Kvaliteta lijepljenog lameliranog drva

Francetić, Željka

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry / Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:510366

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology







ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK

SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ

DRVNOTEHNOLOŠKI PROCESI

ŽELJKA FRANCETIĆ

KVALITETA LIJEPLJENOG LAMELIRANOG DRVA

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2017.

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK

KVALITETA LIJEPLJENOG LAMELIRANOG DRVA

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Drvnotehnološki procesi

Predmet: Tehnologija drvnih proizvoda za graditeljstvo

Ispitno povjerenstvo: 1. Doc. dr. sc. Vjekoslav Živković

2. Prof. dr. sc. Hrvoje Turkulin

3. Doc. dr. sc. Goran Miholja

Student: Željka Francetić

JMBAG: 0068208056

Broj indeksa: 499/13

Datum odobrenja teme: 29.03.2017.

Datum predaje rada: 10.9.2017.

Datum obrane rada: 22.9.2017.

Zagreb, rujan 2017.

Dokumentacijska kartica

Naslov	Kvaliteta lijepljenog lameliranog drva
Title	Quality of glued laminated timber
Autor	Željka Francetić
Adresa autora	Milanovac, Sv. Križa 28, 33000 Virovitica
Mjesto izrade	Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Doc. dr. sc. Vjekoslav Živković
Izradu rada pomogao	Doc. dr. sc. Vjekoslav Živković
Godina objave	2017.
Obujam	50 stranica, 29 slika, 10 tablica, 10 navoda literature, 4 internetska izvora
Ključne riječi	Lijepljeno lamelirano drvo, kvaliteta, fizikalna i mehanička svojstva, zupčasti spoj, delaminacija.
Key Word	Glued laminated timber, quality, physical and mechanical properties, finger joint, delamination
Sažetak	U ovom diplomskom radu su istaknute prednosti LLD-a nad elementima od masivnog drva, proces proizvodnje i karakteristike s obzirom na njegovu čvrstoću, masu, mogućnost velikih dimenzija, otpornost na požar te otpornost u agresivnim sredinama. Poznavanje ponašanja LLD-a pod opterećenjem od izuzetne je važnosti za njegovu primjenu pri projektiranju, proizvodnji a može pridonijeti poboljšanju njegove kvalitete a time i proširenju njegove upotrebe. Obrađeni su zahtjevi i metode ispitivanja LLD-a koji su sastavni dio svake drvene konstrukcije. Analizirana su njegova najvažnija fizikalna i mehanička svojstva poglavito čvrstoća na tlak, vlak i smik, čvrstoća na savijanje cjelovitih lamela i zupčastog spoja te utvrđen postotak ukupne i najveće delaminacija, prema normi HRN EN 408 i HRN EN 14080 za konstrukcijsko drvo i lijepljeno lamelirano drvo.

Predgovor

Sve drvne konstrukcije kao i ostali proizvodi od drva koji se upotrebljavaju u graditeljstvu moraju udovoljiti različitim uvjetima ispitivanja propisanim normama. Norme služe za kontrolu kvalitete proizvoda.

Ovaj diplomski rad temelji se na laboratorijskim istraživanjima fizikalnih i mehaničkih svojstava LLD-a, poglavito čvrstoće na tlak, vlak i smik, čvrstoće na savijanje cjelovitih lamela i zupčasto spojenih lamela, neposredno vezano uz normu HRN EN 408 Drvene konstrukcije – Konstrukcijsko drvo i lijepljeno lamelirano drvo. Dobiveni rezultati mogu se neposredno primijeniti u proizvodnji LLD-a i u graditeljstvu a mogu poslužiti kao temelj daljnjim istraživanjima. Za potrebe izrade ovog diplomskog rada provedena su istraživanja u Laboratoriju za drvo u graditeljstvu (LDG) na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Zahvaljujem se svim profesorima, docentima i asistentima Šumarskog fakulteta koji su mi prenijeli dio svog znanja te pomogli da se ovaj dio mog obrazovanja uspješno okonča. Posebne zahvale, upućujem svom mentoru, doc. dr. sc. Vjekoslavu Živkoviću, koji mi je svojim trudom, iskustvom te stručnim osvrtom pomogao tijekom provođenja istraživanja, a također i na sugestijama prilikom obrade rezultata i u konačnom oblikovanju ovog rada. Želim se zahvaliti prof. dr. sc. Hrvoju Turkulinu čija su me zanimljiva predavanja zainteresirala za istraživanje ove tematike. Ovdje moram iskoristiti prigodu i zahvaliti se gospodinu Mariju Abramoviću te svim zaposlenicima tvrtke Drvene konstrukcije d.o.o. iz Voćina koji su izradili uzorke te na taj način omogućili provedbu eksperimentalnog dijela ovog rada. Na kraju bih se zahvalila mojim roditeljima što su imali vjere u mene i podupirali me sve ove godine.

Željka Francetić

„Izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristila drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

Željka Francetić

_____

U Zagrebu, 22.09.2017.

Sadržaj

Dokumentacijska kartica..... I
Predgovor II
Izjava III
Sadržaj IV
1. Uvod 1
1.1. Drvo općenito…… 2
1.1.1. Drvo – biološki pojam …… 2
1.1.2. Drvo – tehnički proizvod……..3
1.2. Anatomska struktura drva ……..... 3
1.3. Kemijska struktura drva ……3
1.3.1. Celuloza..... 4
1.3.2. Hemiceluloza..... 4
1.3.3. Lignin 5
1.3.4. Akcesorne tvari 5
1.4. Fizikalna svojstva drva ……5
1.4.1. Gustoća drva 5
1.4.2. Sadržaj vode ……..... 6
1.4.2.1. Higroskopna ravnoteža ……7
1.4.2.2. Higroskopno područje …… 7
1.4.2.3. Hidrotermička obrada …… 8
1.4.3. Utezanje i bubrenje 8
1.4.4. Poroznost drva ……...9
1.4.5. Anizotropija drva …….... 9
1.5. Mehanička svojstva drva 10
1.5.1. Čvrstoća drva ……...10
1.5.1.1. Čvrstoća na tlak 10
1.5.1.2. Čvrstoća na vlak 10
1.5.1.3. Čvrstoća na smicanje ……11
1.5.1.4. Čvrstoća na savijanje 11
1.6. Lijepljeno lamelirano drvo ……11
1.6.1. Općenito o LLD-u ……...11

1.6.2. Vrste drva ……12
1.6.3. Karakteristike LLD-a …… 12
1.6.3.1. Velika čvrstoća ……..12
1.6.3.2. Veliki rasponi ……12
1.6.3.3. Vlastita težina ……13
1.6.3.4. Velike dimenzije ……...14
1.6.3.5. Mogućnost oblikovanja ……...14
1.6.3.6. Otpornost na požar ……..15
1.6.3.7. Otpornost u agresivnim sredinama. …… 17
1.6.3.8. Postojanost…….. ……... 18
1.6.3.9 Ekološki proizvod ……..18
1.6.4. Tehnološki proces …… 19
1.6.4.1. Priprema drva …….. 19
1.6.4.1.1. Klasifikacija drva ……19
1.6.4.1.2. Sušenje lamela …… 19
1.6.4.1.3. Kondicioniranje lamela ……20
1.6.4.2. Dužinsko spajanje lamela ……..20
1.6.4.2.1. Zupčasti spoj ……...20
1.6.4.3. Lijepljenje lamela ……21
1.6.4.3.1. Blanjanje lamela ……22
1.6.4.3.2. Nanošenje ljepila ……...22
1.6.4.3.3. Pritezanje lamela ……...23
1.6.4.4. Blanjanje i završna obrada ……24
2. Problematika istraživanja 25
3. Cilj istraživanja 26
4. Materijali i metode 27
4.1. Materijali 27
4.1.1. Jela (Abies alba Mill.)…..…… 27
4.1.2. Smreka (Picea abies Karst.) ……28
4.2. Metode 29
4.2.1. Kondicioniranje uzoraka..... 30
4.2.2. Mjerenje mase, dimenzija i sadržaja vode i gustoće 30
4.2.2.1. Mjerenje mase 30
4.2.2.2. Mjerenje dimenzija ……30

4.2.3. Utvrđivanje sadržaja vode ……..31
4.2.4. Određivanje gustoće ……...32
4.2.5. Ispitivanje čvrstoće na tlak okomito na vlakna……32
4.2.6. Ispitivanje čvrstoće na vlak okomito na vlakna……...33
4.2.7. Ispitivanje čvrstoće na smik usporedno s vlaknima……...35
4.2.8. Ispitivanje čvrstoće na savijanje ……..35
4.2.8.1. Savijanje cjelovitih lamela……36
4.2.8.2. Savijanje zupčasto spojenih lamela……36
4.2.9 Delaminacija……..36
5. Rezultati ispitivanja i diskusija 38
5.1. Rezultati čvrstoće na tlak okomito na vlakna ……38
5.2. Rezultati čvrstoće na vlak okomito na vlakna……39
5.3. Rezultati čvrstoće na smik usporedno s vlaknima ……40
5.4. Ispitivanje čvrstoće na savijanje ……...41
5.4.1. Savijanje cjelovitih lamela ……..42
5.4.2. Savijanje zupčasto spojenih lamela …… 43
5.5. Delaminacija ……44
6. Zaključak 47
Literatura 48
Internetski izvori ……48
Popis slika 49
Popis tablica 50

1. UVOD

Drvo je jedan od najvažnijih prirodnih materijala koji je oduvijek usko povezan s čovjekovim životom. Kao sirovina drvo je služilo čovjeku za svakidašnje potrebe: kao ogrjev, za izradu alata i oružja, prijenosnih i prijevoznih sredstava te kao građevinski materijal. Razvojem ljudskog društva i unaprjeđenjem alata i tehnologija, drvo se je počelo koristiti za snažnije konstrukcije, a i danas je nezamjenjiv građevinski materijal.

Mnogobrojne su prednosti drva: mala težina, velika čvrstoća, laka obrada, atraktivne boje i različite teksture, ugodno na dodir, djeluje toplo, dobar izolator topline i elektriciteta, dobra akustična svojstva, te velike mogućnosti oblikovanja i dužine elemenata. Najveće prednosti drva kao materijala jesu to što je ono lako dostupan, ekološki i obnovljiv materijal. Osim ovih prednosti, drvo ima i svoje nedostatke koje je potrebno upoznati, da bi se uspješno svladali. To su: greške u drvu, truljenje, utjecaj insekata i gljiva, anizotropnost, higroskopnost, ovisnost mehaničkih osobina o sadržaju vode u drvu, utezanje i bubrenje te zapaljivost. Pomoću suvremenih metode zaštite moguće je kontrolirati svojstva drva te na taj način povećati njegovu trajnost.

Drvo se može upotrebljavati u svom prirodnom obliku, kao drvena rezana građa ili se zbog stalnog povećanja potreba za drvom s poboljšanim svojstvima i karakteristikama struktura drva može rekonstruirati u velike nosive elemente, tipa lijepljenih lamelirani proizvoda. U oba slučaja drveni proizvodi imaju visoku čvrstoću s obzirom na svoju težinu. Međutim, drvo u obliku lijepljenog lameliranog proizvoda zbog svojih naslijeđenih svojstava iskazuje i neke nedostatke. Među ostalim, ono je sklono promjeni dimenzija i oblika uslijed promjene fizikalnih i mehaničkih svojstava. Utvrđivanje i definiranje dimenzijske stabilnosti LLD-a u uvjetima promjenjivih fizikalnih i mehaničkih svojstava definirano je normom HRN EN 408 - Drvene konstrukcije - Konstrukcijsko drvo i lijepljeno lamelirano drvo - Određivanje fizikalnih i mehaničkih svojstava.

Cilj ovog rada je analizirati najvažnija mehanička svojstva LLD-a, poglavito čvrstoću na tlak, vlak i smik, čvrstoću na savijanje cjelovitih i zupčasto spojenih

lamela, utvrditi pojedinu i ukupnu duljinu delaminacije, te na osnovi provedenih ispitivanja ocijeniti kvalitetu LLD-a kao građevnog materijala prema normi HRN EN 408.

1.1. Drvo općenito

U hrvatskom jeziku riječ drvo ima dvojako značenje. Drvo u biološkom smislu znači stablo, dakle živi biljni organizam, a u tehničkom smislu drvo označava neživi drvni materijal koji potječe od živog biljnog organizma stabla (Trajković, skripta). U ovom radu drvo će se proučavati u tehničkom smislu.

1.1.1. Drvo - biološki pojam

Drvo (lat. arbor) u botaničkom smislu je lignocelulozna višegodišnja biljka iz porodice sjemenjača ili cvjetnica koje se razmnožavaju sjemenkama. Sjemenjače dijelimo u dvije skupine: golosjemenjače (Gymnospermae) i kritosjemenjače (Angiospermae). Ove se skupine razlikuju po položaju sjemenske osnove. Gymnospermae (golosjemenjače) nose sjemenku otvoreno u češerima. U ovu skupinu pripadaju četinjače (Coniferae). Angiospermae (kritosjemenjače) skrivaju sjemenku u plodu i u ovu skupinu ubrajamo listače (Trajković, skripta).

Odraslo drvo se sastoji od podzemnog dijela (korijenje) i nadzemnog dijela, koji se dijeli na deblo i krošnju. Korijen je podzemni dio stabla koji ima mehaničku i fiziološku funkciju, učvršćuje stablo u tlu i drži ga u okomitom položaju, te iz zemlje upija vodu i u njoj otopljene hranjive tvari, koje se zatim provode po cijelom stablu. Korijen nema veliki značaj za preradu, te se uglavnom ostavlja u tlu zajedno sa panjem da prirodno propadnu. Jedino se iskorištavaju dijelovi korijena nekih vrsta, npr. korijen starijih orahovih stabala u furnirskim trupcima i korijen borovih stabala za ekstrakciju smole.

Deblo je centralni nosač stabla, uglavnom cilindričnog (konusnog) oblika na kome se formira krošnja. Uloga debla je da provodi vodu sa mineralnim tvarima do krošnje. Sa tehnološko-komercijalnog stanovišta deblo je i po ukupnoj masi i po kvaliteti najvažniji dio stabla. Kvalitetu debla najčešće određuju njegove tri osobine: čistoća debla, jedrina i ravnost.

Krošnjom nazivamo kompleks živih grana, grančica, lišća, cvjetova i plodova, koji su se razvili iz debla. Krošnja je od posebnog značaja za fiziološke funkcije budući da procesom fotosinteze u lišću pod utjecajem sunca pretvara vodu iz tla i ugljični dioksid iz zraka u sebi prilagođenu hranu. Tehnološki gledano od značaja su samo krupnije grane.

1.1.2. Drvo - tehnički proizvod

Drvo (lat. lignum) je tehnički proizvod biološkog porijekla koji se dobiva eksploatacijom drvenastih biljaka, uglavnom od debla , iako se za neke primjene koristi i drvo grana. Tehničko značenje imaju samo golosjemenjače (Gymnospermae) i kritosjemenjače (Angiospermae) (Šumarska enciklopedija, 1980).

1.2. Anatomska struktura drva

Kako bismo znali koje drvo je najbolje za izradu određenih elemenata, potrebno je poznavati njegovu anatomsku strukturu. Drvo je izgrađeno od raznih stanica koje se radi svojeg izduženog oblika u drvu nazivaju drvna vlakna. Jedna od glavnih botaničkih razlika između četinjača i listača je upravo u građi njihovog drva. Osnovni elementi građe drva četinjača su traheide koja su primarno provodni elementi ali obavljaju i mehaničku funkciju. Drvo četinjača uglavnom je finije teksture i homogenije građe od drva listača. U drvu listača stanice za provođenje vode, poznate kao pore ili traheje, obično su mnogo većeg promjera nego traheide, u drvu četinjača. Pore se često mogu vidjeti običnim okom kao brojne rupice na poprečnim površinama drva. Kao rezultat toga, drvo listača se obično zove porozno drvo, a drvo četinjača neporozno drvo (Šumarska enciklopedija, 1980).

1.3. Kemijska struktura drva

Poznavanje kemijske strukture drva naročito dolazi do izražaja kod kemijske prerade, površinske obrade, zaštite drva i sličnih postupaka. Drvo je kompleksni polimer koji se sastoji od oko 50 % ugljika, 44 % kisika te 6 % vodika, uz niski udio anorganskih tvari. Osnovni kemijski gradbeni dijelovi drva su: celuloza, hemiceluloza i lignin te razne akcesorne tvari (Antonović, 2007).

Tablica 1. Osnovna podjela kemijskog sastava drva (Antonović, 2007)

Komponente drva (% suhe tvari)			
	Celuloza	**Hemiceluloza**	**Lignin**
Četinjače	40-44	15-35	18-25
Listače	40-44	20-32	25-35

Iz tablice je vidljivo je da se četinjače i listače razlikuju u udjelima lignina i hemiceluloze dok je celuloza jednolik sastavni dio u svim vrstama drva. Ekstraktivne tvari koje su prisutne u ovim dvjema vrstama se razlikuju u količini i strukturi.

1.3.1. Celuloza

Celuloza je najvažniji sastavni dio drva, na nju otpada oko 40-44 % ukupne suhe tvari u drvu. Celuloza je linearni polisaharid, građena od dugih nizova međusobno povezanih molekula lanaca jednostavnog šećera glukoze. U prirodi, celuloza je primarno strukturni materijal koji biljkama daje karakterističnu čvrstoću i elastičnost. Celulozu čovjek ne može kemijski stvoriti u laboratoriju, ali ju može koristi na mnogo načina: u industriji papira, kartona, ljepenke, vate, u tekstilnoj industriji, u proizvodnji lakova, eksploziva, ljepila, filmova, celuloida i dr.

1.3.2. Hemiceluloza

Osim celuloze u biljnim tkivima je prisutan i veliki broj različitih polisaharida koji se nazivaju polioze ili hemiceluloze. Hemiceluloza čini 20-30 % ukupne mase drva, a uglavnom se nalazi u primarnim i sekundarnim staničnim stijenkama, a u izrazito malim količinama i u središnjoj lameli stanica drva. Hemiceluloza upija manje vode nego celuloza i ima manju čvrstoću od celuloze. Zajedno s celulozom omogućava prijenos vlačnih sila i drvu daje elastičnost.

1.3.3. Lignin

Lignin je treća komponenta stanične stjenke drva kojeg ima oko 27 % u četinjačama i 23 % u listačama. To je polimer sastavljen od fenolnih gradbenih jedinica koji stvara biljna stanica tijekom procesa lignifikacije. Smješten je u staničnoj stijenci i srednjoj lameli kao obložna tvar, a služi kao vezivno sredstvo u drvnoj strukturi, izgrađuje provodno staničje, nosilac je mehaničkih svojstava, a ima i obrambenu ulogu prilikom zarašćivanja ozljeda mehaničkog podrijetla na stablima.

1.3.4. Akcesorne tvari

Pored osnovnih, postoje mnogi drugi kemijski sastojci drva koji čine samo mali postotak cjelokupnog sastava drva. Jedan od tih sastojaka čine akcesorne tvari (ekstraktivi) koje su akumulirane u određenim tkivima drva. Sastav akcesornih tvari široko varira od vrste do vrste drva, te je ukupni sadržaj akcesornih tvari određene vrste drva ovisan o uvjetima rasta.

1.4. Fizikalna svojstva drva

Fizikalna svojstva drva su ona svojstva koja se javljaju kao posljedica djelovanja prirodnih sila (protoku vode kroz drvo, zraku, toplini, svjetlost i dr.). Poznavanje tih svojstava je osnovni preduvjet za uspješnu primjenu drva i proizvoda na bazi drva u graditeljstvu. Neke od glavnih fizikalnih svojstava drva važna za LLD su: gustoća, vlažnost drva i poroznost koja će biti opisana u slijedećim poglavljima.

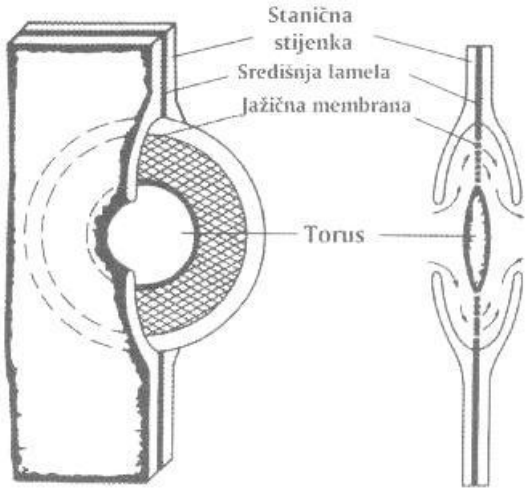
1.4.1. Gustoća drva

Gustoća drva se definira kao odnos mase suhe drvne tvari po jedinici volumena potpuno zapunjenoj drvnom tvari bez pora (Horvat i Krpan,1967). Gustoća je najvažniji pokazatelj fizikalnih svojstva drva, ali i tehnoloških svojstava što je važno pri obradi drva. Ovisi i o nizu unutarnjih i vanjskih faktora kao što su: vrsta drva, građa drva, dio stabla, sadržaj vode, kemizam drva, stanište, tip šume, položaj stabla u sastojini i drugo (Horvat i Krpan,1967). Prosječna gustoća jele i smreke koje se najviše upotrebljavaju u proizvodnji LLD-a iznosi oko 450 kg/m³ (Šumarska enciklopedija,1980).

1.4.2. Sadržaj vode

Svako stablo i drvena građa sadrže određenu količinu vode. Količina vode u drvnoj masi je od velikog značenja za kvalitetu građevinskog drva, zbog velikog utjecaja na mehaničke karakteristike drva i na njegovu zapremninu. Stupanj vlažnosti drva utječe na obradivost drva, na sigurnost i otpornost lijepljenih spojeva i veza i na stalnost proizvoda od drva.

Sadržaj vode u drvu definira se kao odnos težine vode koju sadrži drvo u odnosu na težinu apsolutno suhog drva. Količina vode ovisi o vrsti drva, strukturi drva, staništu i ostalim faktorima (Pervan, 2000). Kretanje tekućine iz stanice u stanicu odvija se kroz velik broj jažica.



Slika 1. Jažica (Pervan, 2000)

Voda u drvu dijeli se na slobodnu i vezanu vodu. Slobodna ili kapilarna voda nalazi se u staničnim stijenkama i nije vezana za drvnu tvar. Takva voda ne djeluje na bubrenje ni na utezanje, pa time ni na fizikalne i mehaničke promjene drva. Količina slobodne vode je vrlo velika, iznad 25-30 % i može se relativno brzo ukloniti. Vezana voda je smještena u staničnim stijenkama i velikim je molekularnim silama vezama za drvnu tvar. Kreće se kroz drvo polaganije, a polaganije i hlapi te znatno utječe na svojstva drva, a time i na njegovu obradu i uporabu. Ona je glavni čimbenik fizikalno kemijskih promjena drva, uz osnovnu strukturu drva. Količina vezane vode ovisi o vrsti drva i o vremenu sječe stabla. Vezana voda je uzročnik bubrenja, krivljenja i promjene tvrdoće drva (Pervan, 2000). Područje sadržaja vode na prijelazu iz

slobodne u vezanu vodu naziva se područje točke zasićenosti vlakana (TZV). Ovisi o vrsti drva. Srednja vrijednost TZV kreće se oko 26 %. Ova točka ima različite utjecaje, pa se tako sa smanjenjem sadržaja vode ispod TZV smanjuje veličina drva (drvo se uteže). Smanjenje stupnja vlažnosti može se provesti prirodnim sušenjem drva ili prinudnim putem u sušionicama (Pervan, 2000).

1.4.2.1. Higroskopna ravnoteža

Drvo se prilagođava uvjetima okoline, tj. klimi (temperaturi i relativnoj vlažnosti zraka). Stanje kada se drvo nalazi u ravnoteži između tlaka vodene pare u zraku i tlaka vode u stijenki stanice drva, odnosno kada ne prima vlagu iz zraka i ne otpušta vlagu u zrak označava se kao higroskopna ravnoteža. Dijagram higroskopne ravnoteže od velike je važnosti za daljnju preradbu, skladištenje, prodaju i sušenje drva (Horvat i sur.,1985).

Norma EN 385 definira tri razreda uporabe lameliranog drva u konstrukcijama kojima odgovara različiti ravnotežni sadržaj vode:

Razred 1: sadržaj vode materijala odgovara temperaturi od 20 °C i relativnoj vlazi koja tek nekoliko tjedana u godini prelazi 65 %. U ovim uvjetima sadržaj vode uglavnom neće prelaziti 12 %.

Razred 2: sadržaj vode materijala odgovara temperaturi od 20 °C i relativnoj vlazi koja tek nekoliko tjedana u godini prelazi 85 %. U ovim uvjetima sadržaj vode uglavnom neće prelaziti 20 %.

Razred 3: uvjeti izlaganja materijala uzrokuju sadržaj vode veći nego u razredu 2.

Slijedom gore navedenih očekivanih sadržaja vode i tehnoloških zahtjeva za lijepljenje drva u proizvodnji LLD-a koristi se drvo sa sadržajem vode od 10 do 15 %.

1.4.2.2. Higroskopno područje

U higroskopnom području drvo stalno upija ili isparava vodu (adsorpcija, desorpcija), a taj neprekidni proces uzrok je mijenjanju dimenzija i volumena. Drvo se neprekidno uteže ili bubri. Ova dimenzionalna nestabilnost je svakako negativna pojava u iskorištenju drva za mnoge proizvode. Sadržaj vlage drva u higroskopnom

području bitno utječe na sva fizikalna i mehanička svojstva drva. Iznosi približno do 30 % vlažnosti (Horvat i sur.,1985).

1.4.2.3. Hidrotermička obrada drva

Drvo, koje je jedan od najvažnijih materijala, pristupačno je u velikim količinama u sirovu stanju, ali uglavnom s prevelikim sadržajem vode (Pervan, 2000). Da bismo dobili drvo željenog ili normama propisanog konačnog sadržaja vode za proizvodnju LLD-a, prethodno obavezno moramo provesti barem jedan hidrotermički postupak.

Sušenje drva podrazumijeva otklanjanje u potpunosti slobodne vode, te u određenom postotku i vezane vode u drvu, a da mu se pri tome ne umanjuje kvaliteta. Osušeno drvo je manje mase, čvršće, dimenzijski i oblikom stabilnije, otpornije na napade insekata i plijesni te podobnije za primjenu premaza. Svrha sušenja drva jest smanjenje sadržaja vode u drvu na traženi sadržaj vode u što kraćem vremenu. Kvaliteta osušenog drva mora odgovarati postavljenim zahtjevima, a postupak uklanjanja vode mora biti automatiziran koliko je to moguće, ekonomičan i sa što manjim utroškom energije (Pervan, 2000).

Sušenje drva može se provoditi na dva načina: prirodnim putem ili tehnički. Prirodno sušenje je sušenje na zraku kada se građa uglavnom manjih dimenzija, propisno složena izlaže prirodnom strujanju zraka (proces zahtijeva duže vrijeme sušenja, nekoliko tjedana). Kod tehničkog sušenje drvo, odnosno građa se posebno slaže u specijalne komore, u sušionice i intenzivno izlaže usmjerenom strujanju zraka određene vlažnosti i temperature (Pervan, 2000).

1.4.3. Utezanje i bubrenje

Zbog nehomogenosti građe, drvo se u različitim smjerovima uteže i bubri. Utezanje i bubrenje drva su posljedice promjene sadržaja vode u drvu. Zbog utezanja i bubrenja nastaju unutarnje napetosti koje mogu izazvati razne deformacije kao što su savijanje i pucanje drva. Utezanje i bubrenje su prirodne, ali i neželjene osobine drva koje ne možemo spriječiti ali ih možemo umanjiti (Pervan, 2000).

Utezanje drva je proces promjene dimenzija drva uslijed sušenja od TZV do apsolutno suhog stanja gdje dolazi do smanjenja težine i dimenzija drva. To je stanje kada su lumeni prazni, a stijenke maksimalno zasićene vodom i traje do stanja standardne suhoće. Drvo se počinje utezati ispod TZV tj. ispod 30 % vlage. Veličina utezanja je veća u smjeru tangencijalno na godove, nešto manje u smjeru drvnih trakova (radijalno), a najmanje u smjeru vlakana (longitudinalno) (Horvat i sur., 1985). Bubrenje je obrnuti proces, koji se okončava kada drvo dosegne 30 %-tnu vlažnost. Bubrenje nastaje kao posljedica povećanja vlažnosti drva od apsolutno suhog stanja do TZV. Pri bubrenju najveće promjene su u tangencijalnom pravcu.

1.4.4. Poroznost drva

Drvo je porozna tvar izgrađena iz čvrstih stijenki stanica drva i staničnih šupljina, tzv. pora. Poroznost je drvu neophodna, jer se drvo u toku svog života izgrađuje kao živa supstanca u kojoj svuda moraju postojati prostori i šupljine radi njegovih životnih funkcija.

Poroznost je odnos između ukupne zapremine pora prema zapremini drva. Kod naših domaćih vrsta drva, volumen pora se kreće od 55-75 % (Tomašević, 1997). Kod listača razlikujemo rastresito i prstenasto porozno drvo, dok su četinjače neporozne vrste drva. Porozno drvo tj. ono s velikim udjelom pora u pravilu ima negativnima tehnička svojstva, manju čvrstoću i tvrdoću, veće upijanje vlage, manju otpornost na habanje i trajnost. Poroznije vrste prave veće poteškoće u mehaničkoj obradi, lijepljenju i površinskoj obradi drva. Poroznost ima i pozitivne stane, a to su izolacijska svojstva i relativno mala volumna masa.

1.4.5. Anizotropija drva

Karakteristika drva su različita svojstva čvrstoće i krutosti u odnosu na pravac vlakana što uzrokuju nepovoljno reagiranje strukture na utjecaj vlage, a time i na mehanički podražaj. Takva svojstva ili mane nazivamo anizotropijom. Posljedica je prirodnog podrijetla, odnosno građe drva.

1.5. Mehanička svojstva drva

Svaka vrsta drva odlikuje se specijalnim svojstvima, koja odlučuju o njegovoj upotrebi. Za nosive konstruktivne elemente i LLD najvažnija su mehanička svojstva drva.

Mehanička svojstva drva se javljaju kad na drvo djeluju neke vanjske mehaničke sile koje nastoje izmijeniti oblik ili dimenzije drvenih dijelova i sklopova. Drvo se pred njima pokušava obraniti, pa bismo mehaničke osobine mogli odrediti i kao otpornost drva na djelovanje vanjskih sila (Pervan, 2000). Najvažnija mehanička svojstva drva su: čvrstoća, tvrdoća, elastičnost, trajnost i otpornost prema habanju. U ovom radu poseban naglasak bit će stavljen na čvrstoću LLD-a.

1.5.1. Čvrstoća drva

Čvrstoća je od presudne važnosti pri odabiru vrste drva za izradu LLD-a zbog velikih naprezanja. Čvrstoća je najveće unutarnje naprezanje neposredno prije loma. To je svojstvo drva kojim se ono odupire djelovanju vanjskih sila koje ga nastoje raskinuti (čvrstoća na vlak), stlačiti (čvrstoća na tlak), smrviti (čvrstoća na smicanje), saviti (čvrstoća na savijanje), (Horvat i Krpan,1967).

1.5.1.1. Čvrstoća na tlak

Čvrstoća drva na tlak je najveće unutarnje naprezanje koje se javlja kad na drvo djeluje sila okomita na podlogu koja ga nastoji zgnječiti ili stlačiti (Horvat i Krpan, 1967). Tlačna čvrstoća drva sa sadržajem vode od 15 % u smjeru vlakana iznosi 10-110 MPa i veća je od tlačne čvrstoće okomito na vlakanca za 3-10 puta (Tomašević, 1997).

1.5.1.2. Čvrstoća na vlak

Čvrstoća na vlak je najveće unutarnje naprezanje koje se javlja kada na tijelo djeluju sile istog pravca, ali suprotnog smjera koje ga nastoje razvući paralelno ili okomito na smjer vlakana (Horvat i Krpan,1967). U literaturi možemo naći nazive: čvrstoća na vlak i vlačna čvrstoća. Čvrstoća na vlak kod drva se razlikuje ovisno o

djelovanju sile pa može biti paralelna ili okomita na vlakna. Čvrstoća na vlak znatno je veća u smjeru vlakana od okomite na vlakna.

1.5.1.3. Čvrstoća na smicanje

Čvrstoća drva na smicanje je najveće unutarnje naprezanje koje se javlja kada na drvo djeluje sila koja nastoji maknuti (kliznuti) njegove dijelove usporedno s vlaknima ili okomito na taj smjer (Horvat i Krpan,1967). Čvrstoća drva na smicanje sa sadržajem vode od 15 % u smjeru vlakana u prosjeku iznosi 1-15 MPa, a znatno je veća od čvrstoće na smicanje okomito na vlakna (Tomašević, 1997).

1.5.1.4. Čvrstoća na savijanje

Čvrstoća drva na savijanje je najveće unutarnje naprezanje koje se javlja kada na drvo djeluje sila koja ga nastoji saviti ili prelomiti (Horvat i Krpan,1967). Savojna čvrstoća drva sa sadržajem vode od 15 % u smjeru okomitom na vlakna iznosi 10-250 MPa (Tomašević, 1997).

1.6. LIJEPLJENO LAMELIRANO DRVO

1.6.1. Općenito o LLD-u

Pod pojmom LLD-a podrazumijeva se konstrukcijski element dobiven lijepljenjem dasaka (lamela) određene širine i debljine u kontroliranim uvjetima. Debljine lamela se kreću od 10 pa sve do 40 mm (Drvene konstrukcije, Voćin).

LLD je patentirao Oteto Hetzer 1906. godine. Lamelirane konstrukcije razvile su se uslijed nedostatka konstrukcija velikih raspona i sve većeg nedostatka prirodno zakrivljenog drva. Pomoću tehnologije LLD je unaprijedio fizikalna i mehanička svojstva masivnog drva. Za razliku od masivnog drva, LLD je neusporedivo čvršće, ima bolje statičke osobine, nije sklono deformacijama, ima kraće vrijeme građenja, ima veliku požarnu otpornost i visoku otpornost na potres. Kada su dimenzije i oblici LLD-a u pitanju gotovo da ne postoje ograničenja.

1.6.2. Vrste drva

Sve vrste drva koje se koriste u klasičnim drvnim konstrukcijama mogu se koristiti i za izradu LLD-a. Ipak, LLD se proizvodi najčešće od četinjača (smreka, jela, bor), dok se listače (hrast ili bukva) upotrebljavaju samo iznimno jer su im povećana masa, teža obradivost i sušenje pri proizvodnji LLD-a nedostaci. Prilikom izbora materijala za LLD posebna se pažnja obraća na to da drvo bude I klase kvalitete, zdravo i bez grešaka, te suho, odnosno s najviše 15 % sadržaja vode. U istraživanju su korištene jelovina i smrekovina.

1.6.3. Karakteristike LLD-a

Veliki uspon u graditeljstvu LLD je doživjelo zbog slijedećih karakteristika:

- velike čvrstoće
- velikih raspona
- vlastite težine
- dimenzija
- mogućnosti oblikovanja
- velike požarne otpornosti
- otpornosti u agresivnim sredinama
- ekološki proizvod.

1.6.3.1. Velika čvrstoća

Drvo je materijal koji može podnijeti paralelno sa svojim vlaknima velika naprezanja. Za razliku od čelika i betona, LLD ima bolji omjer mase i snage što mu osigurava velike raspone bez međuoslonaca. Tlačna čvrstoća LLD-a kreće se u granicama od 40,0 do 80,0 MPa ovisno o vrsti drva. Kada je u pitanju vlačna čvrstoća onda se drvo može usporediti i s nekim metalima, jer rezultati ispitivanja pokazuju da do loma ispitnog uzorka od drva bez greške dolazi i pri 180 MPa (Drvene konstrukcije, Voćin).

1.6.3.2. Veliki rasponi

Razvoj tehnologije proizvodnje LLD-a omogućuje svladavanje sve većih raspona. Zbog dobrih karakteristika LLD-a moguće je izvođenje konstrukcija raspona čak i preko 100 m (Drvene konstrukcije, Voćin).



Slika 2. Rešetkasti nosači od LLD-a. Raspon konstrukcije 36,50 m
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

1.6.3.3. Vlastita težina

Vlastita težina ugrađenog LLD-a iznosi oko 450 kg/m^3 (Drvene konstrukcije, Voćin). Vlastita težina armiranog betona je 2500 kg/m^3, što jasno pokazuje da je udio iskorištenja naprezanja poprečnog presjeka uslijed opterećenja od vlastite težine najmanje četiri puta manji kod drva nego kod betona u stupovima istih dimenzija. Ovo može biti od velikog značaja kod konstruiranja LLD-a velikih raspona i malog pripadajućeg opterećenja.



Slika 3. Ergela lipicanaca Đakovo. Trozglobni okvir, raspon 37,60 m.
Stupovi - čelik, grede - LLD. http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

1.6.3.4. Velike dimenzije

Razvojem tehnologije ljepila ograničene dimenzije konstrukcijskih elemenata od drva nisu više problem. Danas se može napraviti element od drva s visinom poprečnog presjeka od par metara i sa dužinom i do 15 m. Prijevozi dugačkih nosača (od 30-45 m) nisu problematični zbog velike težine nego samo zbog velike dužine i visine (Drvene konstrukcije, Voćin).

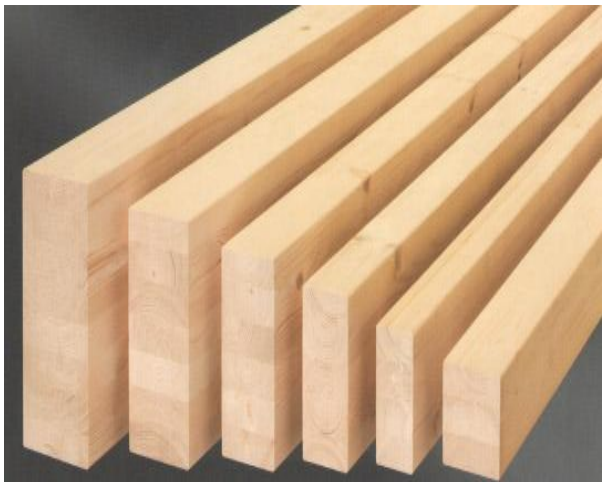
1.6.3.5. Mogućnost oblikovanja

LLD odlikuju brojne mogućnosti oblikovanja, pa tako grede mogu biti ravne ili lučno oblikovane. Oblikovanja omogućuje veću fleksibilnost i slobodu u projektiranju (Drvene konstrukcije, Voćin).



Slika 4. Turistički objekt u Rabcu - konstrukcija u obliku vala
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

Ravni lamelirani nosači postavljaju se u jednostavne ravne preše te nakon sušenja ljepila dobivamo gotove nosače, koje je potrebno završno blanjati na finalnu dimenziju.



Slika 5. Ravno lamelirano drvo
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

Lučno oblikovani nosači postavljaju se u specijalno oblikovane kalupe. Prilikom proizvodnje potrebno je odrediti radijuse koje mora pratiti nosač. Zakrivljeni lamelirani nosači nalaze primjenu u konstrukcijama kod kojih se postavljaju posebni estetski i oblikovni zahtjevi.



Slika 6. Lučno lamelirano drvo
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

1.6.3.6. Otpornost na požar

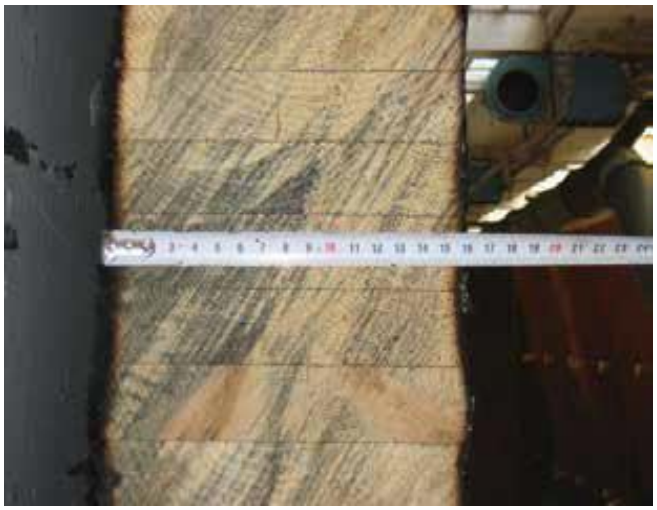
LLD ima izuzetnu otpornost na vatru, jer drvo gori na spor i predvidiv način. Slobodno se može reći da su u pojedinim slučajevima drvene konstrukcije neuništive u požaru. Čelik već pri temperaturi od 550 ^{0}C koja je daleko od točke topljenja čelika

gubi sve svoje mehaničke karakteristike i prestaje biti građevinski konstruktivni element. Ova pojava ima za posljedicu naglo gubljenje modula elastičnosti te dolazi do urušavanja objekta iako čelik nije zapaljiv materijal. Armirani beton koji isto tako nije goriv materijal pri povišenoj temperaturi počinje pucati, runiti se uslijed smanjenja čvrstoće, te se jako deformira.

Drvo u požaru gori. Međutim, drvo pri gorenju ne mijenja bitno svoja mehanička svojstva i to je kvalitativna razlika u odnosu na beton i čelik. Pretvaranje drva u sloj ugljena teče vrlo sporo 0,4-0,8 mm/min (Drvene konstrukcije, Voćin). To znači da pri velikim požarnim temperaturama za vrijeme od 1 sata drveni nosač izgubi 4 cm po svom opsegu. Kod velikih poprečnih presjeka kakvi su u pravilu presjeci u LLD-u ovo oslabljenje dimenzija ne predstavlja nikakvu opasnost od urušavanja konstrukcije.



Slika 7. Demontaža izgorenog lameliranog nosača
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/



Slika 8. Lamelirani nosač izgubio 4 cm nakon požara
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

1.6.3.7. Otpornost u agresivnim sredinama

Drvo je otporno na razne agresivne supstance poput kiselina, gnojiva, soli te amonijaka (Drvene konstrukcije, Voćin). Otpornost na agresivan utjecaj amonijaka i drugih kemikalija prisutnih u poljoprivrednim objektima, konstrukcije od LLD-a idealan su materijal za izgradnju poljoprivrednih objekata poput farmi krava, farmi svinja, peradarskih farmi te objekata za proizvodnju stočne hrane. Otpornost konstrukcije u agresivnim sredinama eliminira dodatne troškove površinske zaštite i omogućuje neograničeni vijek trajanja konstrukcije.



Slika 9. Farma muzenih krava - trozglobni okvir raspona 26,80 m.
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

Osim kod poljoprivrednih objekata**,** LLD svoju je primjenu našlo i kao konstruktivni materijal pri natkrivanju bazena namijenjenih rekreativnom i športskom plivanju. Ljepilo koje se koristi u proizvodnji odlikuje vodootpornost, vatrootpornost te otpornost na većinu kemijskih utjecaja. Iz tog se razloga LLD čini dobrim izborom konstruktivnog materijala u prostorima s povećanom koncentracijom klora.



Slika 10. Bazeni u Vinkovcima. Kontinuirana greda raspona 22,50+12,00 m
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

1.6.3.8. Postojanost

LLD je potpuno stabilan i postojan građevinski materijal. Drvo je osušeno na vlažnost od 12 % te u normalnim uvjetima eksploatacije pojava rasušivanja i upijanja je svedena na minimum. Kao rezultat drvo se ne savija i ne puca (Drvene konstrukcije, Voćin).

1.6.3.9. Ekološki proizvod

LLD je ekološki građevni materijal, izvrstan u skladištenju i čuvanju štetnih stakleničkih plinova poput CO_2, prikupljenih iz atmosfere tijekom dugog rasta samog debla. Jedna od najvažnijih osobina drva u svim područjima primjene je njegova prirodna razgradivost. Drvo je moguće ponovno upotrijebiti, reciklirati i uporabiti.

1.6.4. Tehnološki proces

Tehnološki proces proizvodnje LLD-a, odvija se kroz nekoliko faza:

1. priprema drva
2. dužinsko spajanje lamela
3. lijepljenje
4. blanjanje i završna obrada (Drvene konstrukcije, Voćin).

1.6.4.1. Priprema drva

Obuhvaća slijedeće operacije:

- klasifikacija drva
- sušenje drva
- kondicioniranje drva.

1.6.4.1.1. Klasifikacija drva

Klasifikacija se vrši prema: botaničkoj vrsti drva, dimenzijama, klasi kvalitete i širini godova, u skladu sa odgovarajućom normom (Drvene konstrukcije, Voćin).

1.6.4.1.2. Sušenje lamela

Nakon piljenja lamele se suše u posebnim sušarama za sušenje drva. Drvo od kojeg se proizvodi LLD potrebno je sušiti na vlažnost koja je uvjetovana karakteristikama ljepila kojim se lijepi drvo i projektiranoj vlažnosti lijepljenog drva. Maksimalna vlažnost drva za lijepljenje iznosi 15 % ali se drvo najčešće suši na vlažnost od 8-12 % (Drvene konstrukcije, Voćin).



Slika 11. Sušionica i upravljačka jedinica
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

1.6.4.1.3. Kondicioniranje lamela

Nakon izlaska drva iz sušionice potrebno je izvršiti kondicioniranje drva tj. ujednačiti temperaturu lamela sa temperaturom u proizvodnoj hali i uspostaviti higroskopnu ravnotežu drva. Proizvodni pogon mora zadovoljiti određene parametre, pa temperatura zraka mora iznositi 20 °C uz relativnu vlažnost od otprilike 60 %. Kondicioniranje se provodi na za to predviđenom mjestu u proizvodnoj hali i traje oko 48 sati (Drvene konstrukcije, Voćin).

1.6.4.2. Dužinsko spajanje lamela

Nakon odstranjivanja grešaka dobivamo lamele zadovoljavajućih svojstava ali najčešće nedovoljnih duljina. Takve lamele odvode se na specijalizirani stroj tipa "DIMTER na kojem se vrše slijedeće operacije:

- izrezivanje nedopuštenih grešaka drva (kvrge, raspucalost itd.)
- mjerenje vlažnosti svake lamele s automatskim izbacivanjem lamele koja svojom vlažnošću ne može ući u proizvodni proces
- narezivanje zubaca "zupčastog" spoja
- nanošenje ljepila na zupce
- prešanje "zupčastog" spoja
- rezanje dužinski spojenih lamela na potrebnu dužinu (Drvene konstrukcije, Voćin).

1.6.4.2.1. Zupčasti spoj

Zupčasti spoj je preklapajući tupi sljub načinjen strojnom obradom niza simetričnih zubaca na krajevima komada drva. U zupčasti spoj, kako bi se ostvarila trajna čvrstoća nanosi se ljepilo, te se lamele kontroliranom silom tlače jedna u drugu. Takvim spajanjem želi se oplemeniti drvna sirovina koja u novim konstrukcijskim oblicima ima poboljšana fizičko-mehanička svojstva u odnosu prema cjelovitom drvu.



Slika 12. Izgled zubaca
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/



Slika 13. Zupčasti spoj
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

1.6.4.3. Lijepljenje lamela

Razvojem kemijske industrije, umjetne smole na bazi fenolnih i drugih spojeva omogućile su pouzdano, trajno i vodootporno spajanje lamela. Lijepljenje lamelirani nosača provodi se u slijedećim fazama:

- blanjanje lamela četverostranom blanjalicom
- nanošenje ljepila
- transport lamela do linije za lijepljenje
- pritezanje lamela na liniji lijepljenja (Drvene konstrukcije, Voćin).

1.6.4.3.1. Blanjanje lamela

Dužinski spojene lamele prije lijepljenja potrebno je blanjati. Prilikom piljenja u samom početku procesa lamele se pile sa namjerom, kako bi se u završnoj fazi moglo izvesti blanjanje na dimenziju sa točnošću od 0,1 mm. Blanjanje se izvodi posebnim strojem koji obrađuje obje strane lamele odjednom propuštajući konstantnu debljinu.

1.6.4.3.2. Nanošenje ljepila

Pod lijepljenjem drva podrazumijeva se čvrsto površinsko spajanje dvije ili više drvenih ploha ljepilom. Površine za lijepljenje moraju biti čiste i ravne kako bi se osiguralo uspješno lijepljenje. Lijepljenje bi se trebalo izvršiti čim prije nakon strojne obrade, ali najkasnije 24 sata nakon blanjanja lamela.

Ljepilo se nanosi na obje površine koje se lijepe, najčešće u rasponu od 200 do 400 g/m^2. Prva i zadnja lamela se premazuju s jedne strane, a ostale lamele s obje strane. Nepremazane strane su vanjska lica nosača. U proizvodnji LLD-a najčešće se koriste sintetička ljepila, tj. ljepila na bazi sintetičkih smola: dvokomponentna melaminska ljepila i dvokomponentna rezorcinska ljepila (Drvene konstrukcije, Voćin). Melaminska ljepila su bijela te se kod tako slijepljenih nosača sljubnice lamela gotovo ne vide što može biti bitno kod nekih arhitektonskih zahtjeva, dok su rezorcinska ljepila tamnosmeđe boje pa je i spoj sljubnica lamela dobro vidljiv. Za proces lijepljenja lamela od izuzetne važnosti je tzv. “vlaženje drva“. Važno je da sloj ljepila vlaži drvo prilikom procesa lijepljenja i prodre u strukturu drva te uspostavi dodir između dvije supstance. Ljepilo ne smije biti podložno utjecaju agresivne okoline u kojoj se element nalazi, utjecaju vlage, gljivica ili insekata. Također mora biti otporno na požar i ne smije dozvoliti raslojavanje nosača pri povećanim temperaturama. Dakle, za ostvarenje kvalitetnog lijepljenja veoma su važni, pravilan izbor i priprema ljepila i kvalitetna priprema drva kao i odgovarajući parametri lijepljenja.



Slika 14. Nanošenje ljepila
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

1.6.4.3.3. Pritezanje lamela

Nakon premazivanja ljepilom, lamele se redom slažu u fleksibilne kalupe sa prešama. Preše se postavljaju na određene razmake, a plohe trebaju biti čvrsto pritisnute i potpuno sljubljene. Drvo ne smije imati količinu vlage višu od 15 %. Veličina tlaka za meko drvo iznosi od 30 do 60 N/cm^2, a za tvrdo drvo od 60 do 90 N/cm^2. Za 6 do 8 sati ljepilo u spojenim lamelama dostiže oko 80% svoje konačne čvrstoće i poslije tog vremena preše se mogu otpustiti. Za konačno otvrdnjavanje ljepila potrebno je 5 do 7 dana. Nakon što su se preše otpustile materijal nosače je potrebno ostaviti na mjestu lijepljenja i kondicionirati najmanje 24 sata, pa nakon toga pristupiti daljnjoj obradi.



Slika 15. Postolje za pritezanje lamela
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

1.6.4.4. Blanjanje i završna obrada

Nakon kondicioniranja pristupa se završnoj obradi nosača. Pod završnom obradom podrazumijeva se blanjanje na dvostranoj blanjalici, brušenje nosača, vađenje kvrga, poravnavanje površine kitanjem te ostali zahvati kojima se vrši prilagodba proizvedenih nosača navedenim u projektu. Nakon blanjanja površina mora biti ravna i glatka. Nakon toga nosači se impregniraju insekticidno-fungicidnim sredstvima kako bi se drvo zaštitilo od napada insekata i gljivica, ali i spriječilo povećavanje vlažnosti, čime se smanjuje rizik od propadanja drva. Drvo se završno štiti premazivanjem s lazurnim i lak-lazurnim premazima u tonu po izboru investitora (Drvene konstrukcije, Voćin).

2. PROBLEMATIKA ISTRAŽIVANJA

U prethodnim poglavljima rada navedene su prednosti i nedostaci LLD-a u odnosu na masivno drvo. Razvojem tehnologije lijepljenja drva, pojavila se potreba ispitivanja kvalitete lijepljenog spoja, što je dovelo do normiranih sustava za ispitivanje kvalitete. Ispitivanje kvalitete lijepljenja drva, provodi se radi definiranja vrijednosti pojedinog sustava lijepljenja te zato da bi se ta znanja mogla primijeniti kada se trebaju očitovati posebnosti poput načina vezanja, te mehaničkih i fizikalnih svojstava slijepljenog spoja. Drvene konstrukcije, konstrukcijsko drvo i LLD ispituju se prema europskoj normi HRN EN 408 Drvene konstrukcije - Konstrukcijsko drvo i lijepljeno lamelirano drvo - Određivanje fizikalnih i mehaničkih svojstava. Ova norma temelji se na međunarodnoj normi ISO 8375.

U radu su istražena najvažnija fizikalna i mehanička svojstva LLD-a, poglavito čvrstoća na tlak, vlak i smik, čvrstoća na savijanje cjelovitih i zupčasto spojenih lamela, te na osnovi provedenih ispitivanja ocijenjena kvaliteta LLD-a kao građevnog materijala prema normi HRN EN 408. Ispitivanjem je obuhvaćeno 53 uzorka LLD-a klase kvalitete GL24k, različitih dimenzija koji su osim analize mehaničkih svojstava bili izloženi i analizi nekih fizikalnih svojstava bitnih za kvalitetu LLD-a (sadržaj vlage i gustoća). Istraživanja su provedena u Laboratoriju za drvo u graditeljstvu (LDG) na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Kontrola kvalitete vrlo je bitna zbog mehaničke otpornosti i stabilnosti LLD-a, u uvjetima ugradnje i uporabe u prostoru. Ovdje nije bitno samo da LLD bude stabilno, tj. da se vrlo malo deformira pri mehaničkim opterećenjima, nego da se nakon vlaženja i sušenja može povratno približiti početnom stanju u mjeri i obliku.

3. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj rada bio je bolje upoznati fizikalna i mehanička svojstva LLD-a i njegovo ponašanje u uporabi, a sa svrhom da se unaprijedi njegova kvaliteta a time i proširi njegova uporaba. Zbog posebnosti lijepljenog spoja pretpostavlja se da će međusobno spajanje elemenata značajno utjecati na fizikalna i mehanička svojstva LLD-a.

Kako je ulazna sirovina lamelirani element, kvaliteta lijepljenog spoja je parametar od izuzetne važnosti. Zbog toga, u ovome diplomskom radu postavljeni su sljedeći ciljevi:

1. Utvrditi osnovna fizikalna svojstva LLD-a, gustoću i sadržaj vode
2. Ispitati čvrstoću lijepljenog spoja na tlak.
3. Ispitati čvrstoću lijepljenog spoja na vlak.
4. Ispitati čvrstoću lijepljenog spoja na smik.
5. Ispitati čvrstoću cjelovitih lamela na savijanje.
6. Ispitati čvrstoću zupčasto spojenih lamela na savijanje.
7. Utvrditi postotak ukupne i najveće delaminacije.

Da bi se ciljevi ostvarili potrebno je istražiti fizikalna i mehanička svojstva LLD-a radi dobivanja primarnih podataka, obraditi prikupljene podatke i informacije te ih usporediti sa podacima propisanim normom. Za ispitivanje fizikalnih i mehaničkih svojstava LLD-a korištena je norma HRN EN 408 Drvene konstrukcije - Konstrukcijsko drvo i lijepljeno lamelirano drvo (engl. Timber structures - Structural timber and glued laminated timber-Determination of some physical and mechanical properties).

4. MATERIJALI I METODE

Za potrebe provedbe ispitivanja fizikalnih i mehaničkih svojstava LLD-a, u ovom poglavlju bit će opisani upotrijebljeni materijali kao i metode pomoću kojih su provedena ispitivanja. Metode ispitivanja bazirane su na europskim normama koje se koriste kao nacionalne Hrvatske norme. U ovome slučaju metoda praćenja kvalitete LLD-a je prilagođena i baziran je na normi HRN EN 408.

4.1. Materijali

Za potrebe ispitivanja odabrana su 53 ispitna uzorka LLD-a različitih dimenzije i teksture. Uzorci su izrađeni u proizvodnom procesu u tvornici Drvene konstrukcije d.o.o. Voćin, Hrvatska, prema normi HRN EN 408. Svi ispitni uzorci izrađeni su iz drva jele (lat. Abies alba Mill.) ili smreke (lat. Picea abies Karst.), selektirani i podijeljeni su u sedam kategorija prema vrsti istraživanja.

Dobiveni uzorci predstavljaju objekt istraživanja, a dobiveni rezultati biti će istovjetni za tu populaciju. Odabir uzoraka zahtjeva da standardna devijacija mjerenja svojstava objekta istraživanja mora biti u skladu sa odgovarajućom normom.

Gotovi uzorci podvrgnuti su kondicioniranju, sušenju ili vlaženju ovisno o vrsti ispitivanja, koje se provodilo u Laboratoriju za drvo u graditeljstvu (LDG) na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

4.1.1. Jela (lat. Abies alba Mill.)

Obična jela (Abies alba Mill.) je crnogorična vrsta drva, treća najrasprostranjenija šumska vrsta drva u Hrvatskoj, poslije bukve i hrasta lužnjaka. Jela je zastupljena sa 50 % u crnogoričnim šumama Hrvatske. Jela raste u visinu do 40 m, promjera može biti do 1 m, iznimno i više. Deblo je valjkasto. Krošnja je u početku čunjasta, a u starosti može biti pri vrhu ravna, kao odsječena. Drvo jelovog stabla se naziva jelovina. Drvo jele je žućkasto-bijele do crvenkasto-bijele boje, gustoće oko 450 kg/m^3, dobre čvrstoće, obradivosti i dimenzijske stabilnosti. Međutim, jelovina se teško impregnira te je slabo postojana na vanjske uvjete pa ju je potrebno površinski obraditi (Trajković, skripta).



Slika 16: Obična jela
http://en.hortipedia.com/wiki/Abies_alba

Upotrebljava se u graditeljstvu (konstrukcijsko drvo i LLD, prozori i vrata, krovišta, brodski pod i lamperija, pročelja, balkoni, terase i stubišta) te kao industrijsko drvo u proizvodnji celuloze, papira i iverice.

4.1.2. Smreka (lat. Picea abies Karst.)

Smreka je vitko i visoko stablo s ravno istaknutim granama, koje tvore krošnju piramidalnog oblika. Smrekovina je kvalitetnija od jelovine. Zbog sadržaja smole ne propada tako brzo kao jelovina.

Jelovina i smrekovina imaju slična svojstva i u praksi se ne pravi razlika između te dvije vrste drva.



Slika 17: Smreka
http://www.sveosvemu.com/upoznajmo-nase-sume-obicna-smreka-picea-abies

4.2. Metode

U sljedećim poglavljima bit će opisane primijenjene metode i redoslijed kojim su ispitivanja provedena. Ispitivanja uzoraka provedena su prema normama HRN EN 408 i HRN EN 14080. Korišteni su uzorci pravokutnog poprečnog presjeka izrađeni iz lameliranog drva debljinskim lijepljenjem cjelovitih lamela ili zupčasto spajanih lamela. Sva mjerenja obavljena su nakon kondicioniranja uzoraka.

Ispitni uzorci su postavljeni okomito između ploča univerzalnog uređaja za mehanička ispitivanja marke Shimadzu i pričvršćeni kako bi se spriječila rotacija ili kutni pomak tijekom ispitivanja. Svaki uzorak je zatim opterećen kontinuiranim pomakom kako bi do loma došlo unutar (300 ± 120) s.

4.2.1. Kondicioniranje uzoraka

Nakon označavanja i numeriranja, uzorci su podvrgnuti kondicioniranju. Kondicioniranje je trajalo 2 tjedna u kontroliranim laboratorijskim uvjetima (20 ± 2 °C i 65 ± 5 % relativne vlage zraka). Nakon 2 tjedna kondicioniranja izmjerene su dimenzije, masa, sadržaj vode i gustoća uzoraka. Uzorci su zatim ovisno o vrsti istraživanja bili izloženi ciklusima vlažne ili suhe klime.

4.2.2. Mjerenje mase, dimenzija, sadržaja vode i gustoće

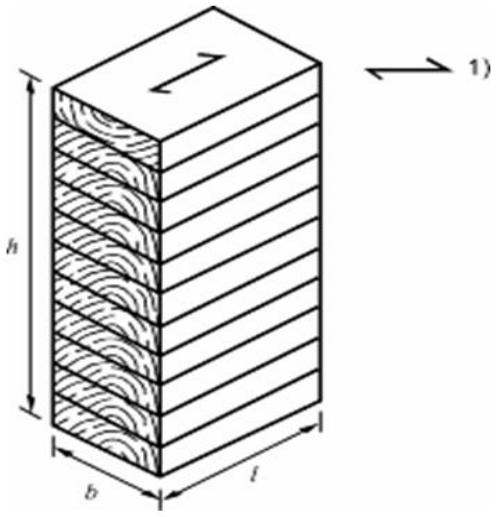
U slijedećem poglavlju će biti opisane metode kojima su mjerene masa, dimenzije uzoraka (širina, visina i dužina), sadržaj vode i gustoća.

4.2.2.1. Mjerenje mase

Masa uzoraka određena je pomoću laboratorijske vage. Kako bi dobili što preciznije rezultate, prije svakog mjerenja potrebno je vagu stabilizirati. Rezultati izmjerenih masa izraženi su u gramima. Mjerenja su izvršena na deset uzoraka podvrgnutih suhoj klimi, koja su korištena za izračunavanja gustoće drva.

4.2.2.2. Mjerenje dimenzija

Dimenzije uzoraka, širina, visina i dužina (b*h*l) mjerene su pomoću metra i iskazane su u milimetrima.



Slika 18. Uzorak LLD-a
(izvor: norma HRN EN 408)

Prema normi HRN EN 408, dimenzije ispitnih uzoraka moraju se izmjeriti s točnošću od 1 %. Dužina ispitnog uzorka mora biti 19 puta veća od debljine uzorka. Sva mjerenja treba provesti kada su ispitni uzorci dostigli konstantnu masu. Ako širina ili dužina variraju u uzorcima, te dimenzije trebaju biti evidentirane kao prosjek tri pojedinačna mjerenja uzetih iz različitih komada.

4.2.3. Utvrđivanje sadržaja vode

Sadržaj vode mjeren je elektrootpornim vlagomjerom u skladu sa normom EN 1383-2. Elektrootporni vlagomjer je najpogodniji za procjenjivanje sadržaja vode u rasponu od 7-30 % u odnosu na apsolutno suho drvo. Uređaj ima dvije standardne, nehrđajuće igle promjera 1,8 mm koje se ubodu u drvo i na temelju svojstva prolaska električne energije kroz drvo i sadržaja vode izračunava sadržaj vode u uzorku. Sadržaj vode mjeren je na dva mjesta na uzorcima približno na sredinama dužine i pri krajevima. Na svakom uzorku je nakon toga iskazana srednja vrijednost. Prosječni sadržaj vode za grupe uzoraka prilikom ispitivanja iznosio je 8,83 %.

Tablica 2. Sadržaj vode ispitivanih uzoraka

broj uzorka	vlaga %
1	8,8
2	8,4
3	8,9
4	8,9
5	9,3
6	8
7	9,3
8	9,1
9	8,7
10	8,9
srednja vrijednost	**8,83**
standardna devijacija	**0,40**
koeficijent varijacije	**4,50**

4.2.4. Određivanje gustoće

Od svih fizikalnih svojstava drva najčešće se proučava njegova gustoća, koja je značajna za određivanje uporabljivosti drva. Gustoća uzoraka procijenjena je nakon kondicioniranja uzoraka u laboratorijskim uvjetima temeljem mjerenja mase i volumena ispitnog uzorka. Korišteni su uzorci drva jele/smreke, dimenzija 800x100x40 mm (b*h*l), izrađeni prema normi HRN EN 408. Srednja vrijednost gustoće prikazana je u tablici br. 4 i iznosi 0,46 g/cm^3 što odgovara podacima iz literature.

Tablica 3. Gustoća uzoraka

broj uzorka	masa (g)	volumen (cm^3)	gustoća (g/cm^3)
1	1485,81	3200	0,464
2	1471,38	3200	0,460
3	1439,04	3200	0,450
4	1424,83	3200	0,445
5	1596,69	3200	0,499
6	1413,3	3200	0,442
7	1496,38	3200	0,468
8	1451,86	3200	0,454
9	1516,01	3200	0,474
10	1452,68	3200	0,454
		srednja vrijednost	**0,46**
		standardna devijacija	**0,02**
		koeficijent varijacije	**4,34**

4.2.5. Ispitivanje čvrstoće na tlak okomito na vlakna

Za ispitivanje čvrstoće na tlak okomito na vlakna, sukladno normi HRN EN 408 korištene su 2 grupe uzoraka, različitih dimenzija. Ispitni uzorak je postavljen okomito između ploča univerzalnog uređaja za mehanička ispitivanja i pričvršćen kako bi se spriječila rotacija ili kutni pomak tijekom ispitivanja. Uzorak je zatim opterećen kontinuiranim pomakom kako bi do loma došlo unutar (300 ± 120) s. Analizom dobivenih rezultata prosječno vrijeme loma iznosi 269,64 s što je u skladu sa normom HRN EN 408.

Tlačna čvrstoća okomito na vlakna određena je pomoću formule:

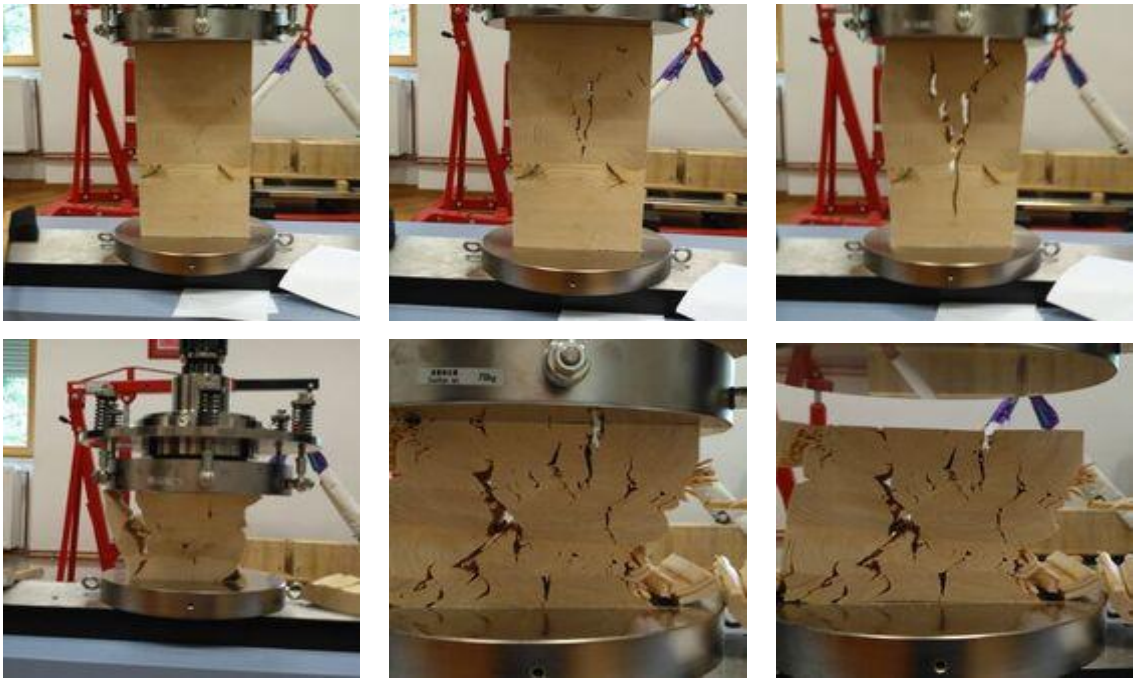
$$F_{c,90} = F_{c,90\,max} / (b * l), \ (\%)$$

Gdje je:

$F_{c,90,max}$ - maksimalna tlačna sila okomito na vlakna

b – širina uzorka (mm)

l – duljina uzorka (mm).



Slika 19. Faze ispitivanja čvrstoće na tlak

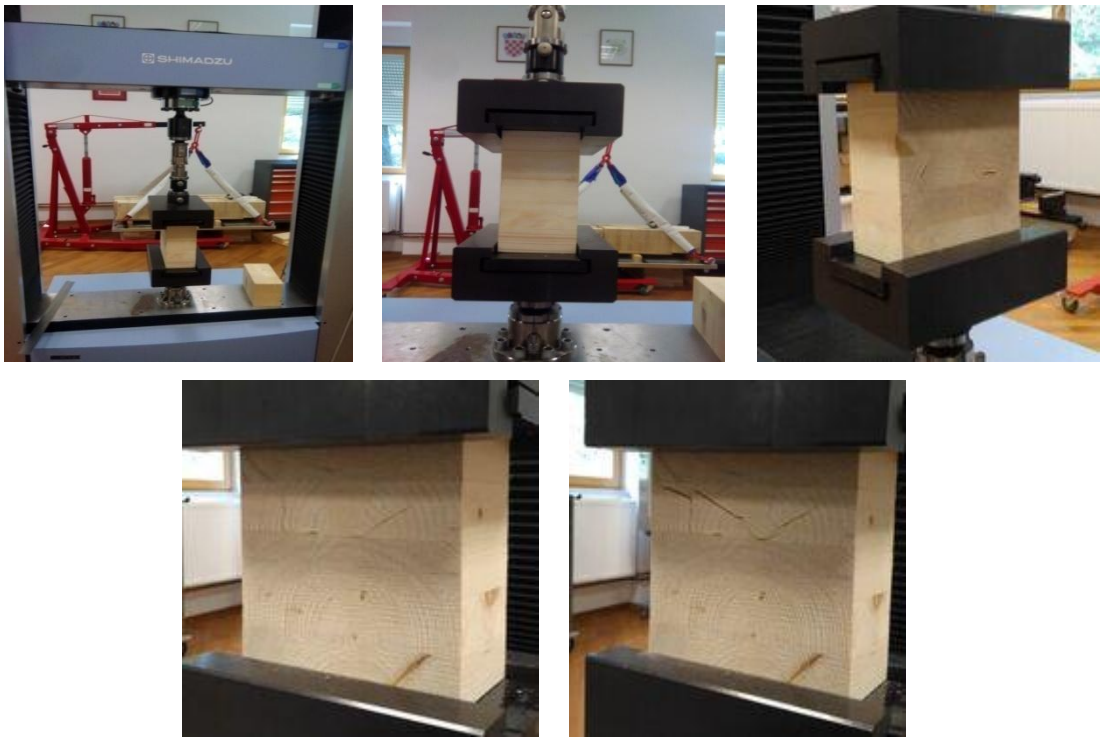
4.2.6. Ispitivanje čvrstoće na vlak okomito na vlakna

Ispitivanje čvrstoće na vlak je također provedeno prema normi HRN EN 408. Korišteno je 10 uzoraka LLD-a, dimenzija: b= 200mm, h= 200mm, l=100 mm. Ispitivanje se obavljalo u 2 faze. Prva faza obuhvaća pripremu uzoraka dok je u drugoj fazi provedeno ispitivanje čvrstoće na vlak okomito na vlakna.



Slika 20. Faze pripreme uzoraka za ispitivanje čvrstoće na vlak

U fazi pripreme, ispitni uzorci su lijepljeni taljivim ljepilom na zagrijane metalne podloge, kako bi se osigurao određeni položaj ispitnog uzorka tijekom ispitivanja. Nakon toga uzorci su podvrgnuti hlađenju i otvrdnjavanja ljepila (oko 24 h na sobnoj temperaturi).



Slika 21. Faze ispitivanja čvrstoće na vlak

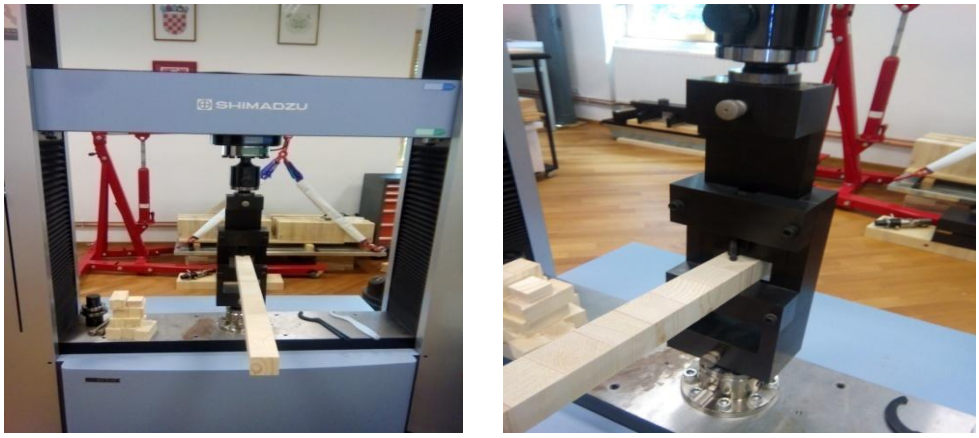
Pripremljeni ispitni uzorci zatim su podvrgnuti fazi ispitivanja. Ispitni uzorak je poprečno postavljen u čeljusti univerzalnog uređaja za mehanička ispitivanja i

učvršćen te opterećen prosječnom brzinom od 0,5 mm/min kako bi do loma došlo unutar (300 ± 120) s.

4.2.7. Ispitivanje čvrstoće na smik usporedno s vlaknima

U ovom dijelu rada provedeno je ispitivanje čvrstoće na smik usporedno s vlaknima sukladno normi HRN EN 14080, koja propisuje postupak određivanja čvrstoće na smicanje LLD-a. Uzorci su izrezani iz LLD-a na zadane dimenzije koje iznose: b= 40 mm, h= 40 mm, l = 750 mm. Uzorci su kondicionirani do 20 ± 2 °C i 65 ± 5 % relativne vlage zraka. Brzina ispitivanja iznosila je 3 mm/min.

Za ovu vrstu ispitivanja korištene su 4 ispitne pruge sa po 19 sljubnica koje su zbog boljeg ispitivanja slijepljenog spoja i mjesta iniciranja loma kod ispitivanja označene markerom. Označeno je ukupno 76 sljubnica. Nakon toga ispitni uzorak je pričvršćen na uređaj za mehanička ispitivanja i podvrgnut smičnom opterećenju do nastanka loma.



Slika 22. Ispitivanje čvrstoće na smik

4.2.8. Ispitivanje čvrstoće na savijanje

Kvaliteta dužinski lijepljenih spojeva u LLD-u praćena je kroz čvrstoću savijanja cjelovitih lamela i lamela spojenih zupčastim spojem. Ispitano je 10 uzoraka cjelovitih lamela i 10 uzoraka lamela spojenih zupčastim spojem, kako bi se utvrdilo da su lijepljeni lamelirani elementi iz proizvodnje izrađeni u klasi kvalitete koja je propisana normom HRN EN 408.

4.2.8.1. Savijanje cjelovitih lamela

Ispitivanje čvrstoće na savijanje LLD-a izvedeno je na univerzalnom uređaju za mehanička ispitivanja prema normi HRN EN 408. Dimenzije ispitnog uzorka iznosile su 40x110x750 mm. Korišteno je 10 uzoraka punog poprečnog presjeka, četverostrano blanjanih. Uzorci su kondicionirani do 20 ± 2 °C i 65 ± 5 % relativne vlage zraka. Uzorci su podvrgnuti ispitivanju na savijanje u 4 točke. Brzina pomaka iznosila je 3 mm/min.

4.2.8.2. Savijanje zupčasto spojenih lamela

Dužinsko spajanje zupcima najčešće se koristi u proizvodnji LLD-a. Za ovu vrstu spoja najznačajnija je čvrstoća lijepljenog spoja ili čvrstoća loma koja se utvrđuje savijanjem. Elemente zupčastog spoja koje smo ispitali bili su dimenzije 750x110x40 mm. Pripremljeni uzorci su izrađeni od drva jele/smreke i slijepljeni odgovarajućim dvokomponentnim ljepilom. Za ispitivanje čvrstoće na savijanje zupčasto spojenih lamela upotrijebljeno je 10 uzoraka. Uzorci su ispitani po normi HRN EN 408 na univerzalnom uređaju za mehanička ispitivanja u 4 točke. Brzina ispitivanja iznosila je 3 mm/min.

4.2.9. Delaminacija

Mjerenje ukupne i najveće delaminacije LLD-a provedeno je sukladno normi HRN EN 14080. Za potrebe ovog ispitivanja, korišteno je 14 uzoraka koji su podijeljeni u dvije grupe. Prva grupa sastojala se od 7 većih uzoraka dimenzija 770x80x60 mm, dok je druga grupa sadržavala 7 manjih uzoraka dimenzija 760x75x60 mm.

Nakon kondicioniranja u sobnim uvjetima od 2 tjedna, uzorci su impregnirani vodom u impregnacijskoj komori. Sam proces impregnacije odvijao se na sobnoj temperaturi (okvirno 20 °C). Za impregnaciju je korišten vakuum od -0,8 bara u trajanju od 30 minuta, a zatim tijekom sljedećih 120 minuta tlak od 5,5 bara. Nakon impregnacije uzorci su podvrgnuti sušenju u sušioniku sljedeća 24 sata, a zatim je pomoću laboratorijske vage određena masa uzoraka. Masa za veće uzorke iznosila je 2840 g + 10%, a za manje uzorke 1680 g + 10%. Maksimalno 1 sat nakon sušenja, na poprečnom presjeku uzorka s obje strane izmjerena je duljina delaminacije u mm.



Slika 23. Mjerenje delaminacije

Prema navedenim uputama iz norme HRN EN 14080 delaminacija je ustanovljena mjernim listićem 0,08 mm koji je umetnut u pukotinu uzorka. Duljina pukotine kroz koju prolazi mjerni listić označena je kao delaminacija i izmjerena je pomoću metra.

Udio ukupne delaminacije određen je pomoću formule:

$$\textbf{Delam}_{tot} = 100\ (l_{tot,\ delam} / l_{tot,\ glue\ line})\quad (\%)$$

Gdje je:

$l_{tot,\ delam}$ – ukupna duljina delaminacije (mm)

$l_{tot,\ glue\ line}$ – ukupna duljina svih sljubnica (mm)

Najveća pojedinačna delaminacija određena je pomoću formule:

$$\textbf{Delam}_{max} = 100\ (l_{max,\ delam} /\ 2 * l_{glue\ line})\ (\%)$$

Gdje je:

$l_{max,\ delam}$ – najveća duljina delaminacije (mm)

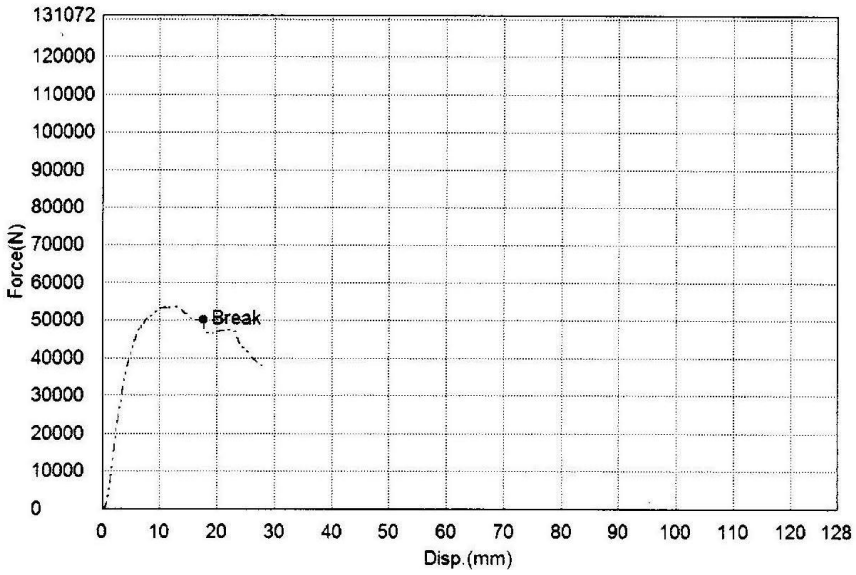
$l_{glue\ line}$ – duljina sljubnica (mm)

5. REZULTATI ISPITIVANJA I DISKUSIJA

Nakon pripreme uzoraka i ispitivanja fizikalnih svojstava slijede ispitivanja najvažnijih mehaničkih svojstava. Od fizikalnih svojstava određena je gustoća drva i sadržaj vode. Zatim su ispitivana mehanička svojstva, poglavito čvrstoća LLD-a. Ispitivana su tlačna i vlačna čvrstoća, čvrstoća na smik, savojna čvrstoća cjelovitih lamela i zupčasto spojenih lamela, te postotak raslojavanja odnosno delaminacije.

5.1. Rezultati čvrstoće na tlak okomito na vlakna

Rezultati ispitivanja čvrstoće na tlak okomito na vlakna lameliranih elemenata prikazani su i obrađeni u tablici 4. Prosječna čvrstoća na tlak ispitivanih uzoraka dimenzija 200x200x100 mm (b*h*l) iznosi prosječno 2,52 N/mm^2, a uzoraka 200x400x100 mm iznosi prosječno 4,43 N/mm^2. Dobiveni rezultati pokazuju kako ispitani uzorci zadovoljavaju minimalne zahtjeve čvrstoće na tlak okomito na vlakna za klasu GL24k od 2,4 N/mm^2.



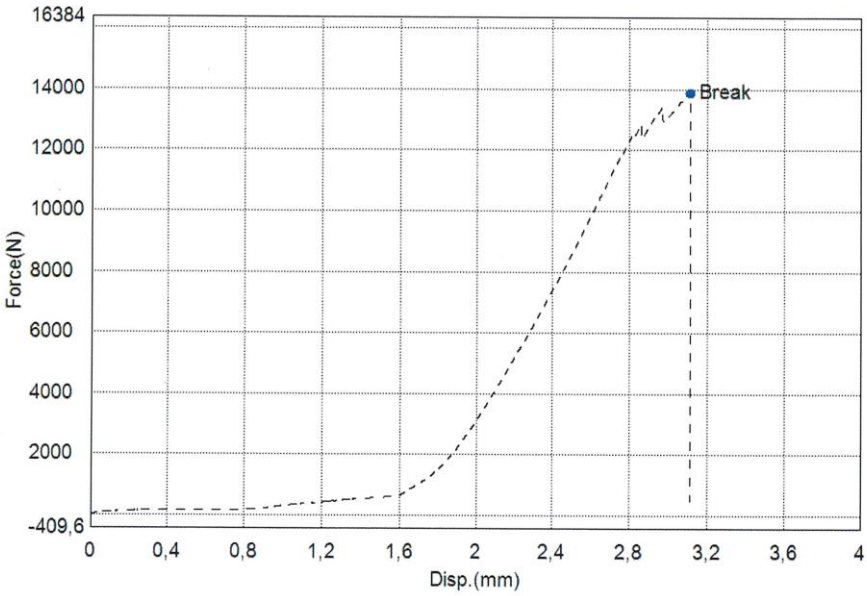
Slika 24. Tipičan grafički rezultata ispitivanja čvrstoće na tlak

Iz rezultata je također vidljivo da čvrstoća na tlak bitno ovisi o dimenzijama uzoraka. Uzorci većih dimenzija imaju veću čvrstoću na tlak dok je kod manjih uzoraka čvrstoća znatno manja.

Tablica 4. Rezultati ispitivanja čvrstoće na tlak

EN 408		**čvrstoća na tlak**	brzina 8 mm/min	
Name	**Break_Force**	**Break_Stress**	**Break_Stroke Strain**	**Break_Time**
Unit	**N**	**N/mm^2**	**%**	**sec**
1 _ 1	79036,00	3,95	15,64	234,60
1 _ 2	88595,10	4,43	21,65	324,74
1 _ 3	85236,90	4,26	24,59	368,92
1 _ 4	75904,30	3,80	18,23	273,51
1 _ 5	77979,70	3,90	3,15	47,31
1 _ 6	83857,60	4,19	19,49	292,44
1 _ 7	76354,90	3,82	28,22	423,39
1 _ 8	83113,20	4,16	21,93	328,93
1 _ 9	50348,50	2,52	8,86	132,92
srednja vrijednost	**77825,13**	**3,89**	**17,97**	**269,64**
standardna devijacija	**11166,85**	**0,56**	**7,81**	**117,22**
koeficijent varijacije	**14,35**	**14,35**	**43,48**	**43,47**

5.2. Rezultati čvrstoće na vlak okomito na vlakna



Slika 25. Tipičan grafički prikaz ispitivanja čvrstoće na vlak

Tablica 5. Rezultati ispitivanja čvrstoće na vlak

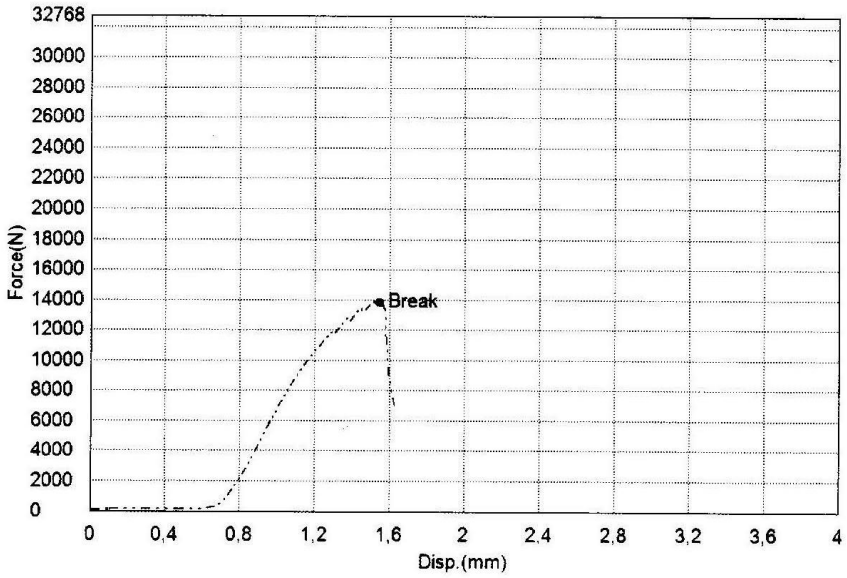
EN 408	**čvrstoća na vlak**		brzina 0,5 mm/min
Name	**Break_Force**	**Break_Disp**	**Break_Time**
Unit	**N**	**mm**	**sec**
1 _ 3	6714,23	1,76723	212,1
1 _ 6	13898,7	3,11148	373,41
srednja vrijednost	**10306,47**	**2,44**	**292,76**
standardna devijacija	**5080,19**	**0,951**	**114,06**
koeficijent varijacije	**49,29**	**38,97**	**38,96**

Kod ispitivanja čvrstoće na vlak velik broj uzoraka rezultirao je lomom unutar taljivog ljepila tako da su dobivena samo dva valjana rezultata. Temeljem ovako malog broja valjanih rezultata teško je izvoditi valjane zaključke, međutim utvrđena prosječna čvrstoća na vlak iznosi 0,52 N/mm^2 pokazuje kako ispitani uzorci zadovoljavaju minimalne zahtjeve čvrstoće na vlak okomito na vlakanca za klasu GL24k od 0,35 N/mm^2.

5.3. Rezultati čvrstoće na smik usporedno s vlaknima

Rezultati ispitivanja čvrstoće na smik lameliranih elemenata prikazani su i obrađeni u tablici 6. Iz tablice su također vidljivi parametri ispitivanja: sila, tlak, postotak i vrijeme loma. Vizualnim pregledom uzoraka uočeno je da do loma dolazi u većini slučajeva u drvu a manje u sljubnici što ukazuje na visoku kvalitetu lijepljenog spoja. Do loma u drvu najčešće dolazi zbog nehomogenosti drva kao materijala i zato se paralelno prate čvrstoća smicanja i postotka loma po drvu.

Norma propisuje da lom treba nastati nakon minimalno 20 s djelovanja konstantnog pomaka i taj kriterij je zadovoljen što je vidljivo iz rezultata. U slučaju udjela loma po drvu većeg od 90% što ovdje i jest slučaj, minimalna zahtijevana čvrstoća na smik prema HRN EN 14080 iznosi 6 N/mm^2. Rezultati ispitivanja ukazuju na odgovarajuću kvalitetu lijepljenja.



Slika 26. Tipičan grafički prikaz rezultata ispitivanja čvrstoće na smik

Tablica 6. Rezultati ispitivanja čvrstoće na smik

čvrstoća na smik				
Name	**Break_Force**	**Break_Stress**	**Break_Stroke Strain**	**Break_Time**
Unit	**N**	**N/mm^2**	**%**	**sec**
D 1.1. _ 1	9722,60	5,81	2,10	16,86
1 _ 2	18747,20	11,19	4,63	37,08
1 _ 3	13730,00	8,20	4,92	39,43
1 _ 4	18287,30	10,93	4,44	35,55
srednja vrijednost	**15121,78**	**9,03**	**4,02**	**32,23**
standardna devijacija	**4252,54**	**2,53**	**1,30**	**10,37**
koeficijent varijacije	**28,12**	**28,10**	**32,21**	**32,18**

5.4. Ispitivanje čvrstoće na savijanje

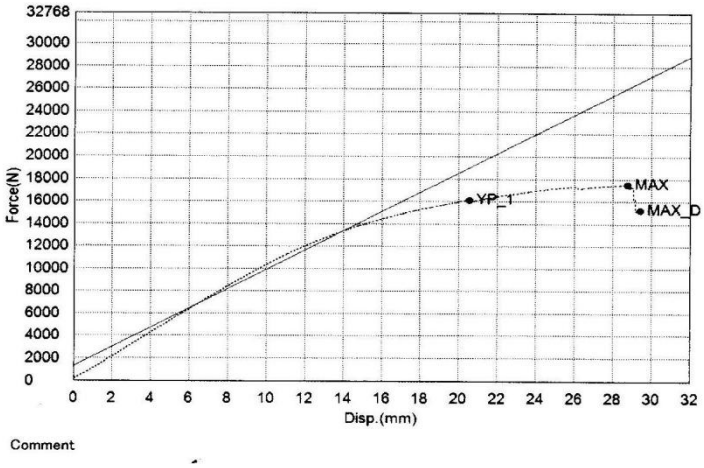
Kvaliteta dužinski lijepljenih spojeva u LLD-u praćena je kroz čvrstoću savijanja cjelovitih lamela i lamela spojenih zupčastim spojem. Ispitano je 10 uzoraka cjelovitih lamela i 10 uzoraka lamela spojenih zupčastim spojem, kako bi se utvrdilo da su lijepljeni lamelirani elementi iz proizvodnje izrađeni u klasi kvalitete koja je propisana normom HRN EN 408.

5.4.1. Savijanje cjelovitih lamela

Tablica 7. prikazuje rezultate ispitivanja savojne čvrstoće cjelovitih lamela. Pregledom uzoraka je ustanovljeno da do loma dolazi u većini slučajeva u drvu a manje u sljubnici što ukazuje na visoku kvalitetu slijepljenog spoja. Rezultati ispitivanja ukazuju da je kvaliteta lijepljenja cjelovitih lamela zadovoljavajuća i u skladu sa zahtjevima klase GL24k.

Tablica 7. Rezultati ispitivanja cjelovitih lamela na savijanje

savijanje cjelovitih lamela				
Name	**Max_Force**	**Max_Stroke**	**Max_Time**	**Bending strength**
Unit	**N**	**mm**	**sec**	**N/mm^2**
1 _ 1	13778,00	18,01	360,18	20,50
1 _ 2	16043,40	26,59	531,77	23,87
1 _ 3	17531,50	28,80	576,12	26,08
1 _ 4	13590,40	25,11	502,22	20,22
1 _ 5	12869,70	14,68	293,65	19,15
1 _ 6	15358,40	18,20	364,03	22,85
1 _ 7	13594,90	15,65	313,12	20,22
1 _ 8	14299,50	19,67	393,45	21,27
1 _ 9	9930,40	15,07	301,40	14,77
1 _ 10	10514,70	17,16	343,21	15,64
srednja vrijednost	**13751,09**	**19,89**	**397,92**	**20,46**
standardna devijacija	**2317,33**	**5,10**	**101,93**	**3,45**
koeficijent varijacije	**16,85**	**25,62**	**25,62**	**16,85**



Slika 27. Tipičan grafički prikaz ispitivanja čvrstoće na savijanje cjelovitih lamela

5.4.2. Savijanje zupčasto spojenih lamela

Dužinsko spajanje zupcima najčešće se koristi u proizvodnji LLD-a. Za ovu vrstu spoja najznačajnija je čvrstoća lijepljenog spoja ili čvrstoća loma koja se utvrđuje savijanjem.

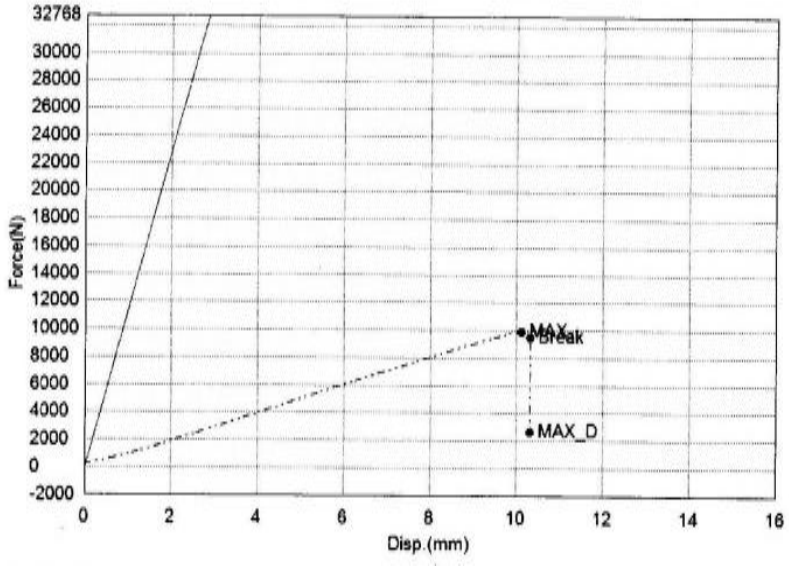
Elemente zupčastog spoja koje smo ispitali bili su dimenzije 750x110x40 mm. Pripremljeni uzorci su izrađeni od drva jele/smreke i slijepljeni odgovarajućim dvokomponentnim ljepilom. Za ispitivanje čvrstoće na savijanje zupčasto spojenih lamela upotrijebljeno je 10 uzoraka. Uzorci su ispitani po normi HRN EN 408 na univerzalnom uređaju za mehanička ispitivanja u 4 točke. Brzina ispitivanja iznosila je 3 mm/min.

Kod analize, svaki spoj koji se ispituje potrebno je analizirati s gledišta postignute čvrstoće ali i s gledišta kretanja loma. Lom se može pojaviti u liniji ljepila, u drvu ili na liniji njihova dodira odnosno u međusloju. U ovom ispitivanju lom se kod većine proba dogodio u drvu što upućuje na zaključak da na lom ne utječe zupčasti spoj već kvaliteta drva.

Na temelju provedenih ispitivanja utvrđeno je da zupčasto spojene lamele imaju ~20 % manju čvrstoću na savijanje (15,75 N/mm^2) u odnosu na cjelovite lamele (20,46 N/mm^2).



Slika 28. Izgled zupčastog spoja nakon ispitivanja



Slika 29. Tipičan grafički prikaz ispitivanja čvrstoće na savijanje zupčasto spojenih lamela

Tablica 8. Rezultati ispitivanja čvrstoće na savijanje zupčastog spoja

savijanje zupčasto spojenih lamela				
Name	**Max_Force**	**Max_Stroke**	**Max_Time**	**Bending strangth**
Unit	**N**	**mm**	**sec**	**N/mm^2**
1 _ 1	12084,00	11,10	222,05	17,98
1 _ 2	11799,20	11,39	227,78	17,55
1 _ 3	8406,47	10,36	207,26	12,51
1 _ 4	10702,50	13,31	266,22	15,92
1 _ 5	10065,80	11,70	234,09	14,97
1 _ 6	11380,00	11,03	220,73	16,93
1 _ 7	9371,27	10,90	218,07	13,94
1 _ 8	10559,00	9,23	184,71	15,71
1 _ 9	11580,80	10,54	210,93	17,23
1 _ 10	9959,11	10,12	202,44	14,82
srednja vrijednost	**10590,82**	**10,97**	**219,43**	**15,75**
standardna devijacija	**1166,17**	**1,08**	**21,60**	**1,74**
koeficijent varijacije	**11,01**	**9,84**	**9,84**	**11,01**

5.5. Delaminacija

Delaminacija sljubnice tj. otvaranje sljubnice na lameliranom elementu posljedica je nepoštovanja uvjeta i postupka lijepljenja odnosno nekvalitetna izvedba pojedinih faza obrade. Položaj godova između elemenata u lameli trebao bi biti simetričan, tj.

pravilno izmjeničan (Turkulin i Ljuljka,1989). Delaminacija se može pojaviti odmah nakon završetka procesa lijepljenja, ali i kasnije kao prikrivena greška kada je lamelirani element već ugrađen u finalni proizvod.

Prema normi HRN EN 14080 (Annex C), delaminacijom se smatra:

- kohezijski lom unutar ljepila
- pukotine na sljubnici između ljepila i drva
- lom unutar drva koji je 1-2 reda stanica od sljubnice.

Prema gore navedenoj normi delaminacijom se ne smatra:

- lom u drvu udaljen od 2 reda stanica
- pukotine u sljubnici, kvržice od 2,5 mm i bliže od 5 mm od delaminacije
- otvori u blizini kvrga i smolnih kanala,

Tablica 9. Rezultati ukupne delaminacije

ukupna delaminacija			
broj uzorka	**ukupna duljina delaminacije (mm)**	**ukupna duljina svih sljubnica (mm)**	**udio delaminacije (%)**
1	35	2700	1,30
2	136	2700	5,04
3	78	2700	2,89
4	67	2700	2,48
5	70	2700	2,59
6	112	2700	4,15
7	228	2700	8,44
8	89	2700	3,30
9	66	2700	2,44
10	305	2700	11,30
11	31	2700	1,15
12	65	2700	2,41
13	142	2700	5,26
14	46	2700	1,70
		srednja vrijednost	**3,89**
		standardna devijacija	**2,87**
		koeficijent varijacije	**73,84**

Mjereno prema normi EN 14080, najveća ukupna dozvoljena delaminacija iznosi 4 %. Iz tablice 9. vidljivo je da ispitni uzorak zadovoljava kriterije norme. Najveća pojedinačna delaminacija je prosječno ispod zadanih 30% (tablica 10).

Tablica 10. Rezultati najveće delaminacije

najveća pojedinačna delaminacija			
broj uzorka	**najveća duljina delaminacije (mm)**	**duljina sljubnice (mm)**	**udio delaminacije (%)**
1	15	75	10,00
2	76	75	50,67
3	40	75	26,67
4	16	75	10,67
5	16	75	10,67
6	25	75	16,67
7	37	75	24,67
8	32	75	21,33
9	20	75	13,33
10	55	75	36,67
11	13	75	8,67
12	18	75	12,00
13	77	75	51,33
14	13	75	8,67
		srednja vrijednost	**21,57**
		standardna devijacija	**14,89**
		koeficijent varijacije	**69,05**

6. ZAKLJUČAK

U radu su ispitana sva važnija fizikalna i mehanička svojstva LLD-a kako bi se utvrdila njegova kvaliteta koja je definirana normom HRN EN 408 i HRN EN 14080 lijepljeno lamelirano drvo.

Na temelju provedenih ispitivanja i dobivenih rezultata možemo zaključiti slijedeće:

1. Poznavanje ponašanja LLD-a pod opterećenjem od izuzetne je važnosti za njegovu primjenu pri projektiranju, proizvodnji a može pridonijeti poboljšanju njegove kvalitete a time i proširenju njegove upotrebe.

2. Sve drvne konstrukcije kao i ostali proizvodi od drva koji se upotrebljavaju u graditeljstvu moraju udovoljiti propisanim normama.

3. LLD se najčešće proizvodi od drva jele i smreke zbog male mase, dobre čvrstoće, dobre obradivosti i dimenzijske stabilnosti.

4. Ekstremni uvjeti u upotrebi poput intenzivnog vlaženja i sušenja koje se simulira ispitivanjem delaminacije mogu utjecati na postojanost lijepljenog spoja. Ipak, uzorci ispitani u ovom radu pokazuju minimalnu delaminaciju nakon ciklusa vlaženja i sušenja prema EN 14080.

5. Čvrstoća lijepljenog spoja na smik je značajno bolja od minimalno postavljenih kriterija prema EN 14080.

6. Čvrstoća zupčastog spoja na savijanje je 20% niža od čvrstoće cjelovitih lamela.

7. Uzorci ispitani u okviru ovoga rada zadovoljavaju zahtjeve relevantnih normi.

Literatura:

1. Antonović, A. (2007): Kemija drva, skripta

2. Horvat I., Krpan J. (1967): Drvnoindustrijski priručnik. Tehnička knjiga, Zagreb

3. Horvat I. i suradnici (1985): Osnove nauke o drvu. Šumarski fakultet Zagreb,

4. HRN EN 408 (2012): Drvene konstrukcije – Konstrukcijsko drvo i lijepljeno lamelirano drvo - Određivanje fizikalnih i mehaničkih svojstava.

5. HRN EN 14080 (2013): Drvene konstrukcije - Lijepljeno lamelirano drvo i lijepljeno cjelovito drvo - Zahtjevi

6. Pervan, S. (2000): Priručnik za tehničko sušenje drva. Sand, Zagreb

7. Šumarska enciklopedija (1980): Jugoslavenski leksikografski zavod, Zagreb.

8. Tomašević J. (1997): Drvo u podnim konstrukcijama: načela ugradnje. Vlastita naklada, Zagreb

9. Trajković J., Anatomija drva, skripta

10.Turkulin, H., Ljuljka, B. (1989): Lamelirana građevinska stolarija, znanstvena studija, Zagreb.

Internetski izvori:

1. www.drvene-konstrukcije.hr
2. http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/
3. http://en.hortipedia.com/wiki/Abies_alba
4. http://www.sveosvemu.com/upoznajmo-nase-sume-obicna-smreka-picea-abies

Popis slika:

Slika 1. Jažica (Pervan, 2000)

Slika 2. Rešetkasti nosači od LLD-a. Raspon konstrukcije 36,50 m
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

Slika 3. Ergela lipicanaca Đakovo. Trozglobni okvir, raspon 37,60 m.
Stupovi - čelik, grede - LLD. http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

Slika 4. Turistički objekt u Rabcu - konstrukcija u obliku vala
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

Slika 5. Ravno lamelirano drvo
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

Slika 6. Lučno lamelirano drvo
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

Slika 7. Demontaža izgorenog lameliranog nosača
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

Slika 8. Lamelirani nosač izgubio 4 cm nakon požara
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

Slika 9. Farma muzenih krava - trozglobni okvir raspona 26,80 m.
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

Slika 10. Bazeni u Vinkovcima. Kontinuirana greda raspona 22,50+12,00 m
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

Slika 11. Sušionica i upravljačka jedinica
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

Slika 12. Izgled zubaca
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

Slika 13. Zupčasti spoj
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

Slika 14. Nanošenje ljepila
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

Slika 15. Postolje za pritezanje lamela
http://drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-lld/

Slika 16: Obična jela
http://en.hortipedia.com/wiki/Abies_alba

Slika 17: Smreka
http://www.sveosvemu.com/upoznajmo-nase-sume-obicna-smreka-picea-abies

Slika 18. Uzorak LLD-a

(izvor: norma HRN EN 408)

Slika 19. Faze ispitivanja čvrstoće na tlak

Slika 20. Faze pripreme uzoraka za ispitivanje čvrstoće na vlak

Slika 21. Faze ispitivanja čvrstoće na vlak

Slika 22. Ispitivanje čvrstoće na smik

Slika 23. Mjerenje delaminacije

Slika 24.Tipičan grafički rezultata ispitivanja čvrstoće na tlak

Slika 25. Tipičan grafički prikaz ispitivanja čvrstoće na vlak

Slika 26. Tipičan grafički prikaz rezultata ispitivanja čvrstoće na smik

Slika 27. Tipičan grafički prikaz ispitivanja čvrstoće na savijanje cjelovitih lamela

Slika 28. Izgled zupčastog spoja nakon ispitivanja

Slika 29. Tipičan grafički prikaz ispitivanja čvrstoće na savijanje zupčasto spojenih lamela

Popis tablica:

Tablica 1. Osnovna podjela kemijskog sastava drva (Antonović, 2007)

Tablica 2. Sadržaj vode ispitivanih uzoraka

Tablica 3. Gustoća uzoraka

Tablica 4. Rezultati ispitivanja čvrstoće na tlak

Tablica 5. Rezultati ispitivanja čvrstoće na vlak

Tablica 6. Rezultati ispitivanja čvrstoće na smik

Tablica 7. Rezultati ispitivanja cjelovitih lamela na savijanje

Tablica 8. Rezultati ispitivanja čvrstoće na savijanje zupčastog spoja

Tablica 9. Rezultati ukupne delaminacije

Tablica 10. Rezultati najveće delaminacije