

# Istraživanje kvalitete lijepljenja lameliranih elemenata za proizvodnju građevne stolarije

## Investigations of gluing quality of laminated window profiles

### Izvorni znanstveni rad • Original scientific paper

Prispjelo - received: 13. 9. 2006.

Prihvaćeno - accepted: 10. 11. 2006.

UDK: 630\*824.42; 630\*824.52

**SAŽETAK** • Nedostatak kvalitetnoga tehničkog drva kao sirovine za drvnu industriju evidentan je i poznat ne samo na našim, nego i na širim prostorima Evrope i Amerike. U želji da se poveća stupanj iskorištenja drva (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 građevne stolarije, a proizvode se dužinskim i debljinskim lijepljenjem drva i mogu uspješno zamijeniti elemente od masivnog drva. Lamelirani elementi imaju i neke prednosti pred elementima od masivnog drva. To su smanjenje deformacija i racionalnija uporaba drva. Za proizvodnju građevne stolarije najčešće se rabe lamelirani elementi izrađeni od tri lamele. Ocjenjivanje kvalitete lameliranog elementa uglavnom se svodi na vizualnu kontrolu, a kvaliteta lijepljenja procjenjuje se certifikatom za kvalitetu ljepila, što nipošto nije dovoljno jer na kvalitetu lijepljenjem dobivenog spoja utječu, osim ljepila i drugi parametri procesa lijepljenja.

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 drva lameliranim elementima i osigurano jamstvo kvalitete.

**Ključne riječi:** kompozitni materijal, lamelirani element, čvrstoća lijepljenja, dužinsko spajanje, kvaliteta lameliranog elementa

**ABSTRACT** • The issue of lack of high-quality wood as raw material for the timber industry is evident and well known not only in this country but throughout Europe and America. In order to increase the utilisation level of timber as a raw material (both in terms of quantity and quality) and in order to enhance physical and mechanical features of the products' constructive elements, different techniques and technologies of wood processing have been developed. On the markets these products are known as "engineering wood" and they can be roughly classified as composite materials. Laminated elements belong to the products that substitute massive wood by ways of extension, widening and hardening of wood elements.

In this way, reduction of deformation caused by humidity changes in wood such as twisting, winding and bowing can be reached or brought to tolerable levels. Laminated elements made of three laminates are commonly used for

<sup>1</sup> Autor je docent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu. <sup>2</sup> Autor je izvanredni profesor Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

<sup>1</sup> Author is assistant professor at Faculty of Machine Engineering, Sarajevo University. <sup>2</sup> Author is associate professor at Faculty of Forestry, Zagreb University.

production of construction wood. Quality evaluation of laminated elements is usually carried out by visual control and the gluing quality is estimated based on the glue quality certificate. For assessing the gluing quality of laminated elements, the investigation of the strength of glued joints should be conducted on a regular or periodical basis, in order to have the confirmation of the right choice of glue and control of the production regime. In this manner justification and guarantee can be provided for the substitution of massive wood by laminated elements.

**Key words:** composite material, laminated elements, strength of gluing, length joint, widening, quality of laminated elements

## 1. UVOD 1 INTRODUCTION

Norme ne definiraju kvalitetu lameliranih elemenata. Ocjena kvalitete uglavnom se svodi na vizualni izgled lamela, odnosno estetski izgled vanjskih lamela, kao i uočavanje delaminacije sljubnice. Upotrebjeno ljepilo, odnosno njegov certifikat prema normama EN204/EN205 praktično je jedina potvrda odnosno zaštita kupca (proizvođača lamela odnosno kupca gotovih lamela). Ljepilo nije jedini činitelj 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 (građevnu stolariju).

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

- element iz masivnog drva,
- 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 spajani element.

Najčešći oblik lameliranog elementa prikazana je na slici 1c) 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.

Konstrukcija lameliranih elemenata umanjuje promjene oblika (deformacije elemenata koje mogu nastati kao posljedica nehomogenosti i anizotropnosti

drva) ali se povećava i iskorištenje drva. Pri tome lamelirani elementi imaju istu ili veću čvrstoću i krutost nego elementi od masivnog drva.

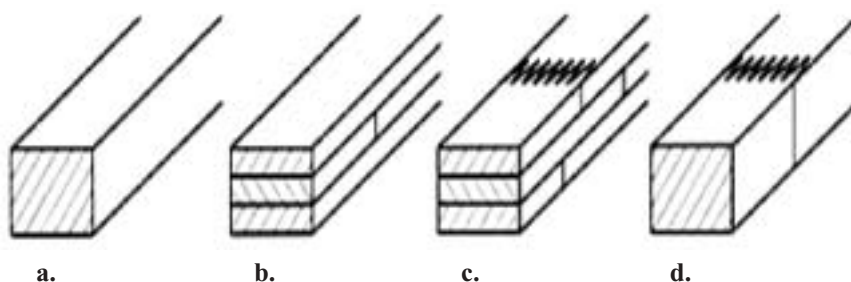
U konstrukcijskom smislu lijepljeni elementi, (uobičajeni je naziv lamelirani elementi) pripadaju grupi dužinski i debljinski lijepljenog drva pri čemu se dobivaju obradci potrebnih dimenzija.

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 suše,

Time se omogućava ispunjavanje potrebnih zahtjeva za kvalitetom lameliranih elemenata za izradu građevne stolarije, ali i za boljim korištenjem drva. (Turkulin i sur. 1989).

S obzirom na uvjete koje će lamelirani elementi imati u tijeku upotrebe (mogućnosti povećane vlažnosti i povišene temperature ta njihove cikličke promjene), kvaliteta lijepljenja izuzetno je važna. Radi smanjivanja cijene proizvoda uvriježena je upotreba, vlagootpornih ili vodootpornih polivinil-acetatnih (PVAC) ljepila (prema Europskoj normi EN 204 ta ljepila spadaju u klase otpornosti D3 ili D4) Za proizvodnju lameliranih elemenata namijenjenih proizvodnji vanjske građevinske stolarije (prozora i balkonskih ili ulaznih vrata), upotrebljavaju se PVAC ljepila koja su modificirana u smislu povećanja otpornosti na vlagu ili tekuću i kondenziranu vodu. Postoje četiri klase otpornosti (od D1 do D4) koje su definirane u EN 204 „Klasifikacija termoplastičnih adheziva za drvo za ne noseće građevin-



Slika 1. Vrste elemenata za izradu prozorskih profila

Figure 1 Some types of wood pieces used for production of window profiles

ske konstrukcije". Pri upotrebi ovih ljepljiva za lijepljenje lameliranih elemenata, ljepljiva moraju zadovoljiti klasu otpornosti D3 ili D4. Navedena norma propisuje uvjete tretiranja uzoraka za testiranje čvrstoće lijepljenog spoja i minimalne čvrstoće koje uzorci nakon tretiranja moraju zadovoljiti za određenu klasu otpornosti. Ljepljiva koja zadovoljavaju klasu otpornosti D3 pogodna su za upotrebu u interijerima sa čestom kratkom izloženošću tekućoj ili kondenziranoj vodi i/ili jakoj izloženosti visokoj vlazi. Također se mogu koristiti u eksterijerima, ali lijepljeni proizvodi moraju biti zaštićeni od utjecaja atmosferilija.

Ljepljiva koja zadovoljavaju klasu otpornosti D4 pogodna su za upotrebu u interijerima sa čestom dugom izloženošću tekućoj ili kondenziranoj vodi, ali se mogu koristiti i za lijepljenje proizvoda koji će se koristiti u eksterijerima i koji će biti izloženi utjecaju atmosferilija, ali drvo mora biti zaštićeno adekvatnim zaštitnim premazom.

Dosadašnja iskustva iz proizvodnje ukazuju na osjetljivost ovog problema. Počevši od neznanja pa do nestručnog vođenja procesa proizvodnje. Te se greške, ako nisu uočene tijekom kontrole lameliranih elemenata, relativno kasno pokazuju kad je proizvod već gotov ili ugrađen.

Podešavanje parametara procesa obrade, na strojevima za dužinsko spajanje elemenata odnosno debljinsko lijepljenje, koji su u funkciji vrste drva, vrste ljepljiva, dimenzija elemenata koji se lijepe i radnika izuzetno je važan posao.

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).

## 2. CILJ RADA 2 RESEARCH OBJECTIVE

Cilj rada bio je istražiti kvalitetu lijepljenja lameliranih elemenata koja će biti definirana na bazi egzaktnih pokazatelja čvrstoće lijepljenog spoja na savijanje za dužinski lijepljene spojeve i čvrstoće na smicanje za debljinski lijepljene spojeve te postavljanje kriterija za minimalnu čvrstoću lijepljenih spojeva.

S obzirom na to da ne postoji norma po kojoj bi se mogla ispitati kvaliteta lijepljenja lameliranih elemenata u radu je prikazan postupak kojim je ispitana kvaliteta lameliranih elemenata ali i postupak za kontinuirano praćenje kvalitete. Pritom su korištene norme: EN 204 po kojoj je izvršeno tretiranje proba za ubrzano starenje lijepljenih spojeva, EN 392 po kojoj su izrađene probe i ispitana čvrstoća na smik debljinski lijepljenih spojeva i predložen je kriterij po kojem se može odrediti minimalna čvrstoća lijepljenih spojeva.

Za ispitivanje čvrstoće na savijanje dužinski lijepljenih spojeva korištena je norma HRN DE1.010 u kojoj je naglašeno da čvrstoća na savijanje dužinski

spojenih elemenata smije imati do 20 % manju čvrstoću u odnosu na elemente bez dužinskog spoja.

## 2.1. Čimbenici koji utječu na kvalitetu lijepljenja lameliranih elemenata

### 2.1 Factors affecting gluing quality of laminated window profiles

Pouzdanost kvalitete lijepljenja lameliranih elemenata  $P$  ovisi o kvaliteti izvedbe svake faze procesa obrade koje navodimo, a pouzdanost kvalitete za pojedinu fazu obrade može se prikazati relativnim brojem  $P_n$ . Za idealno kvalitetno izvedenu fazu obrade  $P_n = 1$ , a za nekvalitetno izvedenu fazu obrade  $P_n < 1$ .

Tehnološke su faze obrade:

1. sušenje lamela,
2. dužinsko spajanje (sparivanje elemenata, izrada zupčastog spoja i lijepljenje),
3. priprema sljubnice (blanjanje),
4. izrada konstrukcije (sparivanje lamela),
5. nanošenje ljepljiva (izbor i priprema),
6. prešanje (režim prešanja),
7. kondicioniranje (odležavanje) lameliranih elemenata.

Ako se kvaliteta lijepljenja lameliranog elementa procjenjuje na osnovu navedenih pouzdanosti kvalitete za svaku fazu obrade, onda je pouzdanost kvalitete lameliranog lijepljenog elementa umnožak svih pouzdanosti po fazama obrade što je prikazano jednadžbom (1).

$$P = P_1 P_2 \dots P_n ; P_n \leq 1 ; n = 1, 2, \dots, 7 \quad (1)$$

To znači da kvaliteta lijepljenja i njezina pouzdanost ovise o kvalitetnoj izvedbi svake faze obrade u tehnološkom procesu i ne može se procjenjivati samo na osnovi vizualnog pregleda i atesta za ljepljivo, kao što se sada uglavnom radi.

Dobro znamo, da je pouzdanost  $P = 1$  teoretska vrijednost i da njoj treba težiti. Međutim, ona je za proizvođača ispunjena prodajom i naplatom bez reklamacija, ali time problem nije riješen. Za kupce lameliranih elemenata bilo bi ipak bolje da se na osnovi ispitivanja kvalitete dobije uvjerenje o kvaliteti koje bi jamčilo kvalitetu proizvoda.

## 3. METODOLOGIJA RADA 3 RESEARCH METHOD

Radi procjene kvalitete lijepljenja lameliranih elemenata od elemenata su izrađene probe prema EN 392 koja propisuje postupak određivanja čvrstoća na smicanje lijepljenih spojeva lameliranih nosača od masivnog drva. Dakle, takve su konstrukcije predviđene kao konstruktivni nosivi elementi, a oblik i opterećenje probe prikazan je na slici 2.

Prednost takvog ispitivanja je jednostavnost izrade proba. U radu se odstupilo od izrade proba prema EN 205 i zato što se tom normom ispituje kvaliteta ljepljiva (klasa otpornosti), a u ovom se radu želi procijeniti kvaliteta **lijepljenog spoja** lameliranih elemenata koja



**Slika 2.** Ispitivanje čvrstoće na smicanja prema EN 392  
**Figure 2** Shear test of glue lines, EN 392

ovisi i o drugim ranije navedenim parametrima (pouzdanosti kvalitete pojedine faze obrade).

Prije određivanja smicajne čvrstoće lijepljenog spoja probe su tretirane u skladu sa tretmanima 3 i 5 za klasu otpornosti D4 (D4-3 ; D4-5) prema već navedenoj normi EN 204, a koji su prikazani u tablici 1.

Lamelirani elementi za izradu prozora uglavnom se izrađuju od drva četinjača, najčešće jele ili smreke i u praksi se ne pravi razlika između te dvije vrste drva jer imaju slična svojstva. Rjeđe se rabi drvo hrasta, ariša ili bora. Međutim, tretmani proba D4-3 i D4-5 prema EN 204 kao što je već rečeno odnose se na određivanje vlagootpornosti odnosno vodootpornosti ljepljiva, a ne lijepljenog spoja, no ipak su navedeni tretmani korišteni jer je na taj način moguće povući paralelu između ispitivanja otpornosti ljepljiva i ispitivanja otpornosti lijepljenog spoja. Kriterij za ocjenjivanje kvalitete debljinskog lijepljenja bio je izmjerena čvrstoća lijepljenog spoja na smik dobivena već opisanom metodom prema normi EN 392. Prema kriteriju koji predlažemo, čvrstoća lijepljenog spoja na smik ne smije biti manja od srednje čvrstoće na smik jelovine i smrekovine u napojenom stanju jer se čvrstoća mjeri nakon tretiranja proba (tablica 2), a drvo je tada u napojenom stanju. Čvrstoću

**Tablica 1.** Tretiranje proba prije određivanja smicajne čvrstoće

**Table 1** Pretreatment of test pieces

Tretman EN204 <i>Durability classes</i>	Uvjeti izlaganja proba <i>Climatic conditions</i>
D4-3	7 dana standardna klima <sup>1</sup> <i>7 days in standard atmosphere</i> 4 dana u vodi (20 ± 5)°C <i>4 days in water at (20±5) C</i>
D4-5	7 dana standardna klima <sup>1</sup> <i>7 days in standard atmosphere</i> 6 sati u vodi koja ključa <i>6 hours in boiling water</i> 2 sata u vodi (20 ± 5)°C <i>2 hours in water (20±5) C</i>

<sup>1</sup> standardna klima 20±2°C/65±5% r.v. ili 23±2°C/50±5% r.v.

napojenog drva na smik može se izračunati prema jednadžbi (2) (Kollman and Cote, 1968.) .

$$\tau_{w>t.z.v.} = \tau_{w 12\%} [1 - \alpha (W - 12\%)] \quad (2)$$

gdje je:

$\tau_{w>t.z.v.}$  – čvrstoća na smik u smjeru vlakancu iznad točke zasićenosti vlakancu drva (*shear strength in grain direction above fiber saturation point*), MPa

$\tau_{w 12\%}$  – čvrstoća na smik u smjeru vlakancu pri sadržaju vode u drvu od 12 % (*shear strength in grain direction with moisture content above 12%*), MPa

$\alpha$  – korekcijski faktor za smjer djelovanja sile (0,03) (*correction factor for force direction of 0.03*)

$W$  – točka zasićenosti vlakancu (*fiber saturation point*), %

Srednja čvrstoća na smik za jelovinu i smrekovinu u napojenom (zasićenom) stanju izračunana prema jednadžbi 2 iznosi **2,6 MPa**, i ta je vrijednost uzeta kao minimalna vrijednost koju bi uzorci za ispitivanje čvrstoće na smik trebali postići da bi kvaliteta bila zadovoljavajuća.

U istraživanju smo se koristili elementima tri proizvođača lameliranih elemenata na području BiH u vremenu 2002 i 2003. godine koji su koristili istu kvalitetu ljepljiva, klase otpornosti D4 i lameliranim elementima šest proizvođača koji su proizvedeni tijekom 2004 i 2005 godine, a koristili su različita ljepljiva, ali sva klase otpornosti D4. Svi elementi izrađeni su iz jelovine ili smrekovine.

Kvalitetu lijepljenja dužinski lijepljenih spojeva u lameliranim elementima pratilo se kroz čvrstoću savijanja. Probe su izrađene piljenjem od dužinski spojenih elemenata, a opterećivale su se na dva načina:

- okomitim opterećenjem spoja, (sl. 3. a) i
- horizontalnim opterećenjem spoja, (sl. 3. b).

U normi HRN DE1.010 naglašeno je da čvrstoća na savijanja dužinski spojenih elemenata smije imati do 20 % manju čvrstoću od elemenata bez dužinskog spoja.

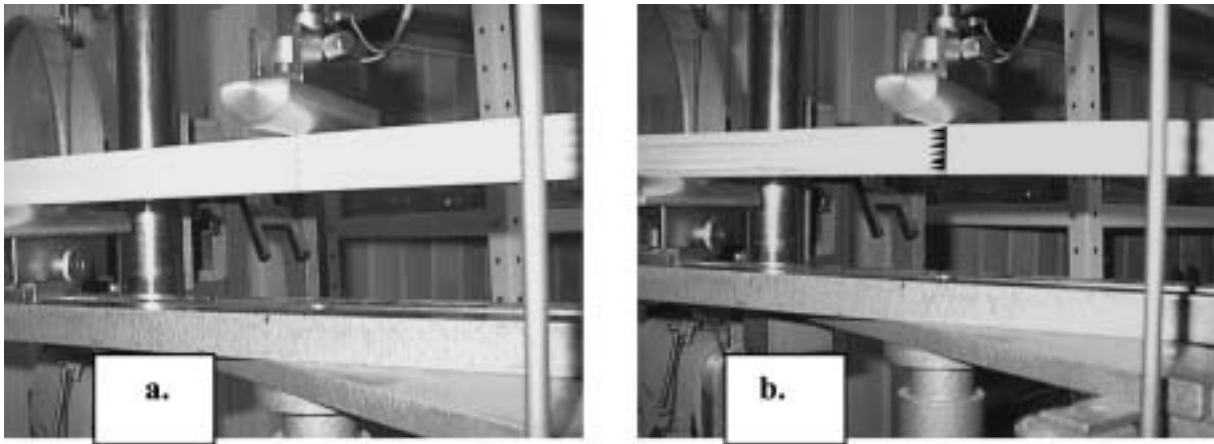
## 4. REZULTATI I DISKUSIJA

### 4 RESULTS AND DISCUSSION

Na slikama 4. i 5. prikazani su dijagrami rezultata izmjerenih čvrstoća lameliranih elemenata izrađenih tijekom 2002. i 2003. godine.

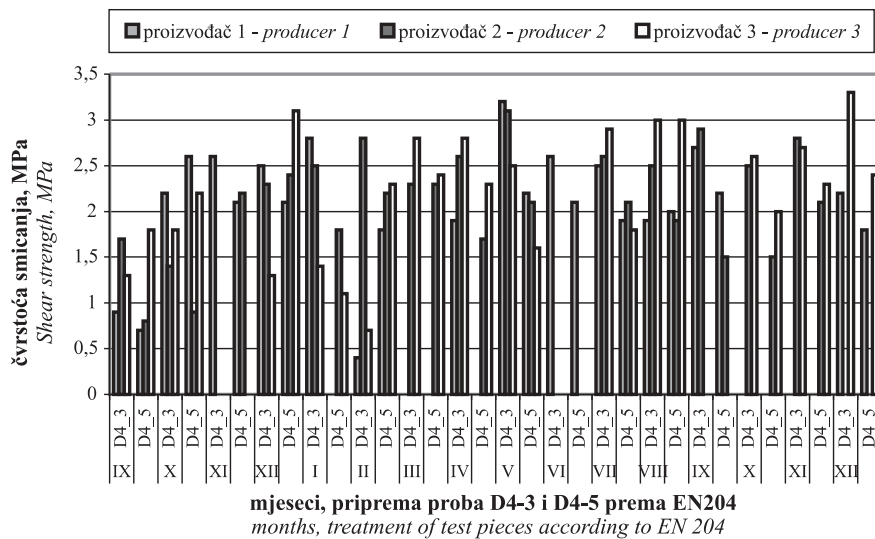
Slika 6. prikazuje distribuciju srednjih vrijednosti čvrstoće na smicanje lameliranih elemenata praćenih tijekom 2004. i 2005. godine. Za izračunavanje srednjih vrijednosti izrađeno je od 12 do 20 proba u uzorku što iznosi 1236 proba upotrijebljenih za ispitivanje prema tretmanu D4-3. Za tretman D4-5 korišteno je 1087 proba, što iznosi ukupno 2 323 probe.

Normom HRN DE1.010 naglašeno je da čvrstoća savijanja produženih elemenata smije imati do 20 % manju čvrstoću u odnosu na ne produžene probe. Podaci iz literature nam kazuju da srednje vrijednosti čvrstoće savijanja masivnog drva jele/smreke iznose od 69,4



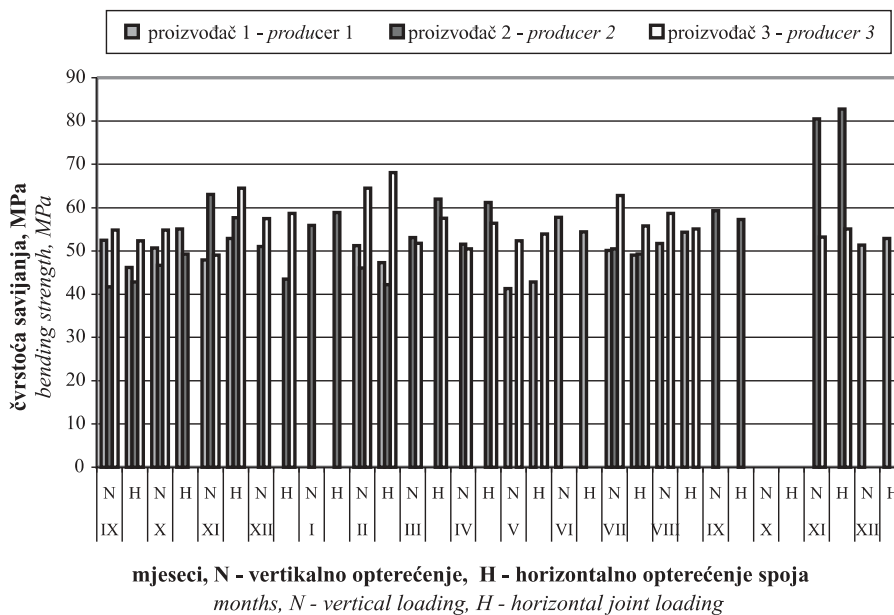
**Slika 3.** Ispitivanje čvrstoće na savijanje produženih elemenata prema HRN D.A1.046, a. Okomito opterećenje spoja, b. Horizontalno opterećenje spoja

**Figure 3** Bending strength test of finger joint timber according to HRN D.A1.046, a. Vertical loading of joint, b. Horizontal loading of joint



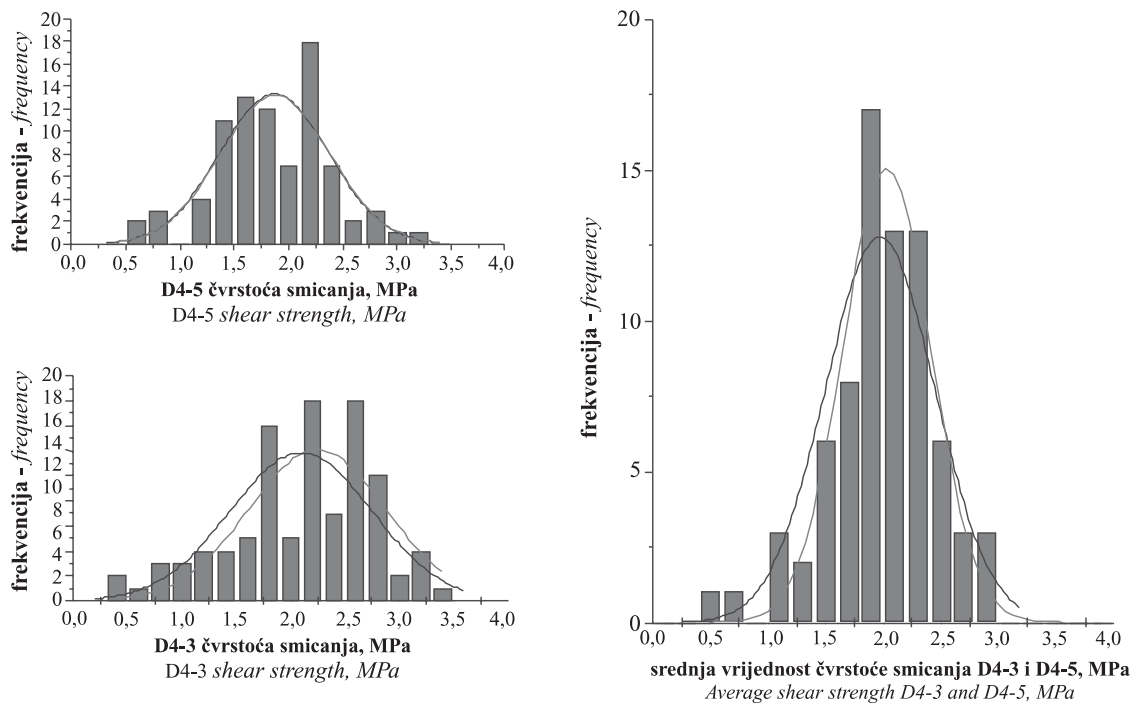
**Slika 4.** Usporedba kvalitete lijepljenja debljinski lijepljenih spojeva lameliranih elemenata triju proizvođača tijekom 2002. i 2003. godine

**Figure 4** Comparison of three different producers concerning the quality of gluing of laminated timber in the period 2002-2003



**Slika 5.** Usporedba kvalitete lijepljenja dužinski lijepljenih spojeva lameliranih elemenata triju proizvođača tijekom 2002. i 2003. godine

**Figure 5** Comparison of three different producers concerning the bending strength of finger joints of timber in the period 2002-2003



**Slika 6.** Distribucija čvrstoća na smicanje lameliranih elemenata dobivena praćenjem šest proizvođača tijekom 2004. i 2005. godine.  
**Figure 6** Distribution of adhesive strength as the presentation of gluing quality of laminated timber in the period 2004 - 2005

do 72,9 MPa, (Požgaj i sur. 1997) odnosno od 60.8 do 64.9 MPa, (Karasahanović, 1988) te na slici 5 možemo uočiti da su vrijednosti produžavanih elemenata u toku 2002. i 2003. godine kod sva tri proizvođača u većini slučajeva postignute.

To se ne može reći za debljinsko lijepljenje tijekom praćenja čvrstoće na smicanje u vremenu od 2002. do 2003. godine.

Na dijagramu praćenja čvrstoće na smicanje lijepljenih elemenata prikazane na slici 4. za tretman D4-3 (čvrstoća na smicanje lijepljenog spoja nakon četiri dana potapanja u vodi  $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$ ), raspon podataka kretao se od 0,4 do 3,3 MPa. Za tretman D4-5 (kuhanje proba u vodi šest sati, zatim hlađenje dva sata u vodi  $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$ ) taj raspon je iznosio 0,7 do 3,0 MPa.

Srednja vrijednost čvrstoće na smicanje za uzorke ispitivane tokom 2004 - 2005 godine za tretmane D4-3 iznosi 2,09 MPa sa standardnom devijacijom 0,41 MPa i koeficijentom varijacije 22,5 %, odnosno, za tretmane D4-5 srednja vrijednost čvrstoće smicanja je 1,87 MPa s devijacijom 0,36 MPa i koeficijentom varijacije 20,5 %.

Ukupna srednja vrijednost čvrstoće smicanja lijepljenog spoja za tretmane D4-3 i D4-5, iznosi 1,97 MPa sa standardnom devijacijom 0,51 MPa i koeficijentom varijacije 28,1 %.

Udio loma po drvu iznosio je, 17 % za tretmane D4-3, odnosno 4 % za tretmane D4-5.

Ako u analizu rezultata izmjerenih čvrstoća pored srednje čvrstoće koja iznosi 1,97 MPa uključimo i rasipanje podataka koje je prikazano standardnom devijacijom i iznosi 0,51 MPa tada možemo izračunati *normativnu čvrstoću* na smik lijepljenih spojeva (Ljuljka i sur. 1978) :

$$\check{C}_n = \tau_{sr} - 2\sigma \quad (3)$$

pri čemu je:

$\check{C}_n$  – normativna čvrstoća, MPa

$\tau_{sr}$  – srednja čvrstoća na smik, MPa

$\sigma$  – standardna devijacija

Normativna čvrstoća prema jednadžbi (3) iznosi 0,95 MPa.

Prikaz promjene vrijednosti čvrstoća na smicanje tijekom 2004. i 2005. godine, dan je na dijagramima promjena po mjesecima na slikama 7 i 8.

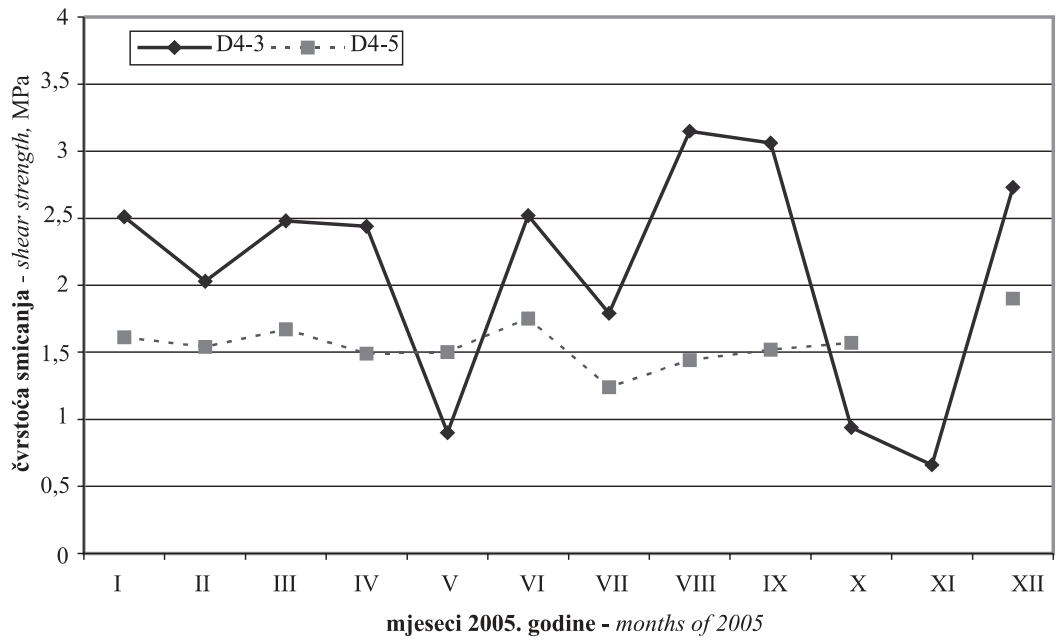
Analiza rezultata pokazala je da probe za ispitivanje kvalitete lijepljenja debljinski lijepljenih spojeva nisu doseglye postavljenu minimalnu vrijednost čvrstoće na smik (izračunanu prema jednadžbi 2) od 2,6 MPa. Mali broj proba postigao je tu čvrstoću, ali srednja vrijednost čvrstoće na smik je ispod te vrijednosti. Analizom lomnih površina zaključujemo da se lom kod većine proba dogodio u sloju ljepila mada je bilo i čistih kohezijskih lomova po drvu (sl. 9).

Na bazi minimalne čvrstoće  $\tau_{w>t.z.v.}$  i normativne čvrstoće na smik  $\check{C}_n$  možemo izračunati pouzdanast kvalitete lijepljenja  $P$  prema jednadžbi (4):

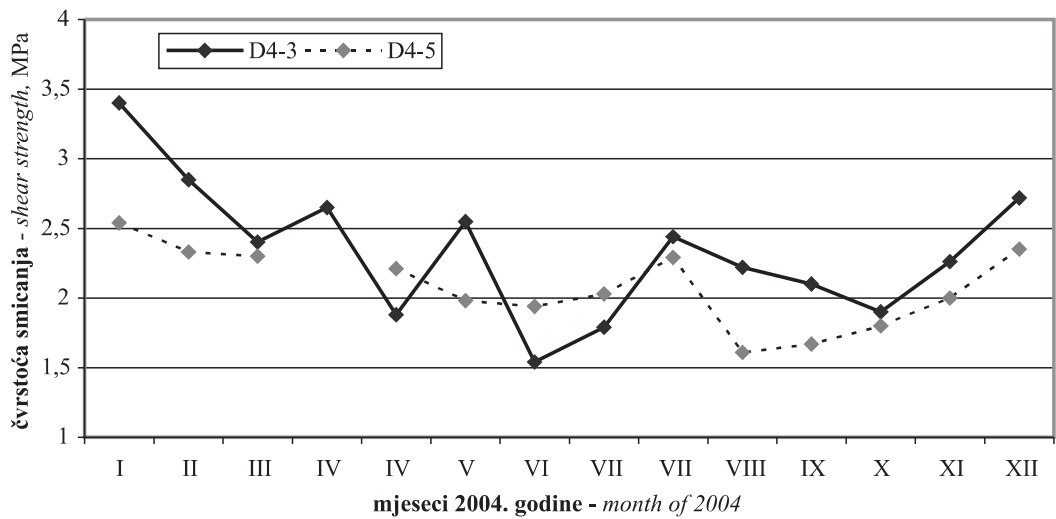
$$P = \check{C}_n / \sigma_{w>t.z.v.} \quad (4)$$

Ona iznosi 0,365. Dakle, izmjerena čvrstoća na smik iznosi samo 36,5 % potrebne minimalne čvrstoće od 2,6 MPa.

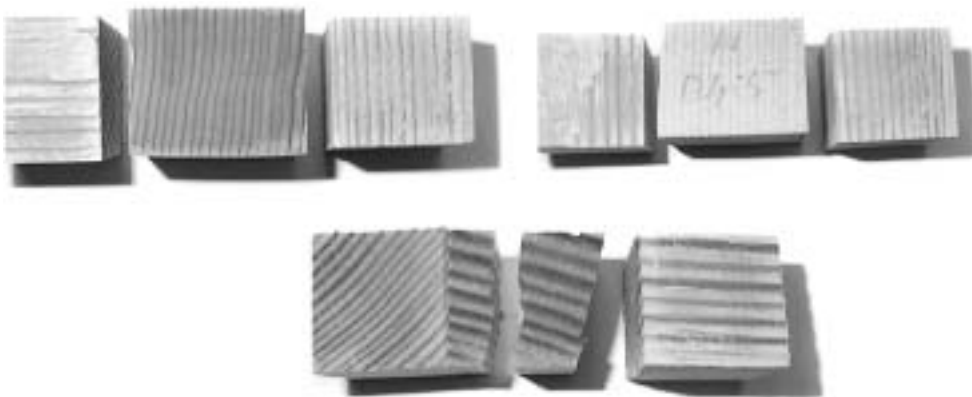
Vizualni izgled lameliranih elemenata, ocijenjen prema vanjskim lamelama dobar je, jer je radijalni rez koji se zahtijeva kod vanjskih lamela već je tehnološki savladan u našim proizvodnjama. Ipak, što se tiče konstrukcije lamela, još uvijek imamo tipične greške nepravilnog slaganja elemenata u lameli s obzirom na položaj godova, što je prikazano na slici 10. Položaj godova između elemenata u lameli trebao bi biti simetričan, tj. pravilno izmjeničan (Turkulini i Ljuljka, 1989).



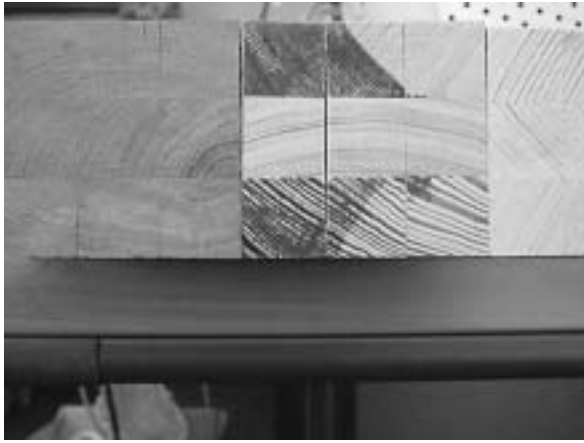
Slika 7. Prikaz kolebanja vrijednosti čvrstoće lijepljenih spojeva na smicanje tijekom 2005. godine  
 Figure 7 Presentation of results of bonding quality in 2005



Slika 8. Prikaz kolebanja vrijednosti čvrstoće lijepljenih spojeva na smicanje tijekom 2004. godine  
 Figure 8 Presentation of results of bonding quality in 2004



Slika 9. Vrste lomova lijepljenog spoja  
 Figure 9 Some kinds of glue areas of glued laminated timber



**Slika 10.** Neke od konstrukcija lameliranih elemenata  
**Figure 10** Some kinds of construction of glued laminated timber

Posljedica takvih konstrukcija moguće su delaminacije prikazane na slici 11, koje nastaju zbog većih deformacija srednje lamele.

## 5. ZAKLJUČAK 5 CONCLUSION

Lamelirani elementi iz tekuće proizvodnje ispitivani u razdoblju od 2002. do 2005. godine nisu pokazali zahtijevanu kvalitetu lijepljenja debljinski lijepljenih spojeva prema kriterijima postavljenim u ovom radu.

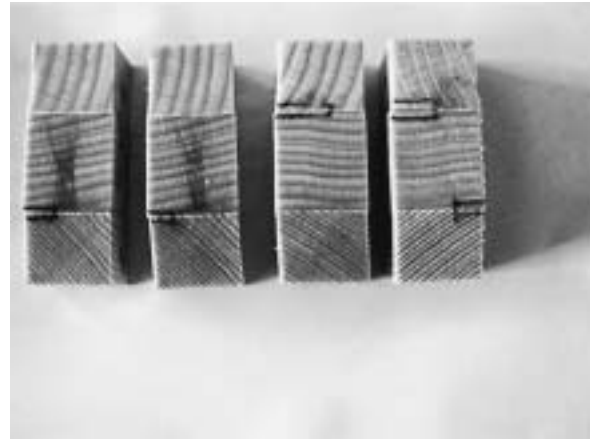
Ukupna srednja vrijednost čvrstoće na smicanje debljinski lijepljenih spojeva za tretmane D4-3 i D4-5 iznosi 1,97 MPa, sa standardnom devijacijom 0,51 MPa i koeficijentom varijacije 28,1 % iz čega je vidljivo da nije dostignuta postavljena minimalna vrijednost čvrstoće na smik (izračunatu putem jednadžbe 2) od **2,6 MPa** već je to 36,5% zahtijevane minimalne vrijednosti, ako se uzme u obzir normativna čvrstoća.

Udio loma po drvu iznosio je 17 % za tretmane D4-3, odnosno 4 % za tretmane D4-5, a tako mali udio loma po drvu možemo objasniti nedovoljnom čvrstoćom lijepljenja.

Uočeno je, da lijepljeni spojevi izlagani tretmanu D4-5 imaju veće vrijednosti čvrstoće na smicanje u odnosu na spojeve izlagane tretmanu D4-3. Razlog tome može biti usporena polimerizacija ljepila i/ili relaksacija unutrašnjih naprezanja u lijepljenom spoju tijekom tretiranja (Bogner i sur., 1999) što bi se moralo dodatno istražiti, a može upućivati i na variranje kvalitete ljepila tijekom proizvodnje ili distribucije.

U daljnjim istraživanjima trebalo bi istražiti moguće uzroke niske pouzdanosti kvalitete lijepljenja lameliranih elemenata ( $P = 0,365$ ). Ta bi istraživanja trebala obuhvatiti ispitivanje kvalitete izvedbe svih sedam ranije nabrojanih faza obrade kako bi se poboljšala kvaliteta izvedbe svake pojedine faze, a time i kvaliteta lijepljenja lameliranih elemenata.

Možemo reći da je zadovoljavajuću čvrstoću lijepljenja, kako pri produžavanju tako i pri debljinskom lijepljenju drvnih materijala kao što su jelovina/smrekovina moguće postići samo uz ozbiljniji tehnološki nadzor parametara proizvodnje.



**Slika 11.** Delaminacija sljubnice na probama nastale tijekom ispitivanja

**Figure 11** Delamination of glue line of samples during testing

Međutim, tom se problemu ne pridaje dovoljna pozornost i proizvođači se uglavnom zadovoljavaju uvjerenjem o kvaliteti ljepila (klasa otpornosti) iskazanom na osnovu ispitivanju ljepila prema EN 204/EN 205.

Na osnovi verificiranih rezultata kontinuiranog ispitivanja čvrstoće na savijanje i čvrstoće na smicanje lijepljenih elemenata ovlaštenu laboratorij mogao bi izdati potvrdu o kvaliteti lijepljenja lameliranih elemenata. Rezultati ispitivanja predstavljali bi procjenu pouzdanosti kvalitetnog vođenja procesa proizvodnje lameliranih elemenata, što je predloženo u ovom radu. Kako je već navedeno procjena pouzdanosti kvalitete lijepljenja  $P = 1$  idealna je i neće se moći postići zbog mnogih činitelja na koje nije moguće utjecati kao što su anizotropnost drva i nemogućnost potpunog pridržavanja parametara tehnološkog procesa. Stoga predlažemo da se kao realna vrijednost pouzdanosti faze obrade  $P_n$  uzme vrijednost od 0,9. Tada bi ukupna procjena pouzdanosti kvalitete lijepljenja iznosila  $P = 0,478$ . Ako bi takva procjena pouzdanosti bila manja od  $P < 0,45$  to bi bio znak da neka od faza procesa nije kvalitetno izvedena.

Osim toga takvi rezultati predstavljaju osnovne sigurnosne pokazatelje trajnosti materijala ugrađenog u krajnji proizvod.

Daljnja potvrda kvalitete lameliranih elemenata treba biti trajnost u eksploataciji tj. postojanost čvrstoće lijepljenih spojeva na temperaturu i test delaminacije, koji se na našem području još uvijek ne traže.

Ispitivanje čvrstoće na smicanje kao ocjenu kvalitete lijepljenja lameliranog elementa potrebno je kontinuirano ili periodično provjeravati, što bi bila potvrda pravilnog izbora ljepila i kontrole režima proizvodnje, dakle kontrola kvalitete izvedbe svih faza proizvodnje.

## 6. LITERATURA 6 REFERENCES

1. Bogner, A.; Grbac, I.; Mihulja, G. 1999: Zaostala naprezanja u lijepljenim drvnim konstrukcijama, *Drvna industrija*, 50 (4), 139-143.
2. Green, D. W.; Evans, J. W.; Craig, B.A. 2003: Effect of low relative humidity on properties of structural lumber products, *Wood and Fibre Science*, 35 (2), 247-265



3. Karasahanović, A. 1988: Nauka o drvetu, Svjetlost, Sarajevo.
4. Ljuljka, B. i sur., 1978: Lijepljenje u tehnologiji finalnih proizvoda. SIZ odgoja i usmjerenog obrazovanja šumarstva i drvne industrije SRH.
5. Kollman, F. P.; Cote, W. A. 1968: Principle of Wood Science and Technology. Solid Wood. New York.
6. Požgaj, A.; Chovanec, D.; Kurjatko, S.; Babiak, M. 1997: Štruktúra a vlastnosti dreva, Priroda, a. s. , Bratislava.
7. Šorn, Š. 2005: Istraživanje fizikalnih svojstava LVL ploča za primjenu u građevinarstvu i proizvodnji građevinske stolarije, disertacija.
8. Turkulin, H., Ljuljka, B., 1989: Lamelirana građevinska stolarija, znanstvena studija, Zagreb.
9. \*\*\* EN 204 Classification of thermoplastic wood adhesives for non-structural applications.
10. \*\*\* EN 205 Test methods for wood adhesives for non-structural applications.
11. \*\*\* EN 392 Glue laminated timber – Shear test of glue lines.
12. \*\*\* HRN D. E1. 010 Veze drveta. Zupčasti spoj za nastavljanje po dužini.

**Corresponding address:**

Assist. Prof. ŠTEFO ŠORN, PhD

Faculty of Machine Engineering  
Vilsonovo šetalište 6  
71000 SARAJEVO  
Bosnia and Herzegovina  
e-mail: sstefo\_s@yahoo.com