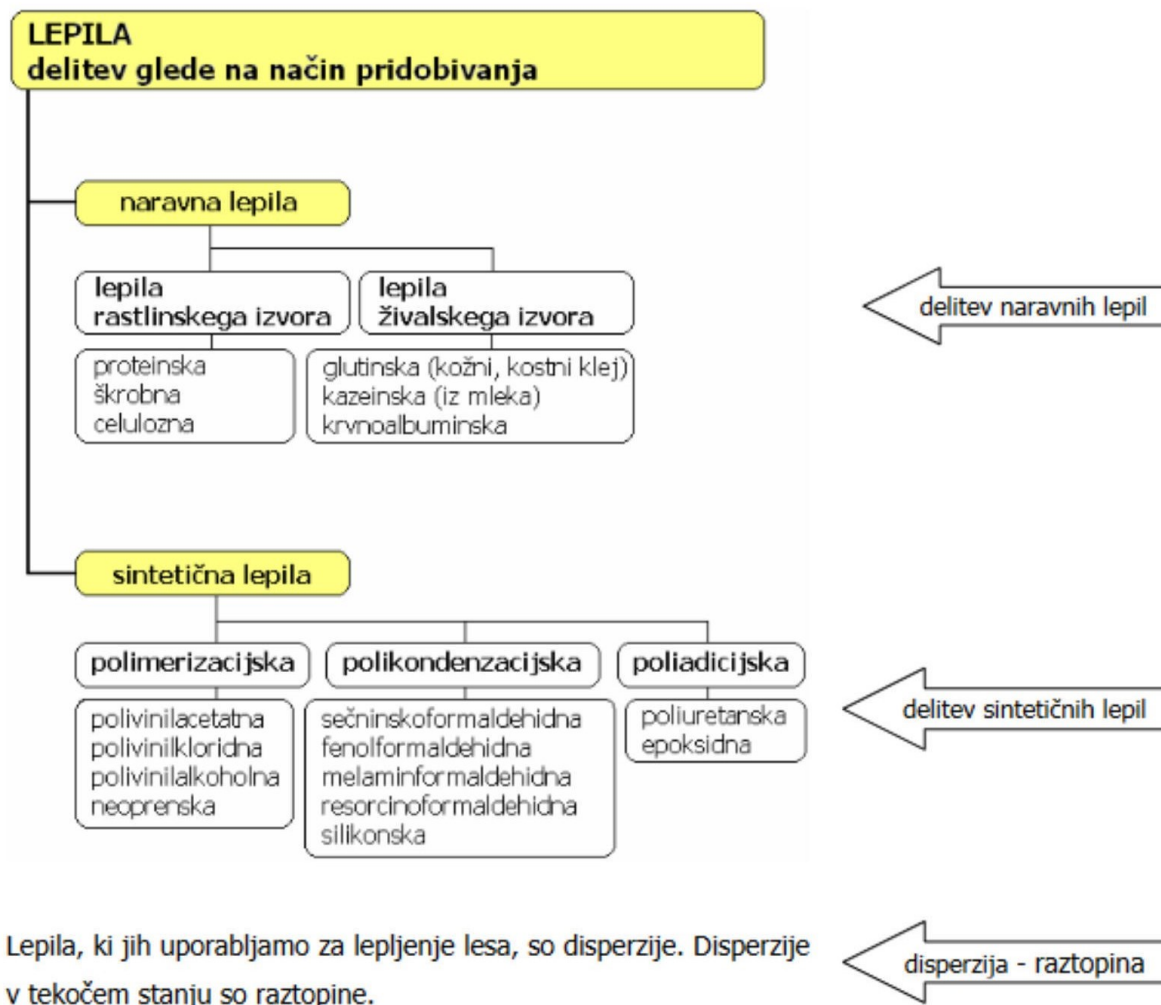
Z lepljenjem naj bi dosegli spoje, ki bi imeli trdnost enako trdnosti lesa ali večjo. Večina lepil za les tudi dejansko lahko tvori spoje, ki dosegajo oziroma celo presegajo trdnost lesa.

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

Lepila delimo glede na izvor na naravna in sintetična.



Lepila, ki jih uporabljamo za lepljenje lesa, so disperzije. Disperzije v tekočem stanju so raztopine.

$$\text{raztopina} = \text{dispergirana snov} + \text{disperzno sredstvo}$$

snov v različnih agregatnih stanjih topilo

Slika 1: Delitev lepil

Tehnološki postopek lepljenja zajema več delovnih postopkov:

- priprava lepilnih površin
- izbira ustreznega lepila
- priprava lepila
- nanašanje lepila na lepilno površino
- stiskanje lepljenih delov
- postopek po stiskanju (umirjanje lepljencev)
- popravljanje napak, ki so morda nastale pri lepljenju

Priprava lepilnih površin



Slika 2: Nanašanje lepila na nosilce



Slika 3: Sušenje lepljenih nosilcev



Slika 4: Sušenje lepljenih nosilcev

Površine, ki jih lepimo, morajo biti primerno obdelane in očiščene:

- ravne, a ne preveč gladke
- brez prahu in mastnih madežev
- ploskvi lepljencev, ki jih želimo zlepit, se morata prilegati
- oba lepljenca morata imeti enako temperaturo in vlažnost



Slika 5: Deske

Izbira ustreznega lepila

Lepilo izberemo glede na:

- materiale, ki jih lepimo (les, plošče, kovino, steklo, sintetične snovi ...)
- vrsto lepljenja
- ploskovno furniranje
- lepljenje robnih nalepkov
- montažno lepljenje
- izdelava plošč



Slika 6: Lepilo Mekol v vedru

zahteve uporabe izdelka:

- varovanje zdravja uporabnikov
- škodljivost okolju
- pogoje, ki jim je izpostavljen:
- klimatskim pogojem (temperatura in vlažnost)
- kemikalijam
- vodi
- toploti
- statičnim in dinamičnim obremenitvam Priprava lepilne mešanice

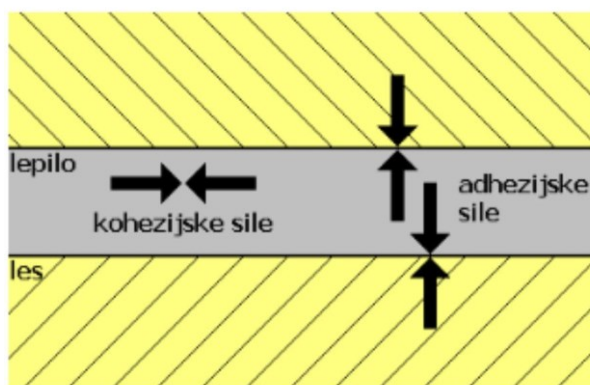
Zelo priročno je, da pred uporabo lepila samo odpremo posodo, nanesimo lepilo in po uporabi posodo zapremo. Največkrat pa moramo lepilno mešanico pred uporabo pripraviti po navodilih proizvajalca. Priprava je odvisna od vrste lepila: mešanje lepila, redčenje, dodajanje utrjevalca, polnil, segrevanje in podobna opravila, ki jih predpiše proizvajalec v navodilih za pripravo lepila.

Lepilom lahko dodajamo številne dodatke, ki izboljšujejo njihove lastnosti. Vrste dodatkov in namen uporabe so podani v preglednici

2.2.1 Osnove lepljenja

Lepila lepijo les zaradi skupnega delovanja vezivnih sil, ki se pojavijo:

- Med molekulami lepila in lesa – adhezijske sile
- Med molekulami lepila – kohezijske sile



Slika 7: Lepilni spoj je močan toliko, kot so močne najšibkejše sile.

Adhezija - oprijemnost

Adhezijske sile so privlačne sile med različnimi molekulami, ki so posledica molekulskih oz. kemičnih vezi. Pri lepljenju lesa so to sile med molekulami lepila in lesa. Za delovanje adhezijskih sil je najpomembnejše to, da lepilo popolnoma omoči površino lepljenca, za to pa mora biti izpolnjenih več pogojev:

- izbrano mora biti primerno lepilo glede na sestavo in lastnosti
- lepilo mora biti pravilno pripravljeno in naneseno po priporočilih proizvajalca
- površina lepljencev mora biti primerno gladka in čista
- lepljenci morajo imeti ustrezen % vlažnosti
- lepljenci se morajo stikati po celotni površini
- upoštevati je treba predpisani čas utrjevanja
- upoštevati je treba kemično sestavo lepila in lepljencev, predvsem pH

Kohezija- trdnost

Kohezijske sile so privlačne sile med molekulami iste snovi. Kohezijske sile so največje med molekulami trdnih snovi. Tako dosegajo največje vrednosti v utrjenem lepilu zato je vedno potrebno preveriti predpisani čas utrjevanja.

Utrjevanje lepil

Lepila, ki so namenjena lepljenju lesa, navadno nanašamo v tekoči obliki. Tako lepilo prodre v les, se tam zasidra, utrdi in poveže lepljenca skupaj. Temu procesu pravimo utrjevanje lepila. Lepilo doseže maksimalno vezivno trdnost šele čez nekaj časa. Na postopek utrjevanja pa vpliva več dejavnikov:

- vrsta lepila,
- temperatura lepljenja,
- vlažnost lesa in
- način utrjevanja lepila.

Lepilo za les se spremeni iz tekočega v trdno na fizikalni ali fizikalno - kemični ravni.

Fizikalno utrjevanje

Lepila so disperzije in vsebujejo 30 - 60 % topila. Največkrat je v lepilih za les topilo voda. Med sušenjem lepilnega spoja tekočina prehaja v les, ki je higroskopičen in kasneje v zrak, suha lepilna snov v spoju pa veže obdelovanca. Utrjevanje lepil z izhlapevanjem topila je fizikalno. Na tak način se utrjujejo polivinilacetatna in neoprenska lepila.

Fizikalno se utrjujejo tudi talilna lepila, ki jih nabavimo v trdni obliki, jih pred nanašanjem segrejemo - utekočinimo, lepilni spoj pa se utrjuje med ohlajanjem nanešenega lepila.

Fizikalno-kemično utrjevanje

Lepilne mešanice, ki jih pripravimo tako, da jim dodamo trdilec, se utrjujejo na fizikalno-kemični način:

- iz lepilne raztopine izhaja topilo – fizikalno utrjevanje,
- v lepilni mešanici poteka kemična reakcija, med katero se molekule lepila povezujejo v makromolekule; pospešil jo je dodatek trdilca - kemično utrjevanje .

Na fizikalno-kemični način se utrjujejo polikondenzadjska in sečninsko-formaldehidna lepila. Na tržišču lahko kupimo lepilno je mešanico v prahu, ki ji je že dodan trdilec in ji pred uporabo dodamo le vodo, da sprožimo kemično reakcijo.

Vezivna trdnost lepilnega spoja

Vezivno trdnost lepilnega spoja tvorijo adhezijske in kohezijske sile.

Vezivna trdnost je odvisna tudi od časa utrjevanja lepila v lepilnem spoju, ki lahko traja še nekaj časa po stiskanju lepljencev. Končno vezivno trdnost doseže lepilni spoj takrat, ko je končano utrjevanje lepila v lepilnem spoju. Vezivno trdnost lepilnega spoja lahko ocenimo tudi s stopnjo zlepljenosti, ki jo ugotovimo po poružitvi lepilnega spoja:

- slaba zlepljenost - lepljenca sta se ločila po lepilnem spoju
- srednja zlepljenost - lepljenca sta se ločila delno po lepilnem spoju, delno po lesu
- dobra zlepljenost - lepljenca sta se ločila pretežno po lesu

Viskoznost

Pri pretakanju nekaterih snovi, na primer medu, olja ali lepila opazimo, da tekočina ne steče iz posode lahko, kot na primer pri vodi. Take materiale zaradi te lastnosti imenujemo viskozne snovi. Viskoznost pa se ne pojavlja le pri medu, lepilu ipd., ampak pri vseh plinastih in tekočih snoveh. Je lastnost, ki je pogojena z delovanjem strižne sile med deli tekočine, ki mirujejo in deli, ki tečejo s tokom oziroma curkom.

Vpliv viskoznosti na lepljenje lesa

Viskoznost lepila vpliva na nanašanje lepila in na preboj lepila skozi furnir pri furniranju. Prenizka viskoznost lahko pomeni vnos večje količine vode v lepljenca. Posledica so lahko napake pri lepljenju: mehurji in razpoke pri vročem lepljenju.

- **Prenizka viskoznost** poveča možnost preboja lepila skozi furnir, še posebej skozi tanjši furnir in furnir lesnih vrst z večjimi porami.
- **Previsoka viskoznost** pomeni večji nanos lepila. Lepilo ne more prodreti v les (ne omoči površine lepljenca) in lepilni spoj ni kvaliteten.

Uravnavanje viskoznosti

Viskoznost uravnavamo z višanjem in nižanjem temperature. Višja temperatura zniža viskoznost in lepilo močneje penetrira (prodira) v les, možnost preboja lepila skozi porozne furnirje je večja. Viskoznost lepila povečujemo z dodajanjem polnil, zmanjšujemo pa jo z redčenjem. Proizvajalci lepil redčenja ne priporočajo.

Povečuje se tudi s starostjo nekaterih lepil.

Merjenje viskoznosti

Viskoznost lahko tudi izmerimo: po velikosti je enaka sili, ki je potrebna, da v plasti tekočine s površino 1 m² in debelino 1 m vzdržujemo hitrost 1 m/s zgornje plasti glede na spodnjo plast. Enota za merjenje viskoznosti je pascalsekunda (Pas). Tekočinam (kapljevinam) je mogoče izmeriti viskoznost na več načinov. V praksi pogosto merimo viskoznost posredno, to je z iztočnim časom določene količine tekočine skozi šobo določenega premera pri določeni temperaturi. Za takšno merjenje uporabimo iztočno čašo po SIST EN ISO 2431 in kronometer. Krajši iztočni čas pomeni manjšo viskoznost, daljši pa večjo.



Slika 8: Kronometer

pH LEPIL

pH raztopine je negativni desetiški logaritem vrednosti množinske koncentracije vodikovih ionov v določeni raztopini. Glede na vrednost pH ločimo:

- kisle raztopine - $\text{pH} < 7$
- nevtralne raztopine - $\text{pH} = 7$
- bazične raztopine - $\text{pH} > 7$

Lepila imajo različne pH vrednosti. PVA lepila so rahlo kislá, polikondenzacijska lepila so od rahlo do precej kislá, odvisno od kislosti utrjevalca, ki ga uporabljamo pri pripravi tega lepila.

Tudi različne vrste lesa imajo različne vrednosti **pH**:

Tabela 1: pH vrednosti lesov

Lesna vrsta	PH
Jelka	5,5- 6,1
Javor	5,3
Bukev	5,1- 5,4
Jesen	5,8
Oreh	4,7
Hrast dob	3,9
Macesen	4,2 (jedrovina), 5,4 (beljava)
Smreka	4,0- 5,3
Bor, rdeči	5,1

V procesu utrjevanja lahko lepilo zaradi pH vrednosti povzroči razbarvanost lesa ob lepilnem spoju ali napake v kemičnem delu vezivnega procesa, ki vplivajo na kakovost lepilnega spoja. Da se izognemo takim in podobnim napakam, pred lepljenjem izmerimo pH lepilu, po potrebi tudi lesu ter ukrepamo glede na izmerjene vrednosti.

pH merimo z indikatorskim papirjem, z lakmusovim papirjem ali z elektronskim pH metrom.

Čas uporabnosti lepilne mešanice

Proizvajalec predpiše čas uporabnosti lepilne mešanice in pogoje skladiščenja (temperatura in vlažnost prostora). Neustrezni pogoji skladiščenja lahko skrajšajo čas uporabnosti lepila.

Pri izboru in pripravi lepila bodi pozoren na rok uporabe, ki je označen na originalni embalaži in preveri, v kakšnih pogojih sta bila lepilo ali trdilec skladiščena. Če ne moreš zagotovo preveriti pogojev ali če lepilo ni v originalni embalaži, ga raje ne uporabi, čeprav je tekoč in zgleda v redu.

Čas uporabnosti lepila kontroliramo:

- po zunanjem videzu lepila
- z merjenjem viskoznosti
- z merjenjem strižne trdnosti zlepljene lesne vezi

Delež suhe snovi lepila

Pri nekaterih lepilih moramo meriti delež suhe snovi lepila, ki je izražen v % od mase lepila. Delež suhe snovi v lepilu moramo poznati predvsem pri sintetičnih lepilih, ki jim pri pripravi dodajamo polnila ali razredčila. Delež polnila pri pripravi lepilne mešanice izračunamo vedno na osnovi podatka o deležu suhe snovi v lepilu. Deleža suhe snovi v lepilu ne smemo enačiti z deležem lepljivih snovi. V suhi snovi so lahko poleg lepilnih snovi tudi druge trdne sestavine, ki nimajo lepilnih lastnosti.

Nanos

Nanos lepila je podan z oznako mn in predstavlja maso lepila na ploščinsko enoto lepilne površine.
 $mn = m / S \text{ [g/m}^2\text{]}$

pri čemer je:

mn - nanos lepila [g/m²]

m – masa lepila [g]

S – ploščina lepilne površine [m²]



Slika 9: Orodje za nanašanje lepila

Z različnimi nanašalnimi orodji dosežemo različne nanose lepila. Proizvajalec lepila v navodilih navede priporočljiv nanos lepila. Ne glede na uporabljena nanašalna orodja ali stroje so osnovna pravila za gospodarno in kakovostno nanašanje lepil naslednja:

- Nanos opravimo vedno po navodilih proizvajalca.
- Lepilna disperzija naj prekrije vso lepilno površino
- Nanos naj bo po vsej površini enakomerno debel.

Nanešeni sloj lepila naj bo tanek; predebeli nanosi niso gospodarni, saj odvečno lepilo med stiskanjem lepljencev izrinemo iz lepilnega spoja, zmanjšuje pa tudi trdnost lepilnih spojev. Odvečno lepilo, ki steče iz lepilnega spoja, moramo sproti čistiti z opreme za lepljenje, da zasušeni ostanki utrjenega lepila ne poškodujejo drugih obdelovancev.

Količina nanosa lepila

Največji je pri lepljenju čepnih, rogljnih in podobnih vezi. Znaša do 350 g/m². Za širinsko in debelinsko lepljenje znaša nanos okrog 200 g/m². Pri furniranju so nanosi manjši. Odvisno od podloge in načina nanašanja znašajo od 70 do 150 g/m². Preveliki nanosi lahko povzročijo preboj lepila skozi furnir, kar je napaka, ki jo zelo težko odstranimo. Pri lepljenju moznikov lahko računamo s povprečno količino porabljenega lepila 1 g/moznik. Stran nanosa lepila Lepilo lahko nanašamo samo na eno stran lepilnega spoja ali pa na obe strani. Razširjen je prvi način, drugega uporabimo le pri lepljenjih, kjer je vmesni čas krajši in v primeru, da na eno stran lepilnega spoja nanesemo lepilo, na drugo pa utrjevalec. Število nanosov lepila Navadno lepilo nanašamo samo enkrat, če pa imamo opravka z zelo poroznimi materiali – tekstil, usnje ali porozni čelni les, lahko po prvem nanosu malo počakamo, da se zaprejo pore in nato nanesemo še enkrat

Stiskanje lepljencev

Lepljence stiskamo zato, da zagotovimo dober stik lepilnih površin in prodiranje lepila v les. Za stiskanje uporabljamo različno orodje ali stroje, ki ustvarjajo ustrezen tlak stiskanja na mehanski, pnevmatski ali hidravlični princip. Pri hladnem lepljenju za stiskanje uporabljamo:

- svore (za lepljenje manjših naročil)
- okvirne stiskalnice (za lepljenje okvirnih konstrukcij)
- korpusne stiskalnice (za lepljenje korpusov npr. pri omarah)
- stiskalnice s pomičnimi svorami (za širinsko lepljenje lesa in montažno lepljenje)
- stiskalnice s pnevmatičnimi bati
- tlačne in vakuumske membranske stiskalnice (lepljenje ukrivljenih in profiliranih površin)

Pri toplem in vročem lepljenju za stiskanje uporabljamo:

- eno in več etažne ogrevane hidravlične stiskalnice (ploskovno furniranje in oplemenitenje plošč)
- pretočne hidravlične stiskalnice (proizvodnja vezanih plošč, za ploskovno furniranje ...)
- visokotlačne pretočne stiskalnice (proizvodnja vlaknenih in ivernih plošč)- vrtljive taktne stiskalnice - visokofrekvenčne stiskalnice

Tlak stiskanja

Proizvajalec lepila za posamezno vrsto lepljenja predpiše tlak stiskanja. Tlak stiskanja je kvocient med stiskalno silo, ki deluje pravokotno na lepilno ploskev in ploščino lepilnega spoja. Enota za tlak je bar. Poleg te enote uporabljamo še manjšo enoto pascal. 1 pascal je tlak, ki ga povzroči sila 1 N, ko pravokotno deluje na ploskem 1 m². $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$. Pri ploskovnem lepljenju v hidravlični stiskalnici nastavimo tlak s tiskanja posredno z nastavitvijo tlaka hidravličnega olja, ki povzroči potrebno stiskalno silo glede na ploščo stiskalnice. Tlaka hidravličnega olja ne računamo, običajno ga določimo s pomočjo diagrama, ki je pritrjen na ohišje stiskalnice.



Slika 10: Stiskanje lepila

Čas stiskanja

Čas stiskanja je seštevek osnovnega in dodatnega časa, ko lepilo v lepilnem spoju posredno segrevamo. Osnovni čas za določeno temperaturo stiskanja predpiše proizvajalec lepila. Osnovni čas stiskanja je tisti del časa stiskanja, ki je potreben za utrjevanje lepila v lepilnem spoju. Dodatni čas je del časa stiskanja, v katerem toplota prehaja od segrete stiskalne plošče skozi furnir do lepila v lepilnem spoju. Hitrost prehajanja je 1 min/mm debeline lesa. Čas stiskanja nastavimo na hidravlični stiskalnici.

Postopek po stiskanju

Med stiskanjem se lepilo utrjuje in sidra v oba lepljenca. Po končanem stiskanju proces utrjevanja navadno še ni zaključen, zato obdelovance določen čas pustimo:

- da se po toplem ali vročem lepljenju temperatura obdelovancev izenači z okolico,
- da se izenači vlaga po prečnem prerezu lepljencev in popustijo napetosti, ki nastanejo v okolici lepilnega spoja zaradi izhajanja topila iz lepilnega spoja v okolico,
- da se lepilo dokončno utrdi. V tem času lepljence zložimo na ravno podlago v prostor s primerno klimo in jih po potrebi tudi obtežimo.

Napake pri lepljenju

Pri lepljenju prihaja tudi do napak zaradi različnih vzrokov:

- napak lepila
- pretečen rok uporabe
- nepravilni pogoji transporta in skladiščenja ...
- napak lepljenja
- slaba priprava lepilne površine
- nepravilna izbira lepila
- nepravilna priprava lepila
- nepravilen nanos
- neupoštevanje odprtega in zaprtega časa
- neustrezen tlak stiskanja
- prekratek čas stiskanja
- nepravilno ravnanje z obdelovanci po stiskanju

3. Priprava preizkušancev

Najprej smo si pripravili vsake lesne vrste po štiri preizkušence dimenzije 5 x 2 x 100 cm, katere smo zlepili v nosilce dimenzije 5x8x100cm. Lesene lamele bora, hrasta, smreke, jesena in oreha smo predhodno posušili na sobni temperaturi, vlažnost prostora je bila 45%. Nakar smo lamele namazali z belim lepilo – mekol. Nato smo položili lamele eno na drugo in jih narahlo stisnili skupaj, nato smo jih poravnali in speli skupaj s tesarskimi sponami. Nato smo pustili, da se je lepilo lepo posušilo.



Slika 14: Borov nosilec



Slika 16: Hrastov nosilec



Slika 12: Orehov nosilec



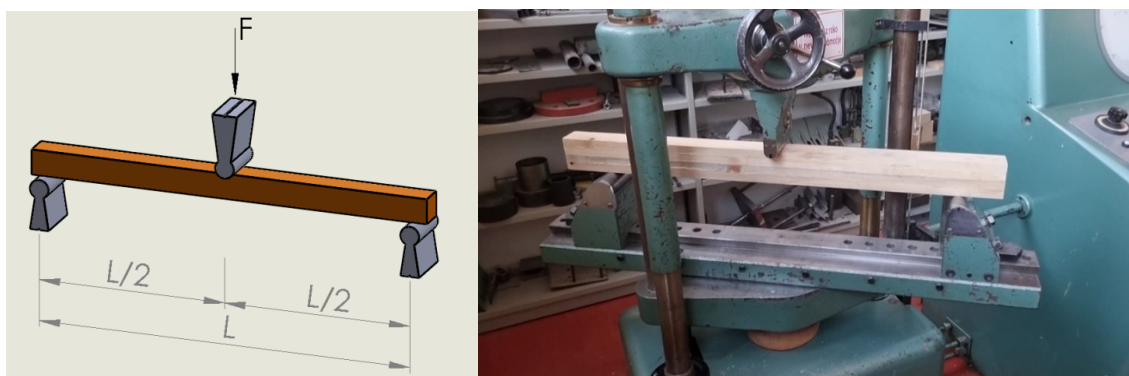
Slika 11: Jesenov nosilec



Slika 13: Lepilo mekol v tubi

4. LEPLJENI NOSILCI - Preizkus

V nadaljevanju bomo predstavili lesove, ki smo jih uporabili za primerjavo v raziskovalni nalogi. Medsebojno smo primerjali dva iglavca to sta bor in smreko, ter tri listavce jesen, hrast in oreh. Upogibni preizkus smo opravili tri točkovno na vseh nosilcih, na stroju na UM Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo.



Slika 17: Upogibni preizkus s tri točkovno obremenitvijo

Statični upogib je v osnovi destruktivna (porušna) metoda, ki je najbolj uporabljena metoda za določanje upogibnih trdnostnih lastnosti lesa. Priznana sta dva načina statičnega preizkušanja, in sicer upogib s tri točkovno obremenitvijo in upogib s štiri točkovno obremenitvijo (slika 4). Pri statičnem upogibu vzorce testiramo na valjčnih podporah z obremenjevanjem na sredini podpor (tritočkovni upogib) ali na dveh simetričnih točkah (štiritočkovni upogib). Tri-točkovni upogibni test je manj natančen zaradi večjega pojava vtiskanja merilnih valjev v površino lesa in strižnih napetosti na mestu merjenja deformacije (povesa). Statični upogib se lahko izvaja tudi na nedestruktiven način, kjer preizkušane obremenimo le v področju elastičnosti oz. do meje proporcionalnosti napetosti in deformacije. V tem primeru ne dobimo podatka o trdnosti (porušni napetosti) materiala ampak le izračunamo modul elastičnosti. Z naraščanjem gostote dokaj premo sorazmerno naraščajo tudi mehanske lastnosti lesa, kot so trdnost, trdota, udarna žilavost in modul elastičnosti. Tako lahko po gostoti dokaj dobro sklepamo kakšne so mehanske lastnosti lesa.

4.1 Značilnosti lesa bora

Za tehnične namene poznamo v glavnem dve vrsti bora. To sta Rdeči ali navadni bor (*Pinus sylvestris*) in Črni bor (*Pinus nigra*). Kot vrsta, bor dobro uspeva v peščenih suhih tleh. Zraste do višine med 20 in 30 m. V Sloveniji ga redko srečamo v večjih čistih sestojih, uspeva pa v manjših sestojih ali pa posamično. Bori uspevajo vse od morske gladine pa do gozdne meje

visoko v gorah. Črni bor je redkejši od rdečega. Zaščiteno rastišče črnega bora so Govci, strmo skalnato pobočje na S Trnovskega gozda, ki se dviga nad dolino Trebuše.

Borovina vsebuje črnjavo in beljavo. To je les z rdečkastorjavo črnjavo in svetlorumeno beljavo in zaradi obilice smole zelo prepoznavnim vonjem. Gostota lesa je 480 kg/m³. Zlahka se suši in ni podvržen krivljenju. Les je mehak, srednje trden in se lahko obdeluje. Dobro se impregnira (zaščiti). Pri nepravilnem skladiščenju v času sušenja borovega lesa, se v njem rade pojavijo plave lise. Povzroča jih posebna gljiva. Tak les prikazuje spodnja slika.

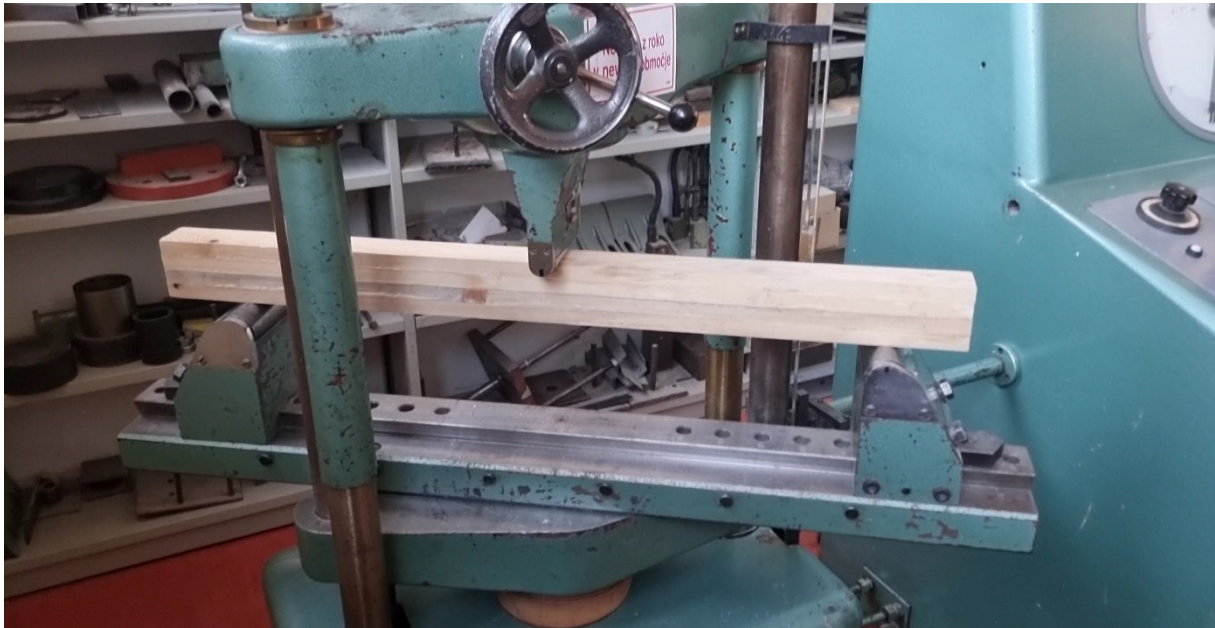
Uporaba: gradbeni les, okna, vrata, pohištvo, stropne obloge, furnir, embalaža, iverne plošče. Če je borovina dobro impregnirana, jo lahko uporabljamo za razne drogove pilote, gradnje v vodi, rudniški les,...



Slika 18: Struktura lesa smreke

Preizkušanje bora

Bor tudi kot smreka so bili rezultati podobni vgreznitev je bila velika ter upogibnost oba lesa sta iglavca in sta edina od preizkušenih nosilcev, ki sta začela propadati lepo počasi dokler ni prišlo do popolne porušitve.



Slika 20: Bor začetek



Slika 19: Bor porušitev

4.2 Značilnosti lesa smreke

Smreka (*Picea abies*) je v slovenskem prostoru verjetno najpogostejše srečan iglavec. Raste v mešanih gozdovih, lahko pa oblikuje tudi čiste sestoje (to so gozdovi v katerih rastejo samo smreke). Tak sestoj so na primer gozdovi na Pokljuki. Raje kot nižine, ta vrsta ljubi višje lege in bolj namočena področja. Ravno tako kot na primer pšenica, je tudi smreka za nas zelo pomembna rastlina, saj iz njenega lesa izdelujemo obilico predmetov, ki so v današnjem življenju nepogrešljivi.

Smrekov les je rdečkastobele barve. Beljava se po barvi ne loči od črnjave. Les lahko vsebuje smolne žepe (luknja diskaste oblike napolnjena z smolo). Ti smolni žepi zelo motijo pri nadaljnji obdelavi lesa. Njena gostota je 450 kg/m^3 . Na splošno je smrekovina mehka, srednje trdna in žilava. Sušenje ne dela večjih težav in po sušenju je les dimenzijsko stabilen. To pomeni, da se le malo krči in nabreka, ko je enkrat posušen. Les ni trajen in se težko inpregnira (zaščiti), za obdelavo pa je smrekovina lahka.

Uporaba smrekovega lesa je vsestranska: gradbeni les (to je les, ki se ga uporablja na gradbiščih in za razne gradnje, kot so ostrešja in podobne konstrukcije), stavbno pohištvo (okna in vrata), opaži, pohištvo, stenske in stropne obloge, včasih pa tudi talne, furnir, vezan les, papir, pokrovi godal in klavirskih dnov.

Smrekov les je iskan tudi v proizvodnji ivernih plošč, vlaknenih plošč, panelk, zidarskih plošč in proizvodnji papirja.



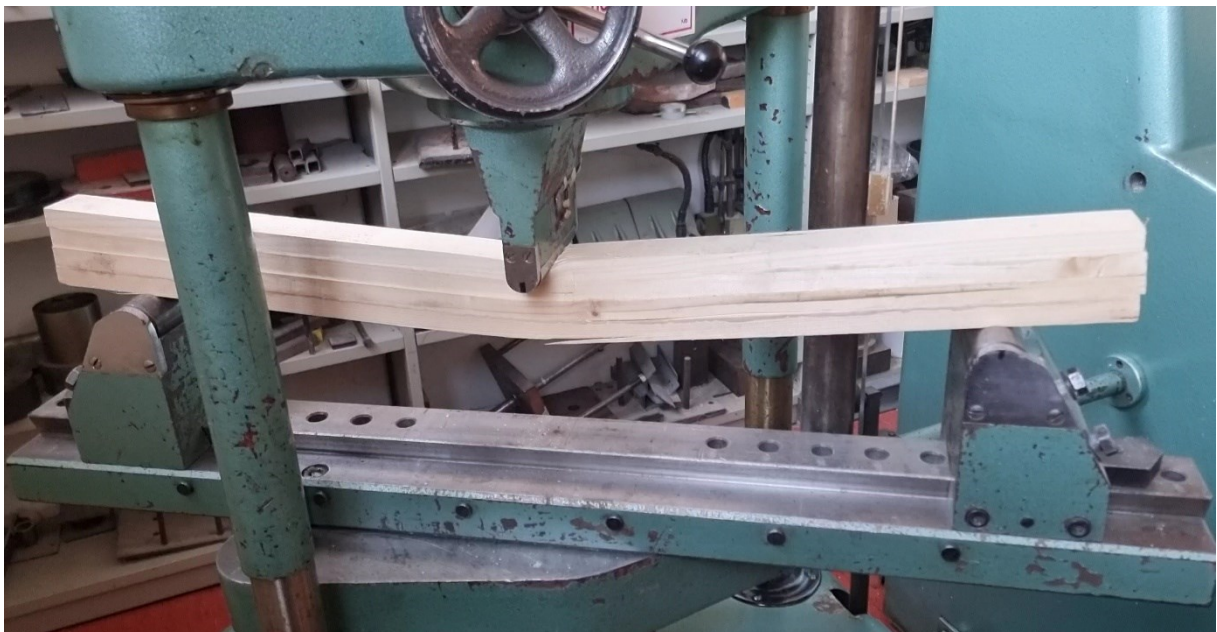
Slika 21: Struktura lesa smreke

Preizkušanje smreke

Smreka je najmehkejša od vseh preizkušenih nosilcev v naši nalogi, zato so naša pričakovanja bila dokaj natančna, da bo vgreznitev pri smreki velika ter tudi sama upogibnost do popolne porušitve.



Slika 22: Smreka začetek



Slika 23: Smreka porušitev

4.3 Značilnosti lesa jesena

Jesen (*Fraxinus excelsior*) raste kot drevo bolj posamično. Čiste sestoje tvori redko. Drevo lahko zraste do višine 40m. V gostih sestojih lahko tvori gladko in lepo oblikovano deblo. Rad raste ob lokah, rekah, potokih na sveži globoki zemlji na kateri se ne zadržuje voda.

Jesenovina je belkastorumena, brez črnjave. Pri debelejših drevesih se rado pojavi tako imenovano "olivno srce", to je olivno obarvano sredica debla (spodnja slika lesa). Gostota lesa je 650 kg/m³. To je eden naših najbolj trdnih in žilavih lesov, še posebno jesenovina s širokimi branikami. Suši se hitro in lahko. Les ni posebno odporen in trajen.

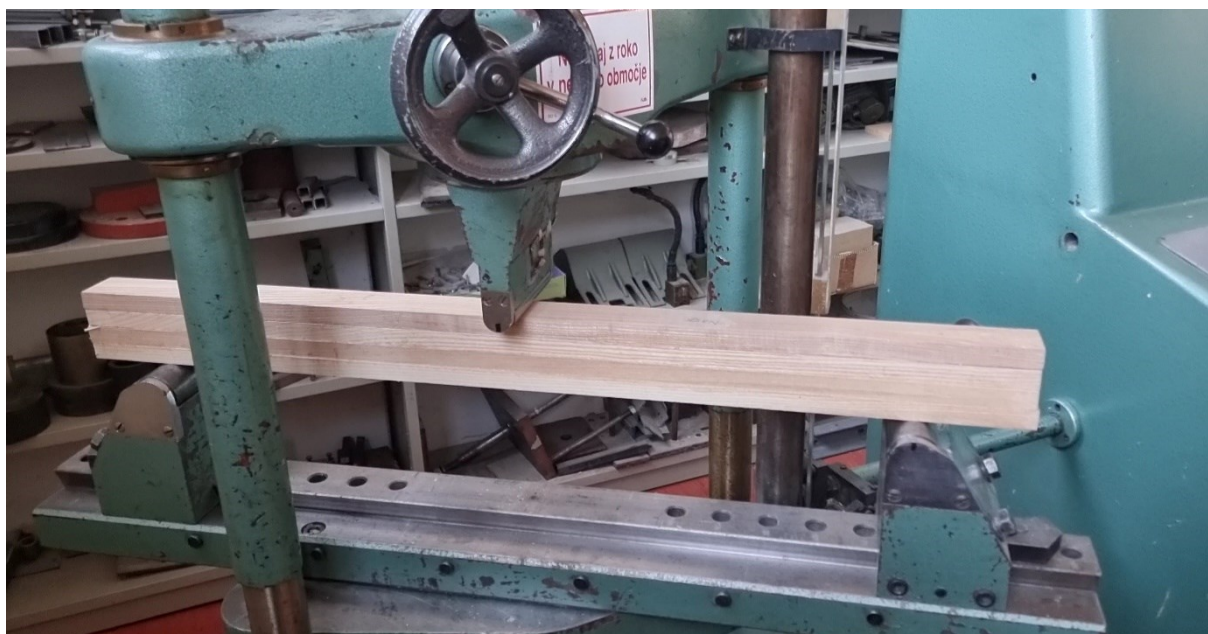
Uporaba: (narekuje jo njegova trdnost in žilavost) športno orodje (smuči, vesla, sani, gimnastične naprave), pohištvo, talne obloge, furnir, krivljen les.



Slika 24: Struktura lesa jesena in olivno obarvana sredica

Preizkušanje jesena

Jesen je zdržal kar veliko, ugreznitev je bila kar precej manjša kot pri boru in smreki upogib je med vsemi bil najmanjši, do porušitve je prišlo brez kakršnega koli pokanja lesa.



Slika 25: Jesen začetek



Slika 26: Jesen porušitev

4.4 Značilnosti lesa hrasta

Hrastov je več vrst v glvnem pa ločimo Dob (*Qercus robur*) in Graden (*Qercus pertaea*). Slika prikazuje hrast dob. Hrasta sta mogočni drevesi, ki lahko zrasteta tudi do 35 m v višino in imata obseg debla 3m in več. Lahko rasteta posamično ali pa tvorita čiste sestoje. Tudi hrast je zaradi svoje razširjenosti in lastnosti pomembna drevesna vrsta.

Les hrasta vsebuje beljavo in črnjavo. Črnjava je rumenkasto rjava. Beljava pa je bledorumena. Gostota lesa je 670 kg/m³. Črnjava je zelo trajna, beljava pa hitro propade. Posebnost hrasta so velika "zrcalca"(strženovi trakovi), ki so lepo vidni v radialnem rezu (spodnja slika lesa). Tako rezane deske hrasta so zaradi svoje slikovitosti, še posebno cenjene pri izdelavi pohištva. Sušenje hrastovine je težavno.

Uporaba: furnir, pohištvo, rezbarije, talne obloge, stopnišča, železniški pragovi, piloti, sodi, za zunanje konstrukcije...



Slika 27: Struktura lesa hrasta

Preizkušanje hrasta

Hrast je prenesel največ upora, upogib je bil majhen in do porušitve je prišlo brez pokanje lesa.



Slika 28: Hrast začetek



Slika 29: Hrast porušitev

4.5 Značilnosti lesa oreha

Oreh (*Juglans regia*) je drevo, ki raste posamično. Srečamo ga tako na domačem dvorišču kot v gozdu. Ne zraste posebno visoko in največkrat tudi ne oblikuje posebno lepih debel za nadaljnjo predelavo. Hlodovina tudi dostikrat vsebuje številne napake (razpoke, grče, gnilobo). Kljub temu je zaradi atraktivnega izgleda lesa, orehovina iskan les.

Orehovina vsebuje tako beljavo kot črnjavo. Ta je lahko barvno zelo spremenljiva, od svetlorjave do črnorjave, često s temnimi progami. Gostota lesa je 640kg/m^3 . Les je srednje trden in trd, žilav in upogljiv, črnjava pa je trajna. Les se dobro obdeluje. Orehovina sodi med najdragocenejše lesove. Nekoč, pa tudi danes je še vedno zelo iskana "orehova korenina". To je del debla, ki je tik pod površjem zemlje in iz katerega rastejo najdebelejše korenine. Iz tega dela drevesa, se izrezuje enega najdragocenejših furnirjev, ki je namenjen za najdražje pohištvo ali lesene dele notranjosti dragih avtomobilov..

Uporaba: za najdragocenejše pohištvo, stopnišča, furnir, kopita lovskih pušk, rezbarstvo.



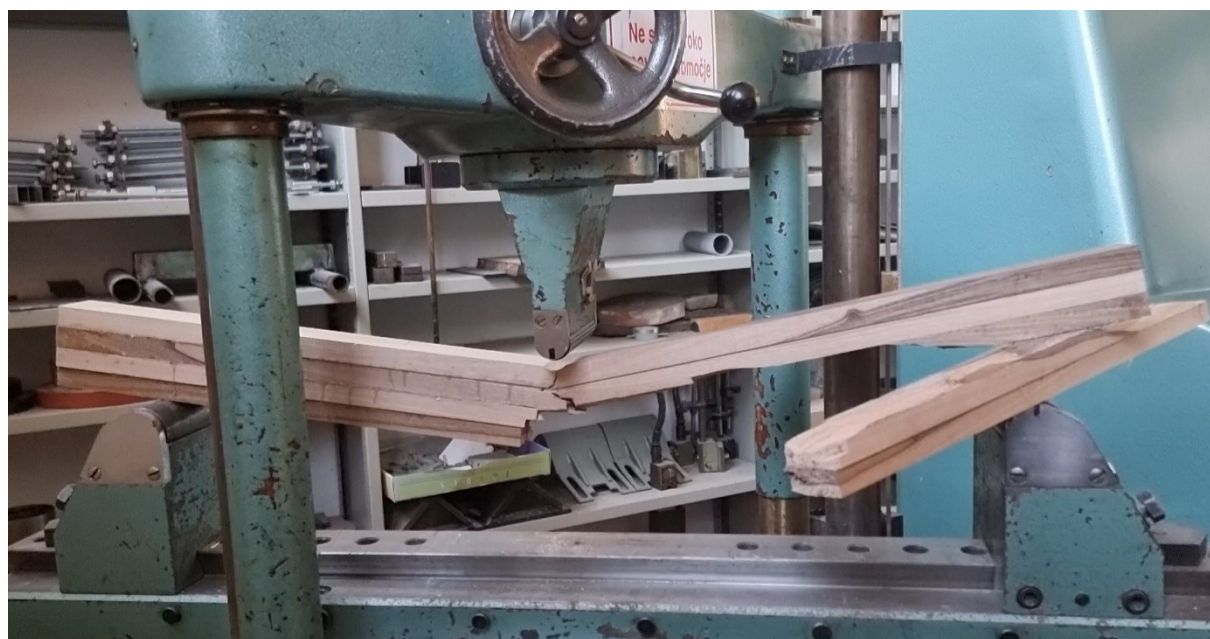
Slika 30: Struktura lesa oreha

Preizkušanje orehovega lesa

Oreh glede na trdoto in gostoto ter tudi ceno ni zdržal do pričakovanj upogib ni bil tako majhen, vgreznitev je bila najmanjša vendar je prišlo do najmočnejše porušitve, bi lahko kar rekli da ga je razneslo.



Slika 31: Oreh začetek



Slika 32: Oreh porušitev

5. UGOTOVITVE

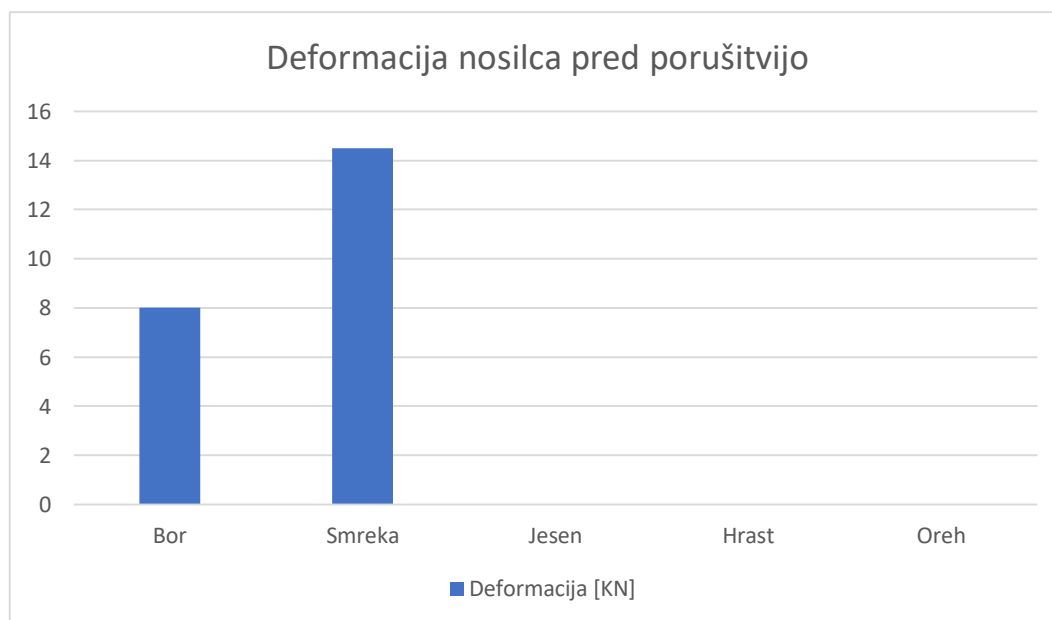
Mehanske lastnosti konstrukcijskih izdelkov so najbolj pomembna lastnost, ki vpliva na uporabno vrednost teh izdelkov. Na same mehanske lastnosti masivnega lesa ne moremo bistveno vplivati in so odvisne predvsem od gostote lesa, anatomske zgradbe, kemijske zgradbe, usmerjenosti lesnih vlaken, prisotnosti 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. Pri lepljenju različnih sestavov in ne glede na temperaturo smo na videz dobili dobre in kvalitetne spoje. Zato sklepamo, da so lesne vrste in vrsta lepila primerni za lepljenje.

4.1 Deformacija nosilcev pred poružitvijo

Tabela 2: Deformacije pred poružitvijo

Vrsta lesa	Bor	Smreka	Jesen	Hrast	Oreh
Deformacija pred poružitvijo	8,0 KN	14,5 KN	/	/	/

Graf 1: Deformacija nosilca pred poružitvijo



Deformacija pred poružitvijo nastopi samo pri iglavcih (bor, smreka).

Pri nosilcih iz tršega lesa deformacije pred poružitvijo ni.

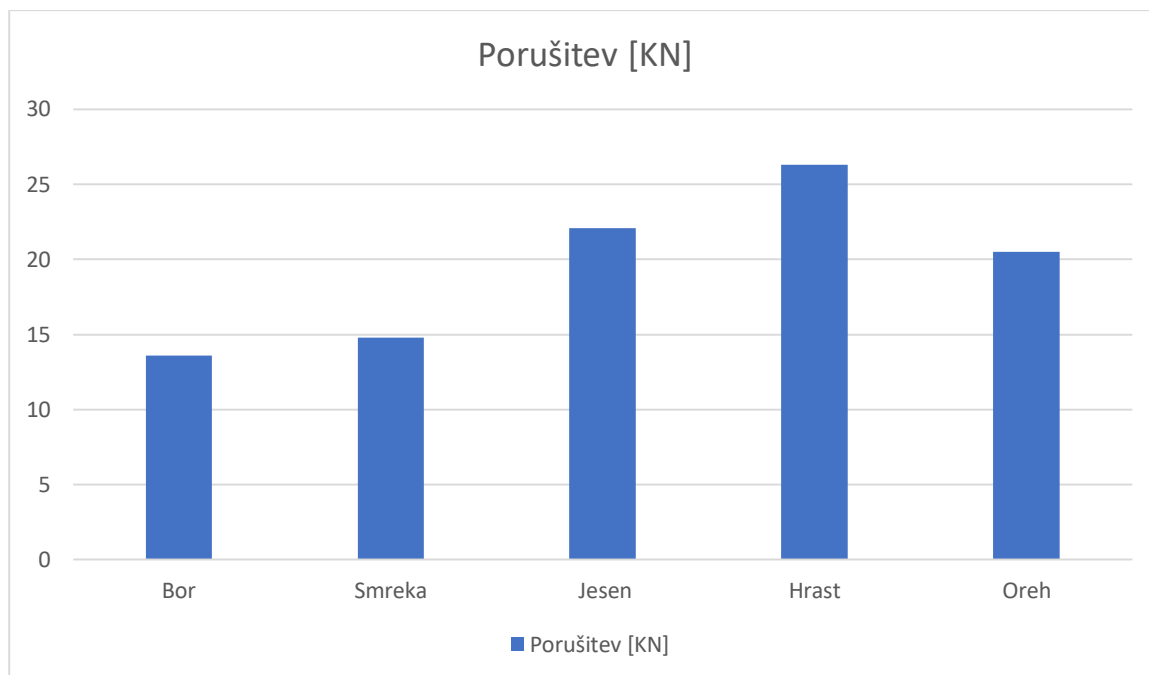
Nosilec iz bora po prvi deformaciji zdrži še kaj nekaj sile. Nosilec iz smreke se takoj po prvi deformaciji tudi poruši.

4.2 Porušitev nosilcev

Tabela 3: Vrednosti porušitve lepljencev

Vrsta lesa	Bor	Smreka	Jesen	Hrast	Oreh
Porušitev	13,6 kN	14,8 kN	22,1 kN	26,3 kN	20,5 kN

Graf 2: Graf porušitve lepljencev



Nosilci, ki imajo večjo gostoto zdržijo večjo silo. Nosilci iz iglavcev zdržijo manjšo silo kot nosilci iz listavcev.

Nosilca iz smreke in bora sta mehka lesova in kljub velikem upogibu nista vzdržna večje obremenitve.

Med listavci je najbolje sile prenašal nosilec iz hrasta, ki je prenesel kar 26,3 kN, najmanj pa je prenesel bor – 13,6 kN.

Nosilec iz oreha se je kljub svoji visoki ceni porušil dokaj hitro v primerjavi z hrastom.

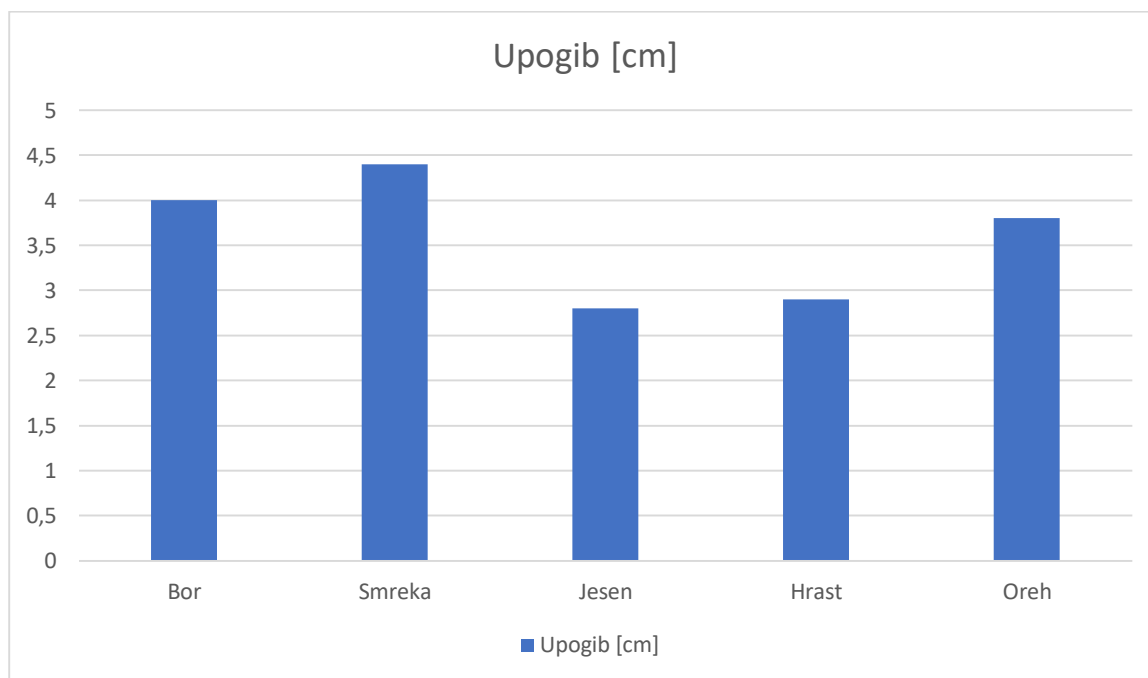
Torej izmerjeno je bilo, da največje tritočkovne obremenitve prenaša les hrasta, najmanjše pa iglavec – bor 13,6 kN.

4.3 Upogib nosilcev

Tabela 4: Vrednosti upogiba lepljencev

Vrsta lesa	Bor	Smreka	Jesen	Hrast	Oreh
Upogib	4 cm	4,4 cm	2,8 cm	2,9 cm	3,8 cm

Graf 3: Maksimalni upogib lepljencev pri obremenitvi



Nosilci iz iglavcev imajo večji upogib, saj so mehkejši. Nosilci iz listavcev pa imajo manjši upogib. Torej opazili smo, da mehkejši les ne prenese večje obremenitve, dopušča pa največje upogibe. Kar pa smo tudi opazili, da se je zaradi mehkega lesa pri točkovni sili, v lesu poznal največja zajedenost v nosilec pri nosilcu bora.

Vidna je povezava med vzdržljivostjo nosilca in njegovim upogibom (nosilci, ki zdržijo večjo silo se manj upognejo). Pri večini je prišlo, do porušitve nosilca zaradi plastifikacije lesa. Samo v jesnu je prišlo, do porušitve na spoju dveh plasti istega lesa.

Hrast je najboljši in najbolj praktičen les v gradbeništvu. Kljub visoki ceni in estetskemu izgledu oreh ni najbolj praktičen les za uporabo v gradbeništvu. Listavci so gostejši in bolj vzdržljivi od iglavcev, čeprav dopuščajo večje upogibe.

4.4 Računski preizkus

Ker smo hoteli še dobiti računski del, da vidimo kakšna je primerjava. Smo uporabili naslednje enačbe iz mehanike. Tako smo uporabili formulo za dopustni moment in formulo za upogibni moment prosto ležečega nosilca.

$$W = \frac{b \times h^2}{6}$$

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

$$M = \frac{F \times l}{4}$$

W – prerez nosilca

b – širina nosilca

h – višina nosilca

σ – normalne napetosti

M – upogibni moment

F – sila

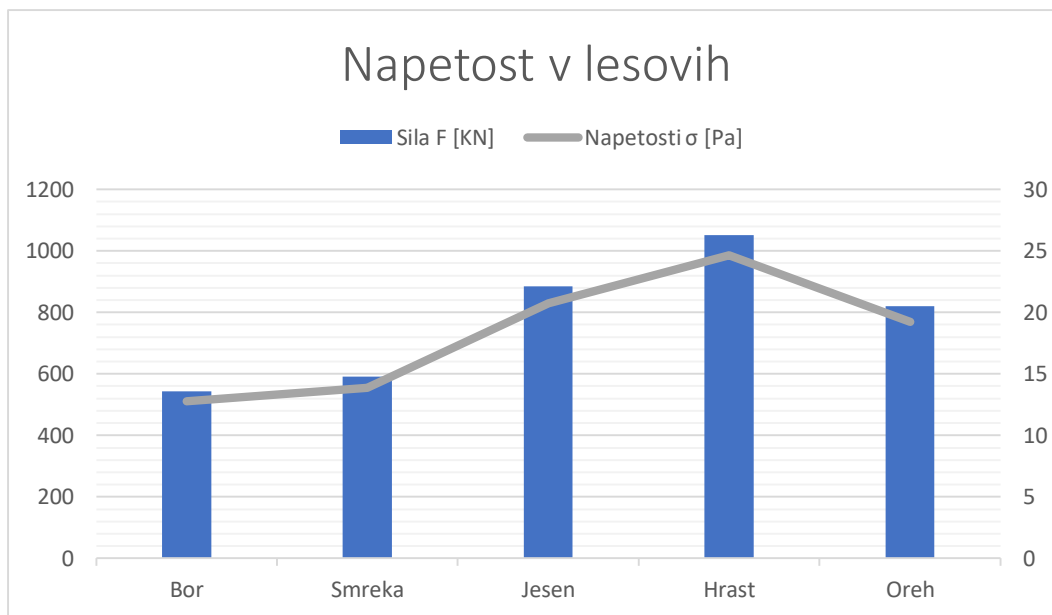
l – dolžina nosilca

Tako smo dobili naslednje rezultate.

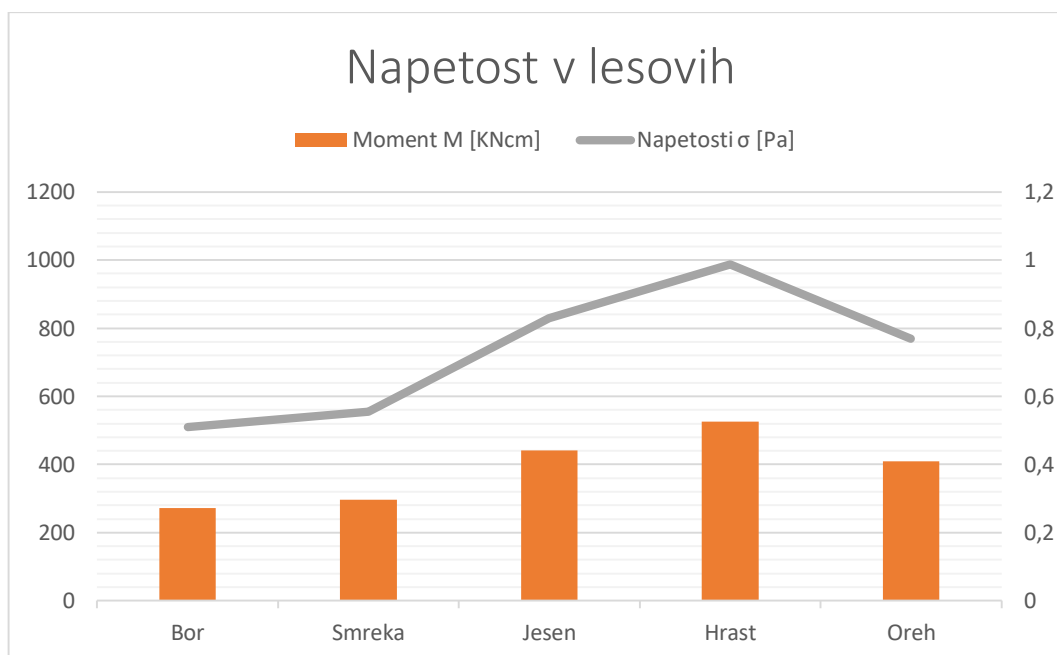
Tabela 5: Izračunane vrednosti nosilcev

	Vrsta lesa				
	Bor	Smreka	Jesen	Hrast	Oreh
Širina nosilca b [cm]	5	5	5	5	5
Višina nosilca h [cm]	8	8	8	8	8
Prerez nosilca W [cm³]	53.33	53.33	53.33	53.33	53.33
Dolžina nosilca l [cm]	80	80	80	80	80
Sila F [kN]	13.6	14.8	22.1	26.3	20.5
Moment M [kNcm]	272	296	442	526	410
Napetosti σ [Pa]	510	555	828.75	986.25	768.75

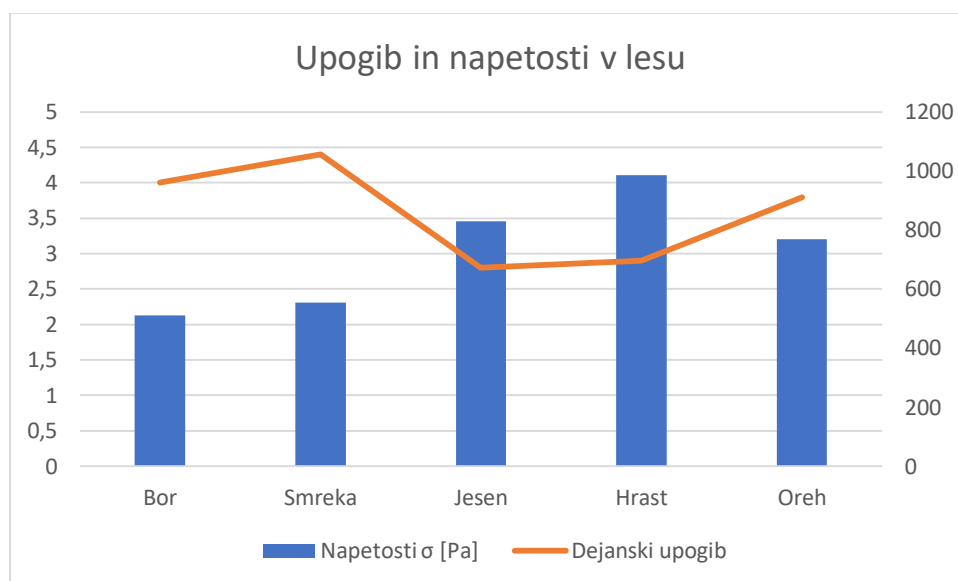
Graf 4: Napetosti v lesovih



Graf 5: Napetosti v lesovih – maksimalni upogibni moment



Graf 6: Povezava napetosti in dejanski upogib



Pri prostoležečem nosilcu nastopijo na zgornjem robu največje tlačne obremenitve, na spodnjem robu pa največje natezne obremenitve. Napetost in s tem tudi specifični raztezek (Hookov zakon $\sigma = \varepsilon \cdot E$) se proti sredini manjša. Na nevtralni osi sta napetost in specifični raztezek enaka nič in tu spremenita predznak. Nevtralna os poteka skozi težišče prereza nosilca. Na zgornjem robu konzolnega nosilca se pojavijo največje natezne obremenitve, na spodnjem robu pa največja tlačna obremenitev. Največji specifični raztezek je na zgornjem robu, največji tlačni specifični raztezek je na spodnjem robu.

Faktor varnosti pri lesu dejansko znaša cca 4. Tako velik je, ker les ni homogen material in ima lahko napake (grče, letnice,...). Pri normalni uporabi (ostrešje, tramovi, plohi) je potrebno paziti na deformacije - mejno stanje uporabnosti in jih prej prekoračimo kot mejno stanje nosilnosti.

S pomočjo praktičnega in izračunanega primera smo opazovali mejo med merodajnostjo mejnega stanja nosilnosti in mejnega stanja uporabnosti. Ugotovil sem, da je merodajnost pogoja nosilnosti pri dani omejitvi povesa, odvisna od razmerja višine prereza (h), razpona (L), obtežbe in mehanskih lastnosti nosilca.

Kot lahko iz grafa vidimo, smo izračunali maksimalni upogibni moment pri hrastu, kar so tudi naši dedki vedeli, da so hrastovi nosilci najboljši in prenašajo največje razpone. Dokazano je bilo, da se mehanske lastnosti preizkušancev z večanjem gostote povečujejo.

6. ZAKLJUČEK

Les je eden najstarejših gradbenih materialov. Vendar vsak les nima primernih konstrukcijskih in mehanske lastnosti (upogibna, tlačna trdnost, strižna in natezna trdnost ...) Zato veliko vrst lesa izkazuje v gradbeništvu določene pomanjkljivosti. Rešitev so moderni tehnološki postopki, s katerimi je mogoče les predelati tako, da bo v gradbeništvu uporaben.

Eden izmed takšnih postopkov je tudi lepljenje lesa, s čimer lesu prilagodimo strukturo in mu izboljšamo mehanske lastnosti. Najbolj znani in v gradbeništvu uporabni so lepljenci oziroma leseni lepljeni nosilci, ki dosegajo precej večje razpone in nastopajo celo kot konstrukcijski elementi hal in športnih dvoran.

V tej nalogi smo ugotovili precej novih dejstev in se veliko naučili. Ugotovili smo tudi, da nekatere hipoteze, ki smo jih zastavili, ne držijo.

V začetku raziskovalne naloge smo si zastavili 3 hipoteze:

1. Lepljeni nosilec iz oreha bo zdržal največ sile,
2. Pri tlačni obremenitvi pride, do odstopa lesa zaradi lepila,
3. Cena vpliva na izbor lesa v nosilcih.

Kako je potekalo, 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 hladnem postopku z Mekol lepilo.

Hipotezo 1 lahko zavrnilo in potrdimo. Na podlagi rezultatov je oreh zdržal tretji največjo silo in to drastično manjšo od pričakovanj. Menimo, da je pri orehu prišlo do porušitve zaradi tako visoke trdote lesa saj nima nič elastičnih sposobnosti. Tukaj je vsekakor bil zmagovalec hrast, ki je imel največjo nosilnost 26,3 kN. Glede druge hipoteze, ki smo si jo postavili smo pričakovali odstop lepila vendar ni bilo vedno tako v veliki večini je prišlo do razpok v samem lesu. In prišli smo do ugotovitev, da cena materiala ni nikoli dokazilo kako dobro se bo material odnesel tako kot oreh v našem primeru je najdražji in najtrši ampak tudi med slabšimi rezultati. 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 hladnem lepljenju.

Osnovni pogoj za uporabo lepljenega lesa v konstrukcijah so ustrezne mehanske lastnosti, kot so upogibna, tlačna, natezna, strižna trdnost, ... Ker pa nimajo vsi lesovi ustreznih lastnosti oziroma izkazujejo nekatere pomankljivosti z vidika uporabe, poskušamo s sodobnimi tehnološkimi postopki tak les ustrezno predelati ali modificirati v proizvode oziroma lesne kompozite s prikrojenimi lastnostmi za predvideni namen uporabe. Lesu lahko izboljšamo mehanske lastnosti tako, da zmanjšamo število nezaželenih napak ali pa te napake povsem izločimo, ato pa krajše kose zlepimo v daljše. Hkrati lahko z uporabo osnovnih inženirskih principov prilagodimo strukturo, presek in obliko lepljenega lesa predvideni nosilni konstrukciji. Trdnostne lastnosti lepljenega lesa lahko v osnovi modificiramo s spreminjanjem gostote lesa, količine in vrste lepila ter z usmerjanjem njegovih osnovnih gradnikov.

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. VIRI IN LITERATURA

- https://www.mojmojster.net/clanek/250/Leseni_lepljeni_nosilci Prevezeto 15. 2. 2023
- <https://hrovat.net/blog/smolike-izpadanje-grc-pokanje-in-zvijanje-napake-v-lesu-ki-jih-morate-poznati> Prevezeto 15. 2. 2023
- <https://mules.si/les-kot-gradben-material/> Prevezeto 15. 2. 2023
- https://www.mojmojster.net/clanek/187/Prednosti_in_slabosti_lesa_kot_gradiva Prevezeto 15. 2. 2023
- <https://www.obenau.si/bsh-lepljeni-nosilci> Prevezeto 15. 2. 2023
- <http://tesarstvo-rutnik.si/lepljeni-nosilci/> Prevezeto 15. 2. 2023
- http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/KMLK/Drago/LK/2016_2017/Lesene_konstrukcije_09_vaja_2017.pdf Prevezeto 15. 2. 2023
- http://lab.fs.uni-lj.si/lasok/index.html/gradivo_german_OTV/VvS_12_Trdnost_C_Upogib.pdf Prevezeto 15. 2. 2023
- <https://deloindom.delo.si/gradnja-in-obnova/novogradnje/krizno-lepljene-plosce-prinesle-preporod-lesene-gradnje> Prevezeto 15. 2. 2023
- http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/KMLK/Drago/PNKSI/PNKSI_2017_2018/Lepljen%20les%20-%20teorija_DS.pdf Prevezeto 15. 2. 2023
- http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/vs_scernjavic_danilo.pdf Prevezeto 15. 2. 2023
- Kotar M., Brus R. 1999. Naše drevesne vrste. Ljubljana Slovenska matica v Ljubljani: 320 str.
- Lukan M. 1999. Eksperimentalne preiskave obnašanja lameliranih lepljenih lesenih nosilcev. Diplomsko naloga. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 12
- Medved S., Pikmaier S. 2000. Praktikum za preizkušanje lesnih tvoriv iz dezintegriranega lesa. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 71 str.
- Pohleven F., Resnik J., Saje F. 1991 Lesene inženirske konstrukcije. Nova proizvodnja, 42: 5, 230-251

- Resnik J. 1989. Lepila in lepljenje lesa. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 103 str.
- Resnik J. 1987. LVL - nova generacija lepljenega lesa za gradbeništvo. Les, 39: 1/2, 25-32
- Resnik J. 1990. Raziskava pogojev uporabe sestavljenih izdelkov iz lesa v gradbeništvu. Les, 42: 9/10, 269-274.