

LJEPLJENJE LAMELIRANIH ELEMENATA ZA PROIZVODNJU GRAĐEVINSKE STOLARIJE

GLUE LAMINATED ELEMENTS FOR WOOD JOINERY

Natko Bašić, Elvir Kulenović, Elvis Hozdić

Prethodno priopćenje

Sažetak: U želji da se poveća stupanj iskorištenja drveta (kako kvalitativno tako i kvantitativno), razvile su se razne tehnike i tehnologije lijepljenja drva. Lijepljene drvene poluproizvode prepoznajemo na tržištu pod nazivom "engineering wood" i u grubljoj ih klasifikaciji možemo smatrati kompozitnim materijalom. Takav su proizvod i lamelirani elementi za proizvodnju građevinske stolarije, a proizvode se dužinskim i debljinskim lijepljenjem drveta i mogu uspješno zamijeniti elemente od masivnog drveta. Lamelirani elementi imaju i neke prednosti u odnosu na elemente od masivnog drveta, to su smanjenje deformacija i racionalnija upotreba drveta. Za proizvodnju građevinske stolarije najčešće se koriste lamelirani elementi izrađeni od tri lamele. Za ocjenu kvalitete lijepljenja lameliranih elemenata potrebno je provoditi temeljita ispitivanja čvrstoća lijepljenih spojeva, i to kontinuirano, radi potvrde pravilnog izbora ljepila i režima lijepljenja. Na taj je način opravdana zamjena masivnog drveta lameliranim elementima i osigurano jamstvo kvalitete.

Cljučne riječi: čvrstoća lijepljenja, dužinsko spajanje, kompozitni materijal, kvaliteta lameliranog elementa,

Preliminary notes

Abstract: In order to increase the efficiency of wood (both qualitatively and quantitatively), a variety of techniques and technologies of wood gluing have been developed. Glued semi-manufactured timber is recognized in the market as "engineering wood". In a rougher classification, it can be considered as a composite material. Laminated elements for the production of joinery are such a product – they are produced by lengthwise and diameter wood gluing and can successfully replace elements of solid wood. Laminated elements have some advantages over the elements of solid wood – they are reducing strain and use wood more rationally. Laminated elements made of three panels are commonly used for the production of joinery. For evaluating the quality of adhesive laminated elements it is necessary to conduct a thorough and continuous testing of bonded joints' strength to confirm the correct choice of adhesive and bonding regime. In this way, laminated elements make a justifiable substitute for solid wood and a quality guarantee is provided.

Key words: adhesive strength, lengthwise bonding, composite materials, laminated element quality

1. UVOD

Kapacitet proizvodnje ne definira kvalitetu lameliranih elemenata. Ocjena kvalitete uglavnom se svodi na vizualni izgled lamela, odnosno estetski izgled vanjskih lamela, kao i uočavanje delaminacije sljubnice. Upotrijebljeno ljepilo, odnosno njegov certifikat prema normama EN204/EN205 praktično je jedina potvrda odnosno zaštita kupca (proizvođača lamela odnosno kupca gotovih lamela). Ljepilo nije jedini faktor koji utječe na kvalitetu lameliranih elemenata, jer kvaliteta elemenata ovisi i o izboru optimalnih parametara procesa proizvodnje te o ispravnom vođenju tog procesa.

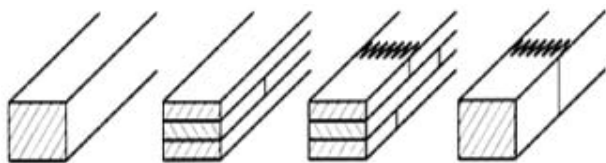
Delaminacija sljubnice (otvaranje sljubnice) na lameliranom elementu posljedica je nepoštovanja uvjeta i postupka lijepljenja odnosno nekvalitetna izvedba pojedinih faza obrade. Delaminacija se može pojaviti odmah nakon završetka procesa lijepljenja, ali i kasnije

kao prikrivena greška kada je lamelirani element već ugrađen u finalni proizvod [1].

Na slici 1. prikazane su različite vrste elemenata za izradu profila na elementima građevinske stolarije:

- element iz masivnog drveta,
- lijepljeni element, gdje su vanjske lamele izrađene iz jednog komada dok je središnja lamela dužinski spajana,
- lijepljeni element, gdje su i vanjske i unutarnje lamele dužinski spajane i dužinski spajan element.

Najčešći oblik lameliranog elementa prikazana je na slici 1. i njegova bi se kvaliteta osim vizualnom i dimenzionalnom provjerom trebala odrediti i provjerom čvrstoće na savijanje za dužinske spojeve, odnosno ispitivanjem čvrstoće lijepljenih spojeva na smicanje za debljinske spojeve.



Slika 1. Vrste elemenata za izradu prozorskih profila [2]

Konstrukcija lameliranih elemenata umanjuje promjene oblika (deformacije elemenata koje mogu nastati kao posljedica nehomogenosti i anizotropnosti drveta), ali se povećava i iskorištenje drveta. Pri tome lamelirani elementi imaju istu ili veću čvrstoću i krutost nego elementi od masivnog drveta [1].

U konstrukcijskom smislu lijepljeni elementi, (uobičajeni je naziv lamelirani elementi) pripadaju grupi dužinski i debljinski lijepljenog drveta pri čemu se dobivaju obradci potrebnih dimenzija. Lamelirani elementi služe za izradu prozora i najčešće se rade od tri lamele te se na taj način postižu ove dodatne prednosti: mogućnost izrade elemenata velikog poprečnog presjeka, sortiranjem lamela odvajamo unutrašnje od vanjskih pa tako koristimo materijal lošije kvalitete za unutrašnje lamele, lamelirani elementi imaju bolja mehanička svojstva nego masivno drvo, povećanje dimenzionalne i geometrijske stabilnosti, pojedinačne lamele se bolje i lakše se suše. Time se omogućava ispunjavanje potrebnih zahtjeva za kvalitetom lameliranih elemenata za izradu građevinske stolarije, ali i za boljim korištenjem drveta.

Optimalne parametare procesa obrade moguće je postići na tri načina i to: preporukom proizvođača opreme, na bazi iskustva proizvođača lameliranih elemenata ili u suradnji sa stručnim organizacijama (fakulteti, instituti, laboratoriji) [1].

2. ELEMENTI KOJI UTJEČU NA KVALITET LAMELIRANOG ELEMENTA

Sa stanovišta kvalitete lameliranog elementa prilikom izrade treba obratiti pažnju na tri faktora [3]:

- Ljepilo i kvaliteta lijepljenja,
- interakcije drveta i ljepila,
- obradu elemenata od drveta na strojevima.

2.1. Ljepilo i kvaliteta ljepila

Ljepila su materijali koji u određenim uvjetima bilo zbog kemijske reakcije, bilo zbog utjecaja temperature u smislu zagrijavanja i hlađenja imaju svojstvo otvrdnjavanja i međusobnog čvrstog povezivanja jednakih ili različitih materijala.

Osnovni dio svakog ljepila je vezivo koje može biti životinjskog, mineralnog i sintetičkog podrijetla. Osim veziva, kao komponente ljepila dolaze razrjeđivači, plastifikatori, punila i otvrdivači [2].

S obzirom na uvjete koje će lamelirani elementi imati u tijeku upotrebe (mogućnosti povećane vlažnosti i povećane temperature ta njihove cikličke promjene), kvaliteta lijepljenja izuzetno je važna. Postoje četiri klase otpornosti (od D1 do D4) koje su definirane u EN 204

„Klasifikacija termoplastičnih adheziva za drvo za ne noseće građevinske konstrukcije”. Prikaz primjene ljepila sa stanovišta otpornosti dat je u tabeli br.1

Ljepila za drvo uvijek klasificiramo prema porijeklu, kemijskom sastavu, načinu primjene, načinu vezanja, svojstvima i slično. Međutim, najbolji i jednostavniji uvid daje podjela prema porijeklu i kemijskim svojstvima. Prema porijeklu, ljepila se dijele na skupine prirodnih (ljepila na osnovi bjelančevina, ljepila na osnovi polisaharida, asfaltna ljepila, vodeno staklo) i sintetičkih ljepila (polikondenzacijska ljepila, polimerizacijska ljepila i ljepila poliadiacijskih produkata) [2].

Prema načinu prerade i pripreme, ljepila se razlikuju prema načinu vezivanja:

- ona koja vežu na hladno (15 - 25°C),
- na toplo (50 - 80°C) i
- na vruće (80 - 160°C).

Ljepila se prema primjeni u drvojoj industriji dijele na:

- ljepila za spajanje masivnih drvnih dijelova i montažu,
- ljepila za proizvodnju i verice,
- ljepila za proizvodnju vlaknatica,
- ljepila za proizvodnju laminata,
- ljepila za proizvodnju lameliranih građevinskih nosača,
- ljepila za lijepljenje laminata, folija i dr.

Tabela 1. Prikaz mjesta primjene ljepila sa stanovišta otpornosti [1]

Skupina	Uvjeti	Primjeri uporabe
D1	Lijepljenje koje je stabilno pod unutarnjim uvjetima s prosječno niskom vlažnošću nije direktno izloženo vanjskim uvjetima	Unutrašnji namještaj i tesarski radovi u suhim uvjetima (primjer: dijelovi namještaja i površinska obrada)
D2	Lijepljenje koje je stabilno pod unutrašnjim uvjetima s visokom i promjenjivom vlažnošću i povremenim izlaganjima vode	Aplikacije kao za skupinu D1, ali u kuhinjama, kupaonicama i drugim mjestima s visokom vlagom
D3	Lijepljenje koje može biti izloženo utjecajima vlažnih klimatskih uvjeta	Konstrukcije od vanjskih drvenih proizvoda (vanjska vrata i prozori) i unutarnje upotrebe s većim izlaganjem atmosferskoj vlazi i vodi (kuhinska radna gornja ploha)
D4	Koristi se kao za skupinu D3s otporom na dugotrajno spajanje s efektima vode i atmosferskim uvjetima	Drveni dijelovi za vanjsku upotrebu naročito izloženi nepovoljnim klimatskim uvjetima (obojeni ili lakirani prozori, vanjske obloge) i također za unutarnju uporabu pod ekstremnim uvjetima (bazeni, tuš kabine), proizvodnja paluba za brodove i vanjske strukture za građ. objekte

2.2. Interakcija ljepljiva i drveta

Pod lijepljenjem drveta podrazumijeva se čvrsto površinsko spajanje dviju drvenih ploha ljepljivom. Između tih ploha nalazi se tanki (optimalni) sloj ljepljiva. S obzirom da je drvena ploha, odnosno površina drveta porozna, sloj ljepljiva ulazi u pore drveta i kad sloj ljepljiva otvrdne, stvara se mreža iglastih krakova u porama obiju površina drveta.

Kod povezivanja, odnosno lijepljenja drveta djeluju međusobno privlačne sile zvane *kohezija* i *adhezija*, tako da stvaraju kemijsko-mehaničke veze koje osiguravaju čvrstoću lijepljenog spoja. Kohezija je sila koja drži na okupu molekule tekućeg ili čvrstog tijela. Zbog toga drvo i ljepljivo moraju biti u vrlo bliskom dodiru pomoću vanjskog pritiska dok je ljepljivo još u tekućem stanju. Važno je da sloj ljepljiva vlaži drvo prilikom procesa lijepljenja i prodre u strukturu drveta te uspostavi dodir između dvije supstance. Ako ljepljivo ne vlaži drvo, dolazi do odbojnog djelovanja sile između molekula i stvaranja disperzijske sile s obzirom da su većina ljepljiva za drvo koloidne otopine koje u procesu lijepljenja prelaze iz tekućeg stanja u želatinozno i potom otvrdnjavaju, pa nastaje čvrsti spoj ljepljiva. Taj spoj može biti reverzibilan (ako se sloj ljepljiva otapa u vodi) ili obrnuto ireverzibilan. Prodiranje ljepljiva u pore drveta ovisi o viskoznosti ljepljiva, veličini i trajanju pritiska. Viskoznost ljepljiva brzo se smanjuje kad se temperatura povećava, pa treba voditi brigu o optimalnoj viskoznosti za sve vrste primjene prilikom lijepljenja. Najvažnije informacije za proces lijepljenja moraju biti jasno definirane u uputama proizvođača ljepljiva [3].

Za proces lijepljenja drveta je veoma bitno tzv. "vlaženje drveta". Drvo je higroskopno, kapilarno porozno, anizotropno i polarni materijal što je za lijepljenje veoma značajno. S obzirom na to da se lijepljenje ne može ostvariti bez da se u procesu lijepljenja navlaži površina koja se lijepi, to je vlaženje površina tj. razlijevanje ljepljiva po površini drveta na koju je nanoseno najvažniji uvjet za uspješno i kvalitetno lijepljenje. Veoma je važno da polimer – ljepljivo u tekućem stanju ima visoku adheziju prema drvetu i da ga kvasi, naravno kada je riječ o tekućem ljepljivu. U proizvodnoj praksi lijepljenja drveta nekada, istina vrlo rijetko, se koriste ljepljiva koja nisu tekuća (folije). Međutim, i takva ljepljiva u procesu lijepljenja moraju proći kroz tekuću fazu, jer bez toga zaista nema lijepljenja drveta.

Reološka svojstva materijala koji u procesu lijepljenja učestvuju su veoma važna za proces lijepljenja, a još više nakon što je proces lijepljenja završen, ljepljivo stvrdnulo i zalijepljeni spojevi dati u eksploataciju. Zbog toga jer dugotrajna postojanost kvaliteta zalijepljenih spojeva u velikoj mjeri zavisi od reoloških svojstava drveta na granici spoja sa ljepljivom i otvrdnutog filma ljepljiva. Za primjenu ljepljiva pri lijepljenju drveta veoma su važna reološka svojstva tekućeg ljepljiva, jer od njih, uglavnom, zavisi uspješna i jednostavna primjena ljepljiva. Zatim su važne promjene reoloških svojstava ljepljiva u procesu lijepljenja i stvaranja adheziivne veze sa drvetom i konačna svojstva kada ljepljivo otvrdne, te eventualne

promjene svojstva u procesu dugotrajne eksploatacije spojeva.

Za uspješno i kvalitetno lijepljenje i za dobivanje zalijepljenih spojeva postoje kvalitete od posebne važnosti je da otvrdnuto ljepljivo u spoju ima približno ista reološka svojstva kao drvo. Radi toga se pripremi i izbor ljepljiva i pripremi drveta za lijepljenje mora pokloniti posebna pažnja.

Dakle, za ostvarenje kvalitetnog lijepljenja veoma su važni, pravilan izbor i priprema ljepljiva i kvalitetna priprema drveta, odgovarajuća oprema i režimi lijepljenja. Ako se uključi priprema ljepljiva i drveta lijepljenja se svodi na: osiguravanje odgovarajućeg viskoziteta u vremenu za koje se koristi pripremljeno ljepljivo, nanos odgovarajuće količine ljepljiva na površine koje se lijepe, otvoreno vrijeme – vrijeme od momenta nanosa ljepljiva do ostvarenja kontakta među površinama drveta koje se lijepe, ostvarenje vanjskog pritiska prilikom lijepljenja sa ciljem, da se ostvari puni kontakt među površinama koje se lijepe, vrijeme lijepljenja – vrijeme od momenta ostvarenja do momenta otpuštanja pritiska, vrijeme i uvjeti aklimatizacije zalijepljenih spojeva.

2.3. Obrada elemenata od drveta na strojevima

Površine lamela koje se lijepe obrađuju se blanjanjem – cilindričnim glodanjem, kojim se mora osigurati mala hrapavost površine i odgovarajuća dubina i dužina traga cikloide, koji nastaje od alata prilikom blanjanja drveta. Zbog nužnosti da se osiguraju što manja unutrašnja naprezanja u zalijepljenom spoju potrebno je da dubina traga alata bude $h \leq 0,020\text{mm}$. Polazeći od toga i karakteristika stroja na kome se obrađuje drvo dubina h i dužina I (traga alata) mogu se odrediti iz sljedećih obrazaca:

$$U_n = I \frac{U}{n \cdot z} \quad (1)$$

gdje je:

U = pomak [m/min]

U_n = pomak po jednom nožu rezne glave [m/min];

n = broj obrtaja rezne glave [O/min],

z = broj noževa na reznoj glavi;

I = dužina vala – traga cikloide [m].

Rezna glava obično može imati 2 – 8 noževa, međutim, priprema alata i podešavanja noževa su takvi da postoji razlika u raznim krugovima koji opisuju pojedini noževi.

Zbog toga se u proračun uzima samo jedan nož (U_1), pa jednačba (1) poprima oblik:

$$U_1 = I \frac{U}{n} \quad (2)$$

Dubina vala – traga reznog alata možemo izračunati jednačbom:

$$h = \frac{I^2}{8R} \quad (3)$$

gdje je:

R – polumjer kruga reznog alata koji opisuju noževi [m].

Znajući veličinu I, jer je $h \leq 0,025\text{mm}$ može se odrediti dozvoljeni pomak materijala na stroju prilikom obrade jednadžbom:

$$U_d = U * n \quad (4)$$

Način slaganja lamela koje se lijepe ima veoma veliki utjecaj na kvalitetu lijepljenja i unutrašnja naprezanja u zalijepljenom sloju. Naime, pogrešnim slaganjem lamela kada u eksploataciji nosača dolazi do promjena vlage drveta i kao posljedica toga do bubrenja i utezanja, može doći do destrukcije – loma zalijepljenog spoja (što se često događa) i bez dodatnog vanjskog opterećenja. Takva destrukcija je posljedica unutrašnjih naprezanja u spoju, kojom prilikom dolazi do loma – destrukcije po ljeplju ili po drvetu uz granični sloj sljubice.

Prilikom blanjanja površina lamela mora se osigurati kvalitetno brušenje reznog alata tako da blanjanjem ne ostaju neravnine – uzvišenja kasnog dijela (tvrđeg) nad ranijim (mekim) dijelom goda, jer takve neravnine mogu biti relativno velike i mogu i stvarati velika unutrašnja naprezanja u zalijepljenom sloju [3]. Poželjno je da se lijepljenje lamela izvrši najdalje 2 – 3 sata nakon blanjanja površina, ili prije, ako je moguće. Pored navedenog površine lamela moraju biti potpuno očišćene od prašine i ne smiju biti zaprljane uljima, mastima itd.

3. PRODULJIVANJE DRVETA

Proširenjem domena upotrebe drveta, neuspjehom nastojanja da se upotreba drveta u nekim oblastima zamijeni drugim materijalima, porast potreba za drvetom, smanjenje zalihe drveta i ozbiljan raskorak između potrebe i proizvodnje rezultirali su istraživanjima mogućnosti lijepljenja drveta po dužini.

Tri su najvažnija utjecajna faktora na mogućnost lijepljenja drveta po dužini i na kvalitetu zalijepljenih spojeva: svojstva ljepliva, geometrijski elementi spoja, svojstva drveta. Izbori priprema ljepliva, kao i u drugim slučajevima, su veoma važni za kvalitetu zalijepljenih spojeva. Ovisno o tome u kakvim će uvjetima spojevi biti lijepljeni po dužini vrši se izbor ljepliva. Naime, spojevi trebaju zadovoljiti sljedeće uvjete: visoku čvrstoću zalijepljenog spoja, da izdrže sve uvjete u kojima će se u toku upotrebe naći, da imaju veliku trajnost.

Viskozitet ljepliva koje se koristi za uzdužno lijepljenje drveta treba da bude relativno visok $v \geq 180\text{s}$ F4. Sadržaj suhih materija mora biti visok, koeficijent stezanja ljepliva zbog sušenja trebao bi biti po mogućnosti što manji, a elastičnost osušenog ljepliva visoka.

Ljepilo se nanosi u relativno velikoj količini, jer se zbog presječenih lamela stanica lumeni djelomično ponašaju kao otvorene kapilare, tako da mnogo više ljepliva penetrira u drvo, nego pri drugim lijepljenjima. U svakom slučaju treba nanijeti veliku količinu ljepliva, da bi u samom spoju ostalo dovoljno suhih materija da se formira tanki isprekidani osušeni film ljepliva. Prema iskustvu i mjerenjima u praksi nanosi se $259 - 300 \text{ gr/m}^2$ ljepliva.

U slučaju usporednog lijepljenja otvoreno je vrijeme i vrijeme otvrdnjavanja ljepliva nemaju značaj koji inače imaju pri drugim lijepljenjima. Naime, u ovom slučaju se odmah nakon nanosa ljepliva ostvaruje puni kontakt među elementima koji se lijepe te zbog toga otvoreno vrijeme nema nikakav tehnološki značaj. Vrijeme otvrdnjavanja ljepliva u ovom slučaju je značajno sa stanovišta vremena koje je potrebno da zalijepljeni elementi miruju do nastavka dalje obrade, tj. dok ljepilo stvrdne do stupnja koji to omogućava. Ovo vrijeme, u ovom slučaju, nema nikakvog značaja s tehnološkog stanovišta i sa stanovišta korištenja tehnološke opreme, jer se praktično radi o protočnoj tehnologiji. Naime, čeonim pritiskom uzdužnog lijepljenja spojeva s grupnim klinastim čepovima ima za posljedicu stvrdnjavanje sile samokočenja u spoju, koja mada ljepilo odmah ne otvrdne, sprječava rastavljanje spoja, odnosno drži ga u stanju kakvo je bilo prilikom zatezanja, bez dalje upotrebe bilo kakvih steznih naprava. Jedini uvjet je da sila samokočenja bude sposobna da to otvrdnjavanje ljepliva zadrži elemente koji se lijepe u punom kontaktu, da je učepljenje dobro izvedeno i da čvrsto nasjeda. U ovom slučaju kao vrijeme kondicioniranja zalijepljenih spojeva može se smatrati vrijeme od ostvarenja kontakta spoja do otvrdnjavanja ljepliva [3].

Sila pritiska se računa po formuli:

$$A = a * b \quad (5)$$

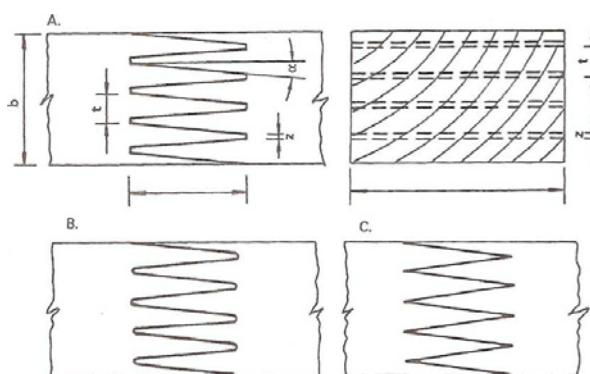
$$A = a * l * 2 * n - n * z \quad (6)$$

gdje je:

- A – površina lijepljenja [m^2];
- l – dužina čepa [m];
- a – širina čepa [m];
- n – broj čepova;
- z – zatupljenje [m].

Svaka lamela poprečnog presjeka izrađuje se iz većeg broja segmenata uzdužno spojenih lijepljenjem. Spajanje može biti izvedeno:

- sučeonim spojem,
- klinastim spojem,
- zupčastim spojem.



Slika 2. Zupčasti spojevi [1]

Prva dva načina spajanja gotovo da se više ne upotrebljavaju u proizvodnji, tehnološke linije su prilagođene izvedbi nastavaka zupčastim spojem [3].

Na slici 2. dati su osnovni tipovi zupčastih spojeva:

- sa zatupljenim zubima,
- sa zaobljenim zubima i
- sa oštrim zubima.

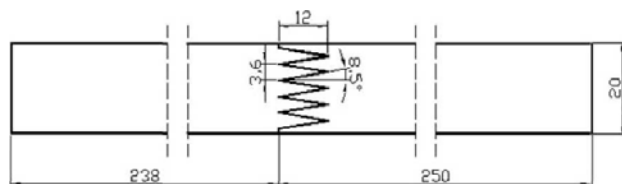
Na čvrstoću spoja sa zupcima utječe sljedeće:

- geometrija zupca osobito odnos L/P, tj. ugao nagiba, pa potom vrijednosti t i P, kao i veličina kontaktne površine lijepljenja,
- položaj (orijentacija spoja s obzirom na ravan spoja) vertikalno, horizontalno ili pod uglom (najmanji naponi su ako je ugao pod 45°, a bolji je vertikalni položaj nego horizontalni),
- vrsta materijala sa njegovim osobinama (osobito gustoća i kvaliteta, a vlažnost mora biti u granicama od 6-14 % zbog lijepljenja i zavisu od vrste ljepila),
- također na čvrstoću utječe i kvaliteta izrade zupca (naoštrjen alat, način izrade zupca da ne bi izazvalo nagnječenje na površinama zupca ili čupanje vlaknaca),
- vrsta ljepila i njegove karakteristike (vrsta adheziva, viskozitet),
- tehnološki parametri bitni za otvrdnjavanje ljepila (temperatura i pritisak prešanja - spajanja),
- na čvrstoću zalijepljenog spoja bitni uvjeti upotrebe, tj. klase upotrebe (vrsta i dužina trajanja opterećenja) i razredi vlage (temperatura i relativna vlažnost okolnog zraka) pa se prilikom proračunavanja i ispitivanja čvrstoće zalijepljenog spoja uzimaju u obzir ovih faktori kao i prilikom ispitivanja čvrstoće zalijepljenog spoja.

4. ISPITIVANJE ČVRSTOĆE LJEPLJENOG ZUBČASTOG SPOJA

Drvene uzorke je pripremila tvrtka A.S.B. EXPAN " d.o.o. Bihać, tvrtka se bavi proizvodnjom masivnih ploča, sastoji se iz segmenta spojenih sa zupčastim spojem po dužini i širini. Imaju vlastitu proizvodnju ploča, od pilanske prerade do proširivanja drveta.

Elemente zupčastog spoja koje smo ispitali bili su dimenzije 20 x 20 x 250mm, vlažnosti 6 – 8%. Pripremljeni uzorci su napravljeni od drveta jela/smreka sa namjenskim ljepilom. Lijepljeni spoj je bio napravljen isto kao što se najviše upotrebljava u proizvodnji A.S.B. EXPAN " d.o.o. Bihać.



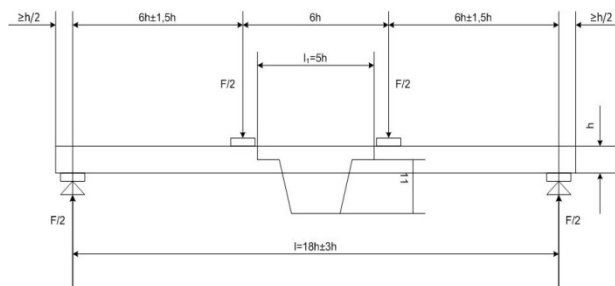
Slika 3. Dimenzije uzorka zupčastog spoja [3]

Ljepilo koje je upotrijebljeno je bilo sljedeći tehnički karakteristika:

- proizvođač: Bostik, na bazi polivinilski acetat (PVAC) D4
- vodootpornost: prema D4 BS-EN-204-D4 certifikatu
- vrijeme vezivanja: 7 min

- minimalna temperatura nanošenja: 10 C° otpornost na temperaturu: do +70 C°
- pritisak: 5-7 kg/cm²
- trajanje pritiska: od 10-15 min
- nanos ljepila: 160 gr/m².
- viskozitet: 8.000 mPas

Ispitivanje uzorka zupčastog spoja je uradio institut za ispitivanje „Igmata d.d.“ Slovenija registriran za izvođenje pretraživanja i certificiranja građevinski materijala. Akreditirani su po sistemu EN ISO/IEC i EN 4501. Uzorke su testirali po standardu EN 408 sa testnim strojem Zwick, od deset komada uzorka [3].



Slika 4. Savijanje u skladu sa SIST EN 408 [3]

Savojna čvrstoća je izračunata po formuli:

$$f_m = \frac{3 * L_A}{(\delta * d^2) * F_{max}} \quad (7)$$

Modul elastičnosti izračunat je po formuli:

$$E_{m,l} = \frac{3 * L_A * L_B^2 * (F_2 - F_1)}{4 * (w_2 - w_1) * \delta * d^3} \quad (8)$$

gdje je:

- F_{max} (N) – maksimalna sila,
- f_m (N/mm²) – tvrdoća savijanja,
- $E_{m,l}$ (N/mm²) – modul elastičnosti,
- F_1 (N) – sila početnog opterećenja,
- F_2 (N) – sila pri konačnoj deformaciji,
- w_1 (mm) – istežanje na početku,
- w_2 (mm) – istežanje na kraju,
- d (mm) – debljina uzorka,
- δ (mm) – širina uzorka,
- L_A (120mm) – dužina uzorka između prve i druge točke pritiska,
- L_B (120mm) – dužina između sredine iznad dvije točke pritiska,
- L_v (360mm) – dužina između nižim pritiskim točkama.

Koeficijent varijacije se računa po formuli:

$$K_v = \frac{Q}{x} \quad (9)$$

gdje je:

- K_v – koeficijent varijacije,
- Q (N/mm²) – srednja vrijednost elastičnog istežanja,
- x (N/mm²) – prosječno odstupanje.



Slika 5. Uređaj za ispitivanje Zwick(Igmat) [3]

Tabela 2. Rezultati ispitivanja

LJEPILO	SVOJSTVA	JEDINICE	JELA/ SMREKA
Bostik D4 BS- EN-204-D4	Ugibna tvrdoća	N/mm ²	54
Bostik D4 BS- EN-204-D4	Modula elastičnosti	N/mm ²	1581

Tabela 3. Rezultati testiranja uzorka jela/smreka sa ljepilom Bostik D4

	Uzorak	Ljepilo	Deb.	Šir.	F1	F2	Fmax.	I	w1	w2	e	EM
			mm	mm	N	N	N	mm	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²
1	J/S	D4 bost	19,7	19,7	254,7	560,35	1018,81	8,5	2,4	4,49	47,97	1258,40
2	J/S	D4 bost	20	19,8	359,9	791,78	1439,59	6,41	2,1	3,74	65,44	2154,61
3	J/S	D4 bost	19,9	20,2	291,12	640,46	1164,47	6,18	2,19	3,54	52,4	2106,73
4	J/S	D4 bost	20,1	20	278,59	612,91	1114,37	9,16	2,44	4,54	49,65	1270,37
5	J/S	D4 bost	19,8	19,6	275,32	605,7	1101,27	8,65	2,4	4,49	51,6	1346,54
6	J/S	D4 bost	19,8	19,9	372,42	819,33	1489,68	8,92	2,58	4,62	68,74	1838,00
7	J/S	D4 bost	19,9	19,7	270,89	595,95	1083,55	9,41	2,45	4,82	50	1144,97
8	J/S	D4 bost	19,9	19,7	345,64	760,41	1382,56	7,84	2,32	4,14	63,8	1902,46
9	J/S	D4 bost	20,1	19,7	238,9	525,59	955,62	6,76	2,15	3,79	43,22	1416,18
10	J/S	D4 bost	19,8	19,8	277,82	611,21	1111,29	8,57	2,58	4,63	51,54	1371,33
Min. vrijednost											43,22	1144,97
Max. vrijednost											68,74	2154,61
Srednja vrijednost											54,44	1580,96
Standa.odstupanje											8,03	359,39

Dakle, prema standardima ljepilo zadovoljava traženu kvalitetu.

4. ZAKLJUČAK

Nedostatak kvalitetne drvene sirovine u svijetu će sve više usmjeravati svoje interesiranje na razvoj tehnika produljivanja i proširivanja drveta. Naročita pažnja se mora posvetiti kvalitetu sljubnice i kontaktnog spoja između dva elementa lamele i između dvije lamele. Posebnu pozornost treba se posvetiti alatima za izradu zupčastih veza i njihovom održavanju, kako bi se ostvario što bolji kontakt između zubaca elemenata. Zbog toga u praksi se sve više koriste alati sa izmjenjivim zubima koji se nakon upotrebe ne oštire nego mijenjaju. Ovo je naročito bitno kod izrade zupčastih veza gdje geometrija zuba veze utiče na ugao samokočenja prilikom kontakta dva nazubljena elementa a samim tim i kvalitetu spoja. Ljepilo kao veoma bitan faktor, razvojem kemije polimera, imati će sve veći značaj. Danas se sve više posvećuje pažnja kvalitetu življenja i ekološkim aspektima. Zbog toga ljepila trebaju biti ekološki neškodljiva i po zdravlje ljudi bezopasna. Prema ispitivanjima mehaničkih osobina drveta sam zupčasti spoj ima kvalitetu zdravog cijelog drveta.

5. LITERATURA

- [1] Ljuljka, B.: I sur 1978: „Lijepljenje u tehnologiji finalnih proizvoda“ SIZ odgoja usmjerenog obrazovanaj šumarstva i drvene industrije SRH.
- [2] Salah-Eldien, O.: Tehnologija proizvodnje namješta Tehnički Fakultet Bihać 2004, ISBN 9958624192
- [3] Backović, M.: „Lijepljenje u tehnologi prerade drveta, Sarajevo Bosna Public 396 str COBISS.SI-ID 70183

Kontakt autora:

Natko Bašić, bachelor drvene tehnologije
Doo „Stolar komerc“, Velika Kladuša
e-mail: basic.natko@gmail.com

Elvir Kulenović, dipl.ing.
Doo „Aldihani“, Cazin
e-mail: elvir.kulenovic@gmail.com

Elvis Hozdić, univ. dipl. inž. strojništva
Fakuleta za strojništvo Ljubljana
Aškarčeva cesta 6
1000 Ljubljana
e-mail: ehozdic@yahoo.com