



UDK: 674-419.3:674.21

UDK: 630\*832.282:630\*833.152

Оригинални научни рад

DOI: 10.2298/GSF1715167Z

## СВОЈСТВА И МОГУЋНОСТ УПОТРЕБЕ КОМБИНОВАНОГ LVL-А ТОПОЛЕ И БУКВЕ ЗА ИЗРАДУ ПРОЗОРСКИХ ОКВИРА

Владислав Здравковић, ван. проф., Универзитет у Београду – Шумарски факултет,  
(vladislav.zdravkovic@sfb.bg.ac.rs)

Александар Ловрић, доцент, Универзитет у Београду – Шумарски факултет

Игор Џинчић, ван. проф., Универзитет у Београду – Шумарски факултет

MSc Немања Пантовић, Универзитет у Београду – Шумарски факултет

**Извод:** Предмет овог рада је испитивање физичких и механичких својстава тополових LVL плоча споља додатно ојачаних буковим фурниром, као и испитивање чврстоће угаоних елемената везе за прозор израђених од овог материјала. Плоче су пресоване сувим врућим поступком у индустријским условима, а као везивно средство коришћен је FF фенол - формалдехидни лепак. Узорци за испитивање чврстоће угаоних спојева спајани су двоструким призматичним чепом и прорезом помоћу PVA-ц лепка класе D4. Статистичка анализа показала је да постоји значајна разлика у влажности и густини плоча по дебљинама док код тврдоће плоча значајност разлике не постоји. Резултати смицајне чврстоће у слоју лепка показали су да су и FF и PVA-ц D4 лепак испунили услове прописане стандардом. Подаци добијени испитивањем елемента везе за прозор показали су да спој двоструки чеп и прорез спојен помоћу PVA-ц лепка тип D4, у потпуности може применити у производњи и експлоатацији прозора појачане носивости.

**Кључне речи:** топола, буква, LVL, физичка и механичка својства, грађевинска столарија

### УВОД

Да би се изашло у сусрет захтевима модерне архитектуре, често је потребно урадити одређене модификације, односно побољшати поједина својства и повећати трајност дрвним производима. То се може урадити разним видовима модификације дрвета или применом нових “инжењерских” производа. Један такав производ јесте и LVL (енгл. - laminated veneer lumber).

LVL је структурни материјал, произведен од љуштеног фурнира пресовањем без укрштања суседних слојева (Gungor et al. 2006). Пресовање може бити хладно или на високим температурама - у зависности од врсте и типа лепка

који се користи и дебљине LVL-а. Избор врсте дрвета, као једног од најбитнијих фактора, утиче на квалитет, механичка и физичка својства, могућност касније обраде производа, као и на његову трајност. LVL се најчешће производи од дуглазије и јужног бора (Ramazan et al. 2010), али могу се користити све врсте чија су механичка и физичка својства прихватљива, укључујући и брзорастуће врсте попут тополе. Често се у индустрији намештаја LVL израђује и од дрвета букве, како због боје и текстуре, тако и због чврстоће и могућности савијања будућег производа.

Употреба LVL-а је кренула почетком тридесетих година прошлог века, док је своју експанзију доживео током Другог светског рата (Šorn 2006). LVL је последњих двадесетак година постао веома важан производ који има широку примену. Посебно се користи у грађевинарству, као конструктивни елемент, када је потребна велика носивост (кровни носачи са великим распонем, куће од дрвета и друге носиве конструкције), али се користи и као неконструктивни елемент: за израду степеница, израду намештаја, довратника, допрозорника и др. (Слика 1).

Једна од могућих примена LVL-а у грађевинској столарији могла би бити и израда прозорских рамова. До скора, стандардно прозорско крило имало је попречни пресек од 68 x 68 mm и уграђена два стакла. Међутим, тежња за смањењем топлотних губитака на грађевинској столарији довела је до појаве повећања броја слојева стакла. Увођење трослојног стакла додатно је оптеретило како угаоне рамовске спојеве, тако и шарке. Како се прозори праве углавном од пуног дрвета чамовине (или од лепљених ламела), убацивање трећег стакла најчешће значи и повећање попречног пресека прозорског крила. У релативно кратком временском периоду (приближно 20-так година) дебелина крила прозора се увећала са 68 на 110 mm. Имајући у виду потребу за смањењем утрошка основног материјала приликом конструисања и израде прозорског крила, у оквиру рада анализирана је могућност увођења новог материјала. Основни циљ овог рада је

био да се испита да ли се од LVL-а, чији су унутрашњи слојеви од тополовог, а спољашњи од буквог фурнира, може направити угаони спој без повећања попречног пресека прозорског рама, који има довољну чврстоћу да издржи додатна оптерећења.

## МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

### Коришћени материјал

У експерименту је коришћен љуштени буквог фурнир дебелине 2,5 mm фабрике “Симпо ШИК” из Куршумлије и љуштени тополов фурнир дебелина 2,0 и 3,0 mm фабрике “Нови дрвени комбинат” из Сремске Митровице. Буквени фурнири су израђени у димензијама од 2600x1400 mm и 2600x700 mm, а топоволи фурнири били су пуних формата без присуства испадајућих чворова, димензија 2600x1400 mm. При изради LVL-а, коришћен фенол-формалдехидни (FF) лепак као најчешће примењивано везивно средство у производњи плоча за спољашњу употребу (Rafael et al. 2015). Лепак је припремљен по прописаној рецептури у фабрици “Симпо ШИК”.

### Израда плоча

После класирања, буквим фурнирима обрађене су сљубнице, а затим су они спојени у формате димензија 2600x1400 mm. Потом су од буквох и тополових формата формиране



**Слика 1.** лево: Конструкција Метропол Парасол, потпуно израђена од LVL-а ([www.architectureanddesign.com.au](http://www.architectureanddesign.com.au)); средина: Конструкција крова са великим распонем израђена од LVL греда ([www.hochstrate.de](http://www.hochstrate.de)); десно: Примена LVL-а као неконструктивног елемента ([www.pinterest.com](http://www.pinterest.com))

**Табела 1.** Приказ конструкција плоча по дебљинама фурнира

| Дебљина плоча        | 10.5 mm | 12 mm | 14 mm | 19.5 mm |
|----------------------|---------|-------|-------|---------|
| Фурнир буква 2.5 mm  | x2      | x2    | x2    | x2      |
| Фурнир топола 2 mm   | x2      | /     | x4    | x4      |
| Фурнир топола 3,0 mm | x1      | x3    | x1    | x3      |

конструкције плоча. Слагање је вршено на исти начин за сваку плочу: за спољашње слојеве коришћени су букви формати, а за унутрашње слојеве одговарајућа комбинација дебљина тополовог фурнира од 2,0 и 3,0 mm (Табела 1).

Наношење лепка се вршило на машини са ваљцима у коју су плаштеви убацивани ручно. Просечни нанос лепка био је око 210 g/m<sup>2</sup>. Плоче су пресоване на деветоетажној преси “Пагони”. Режији пресовања нису били исти за све дебљине (Табела 2). Након пресовања плоче су остављене да се кондиционирају 24h. После кондиционирања, плоче су обрађене на димензије од 2500x1200 mm.

**Табела 2.** Режији пресовања

| Режим            | Дебљина         |         |
|------------------|-----------------|---------|
|                  | 10.5; 12; 14 mm | 19,5 mm |
| Време (мин.)     | 15              | 20      |
| Притисак (МПа)   | 12              | 12      |
| Температура (°C) | 130             | 140     |

## Израда елемената и епрувета

Испитивања физичких и механичких својстава плоча извршена су у лабораторијама Шумарског факултета Универзитета у Београду. Свака плоча је прво опкројена како би се из даље употребе избациле спољашње зоне плоча, затим су плоче пререзиване на пола, да би се потом из тих половина изрезивали елементи димензија 1250x80 mm. Методом случајног избора изабрани су елементи за изрезиване епрувете димензија 50x80 mm (испитивање влажности, густине и тврдоће плоча) и 25x80 mm (испитивање смицајне чврстоће у слоју лепка), док су остали елементи послужили за израду елемената везе за прозоре.

## Испитивање влажности и густине плоча

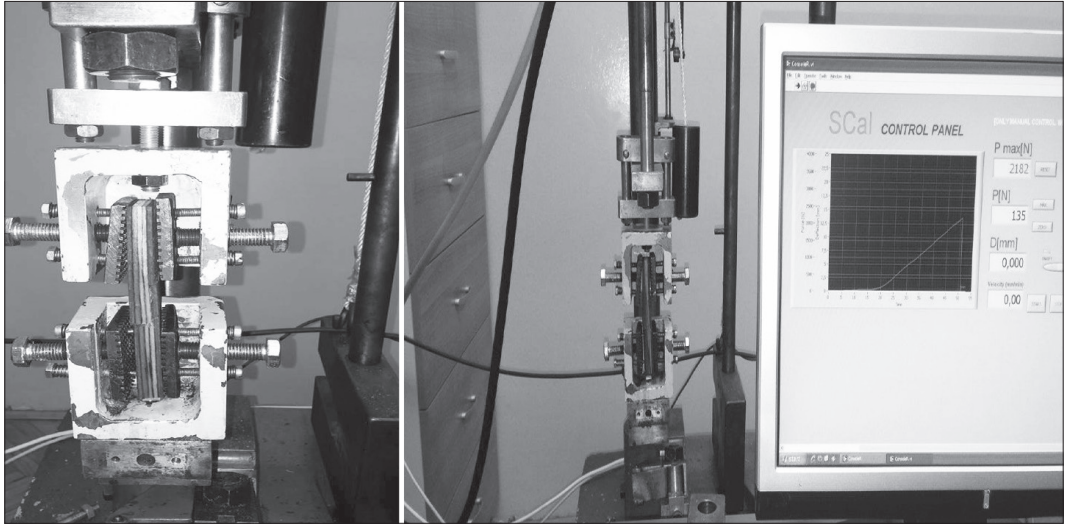
При изради епрувета за одређивање влажности и густине, водило се рачуна да се између сваке епрувете одбаци део плоче (приближно димензија једне епрувете), како би се добили што веродостојнији подаци о расподели влажности и густине. Укупно је израђено 110 епрувета. Влажност кондиционираних епрувета (Т≈20°C и ф≈60%) одређена је гравиметријском методом, а густина је одређена мерењем масе на дигиталној ваги (тачности 0,01g) и мерењем димензија помоћу дигиталног кљунастог мерила (тачности 0,01mm).

## Испитивање тврдоће епрувета

За испитивање тврдоће користиле су се исте епрувете као и за испитивање влажности и густине. Тврдоћа је испитивана по методи Бринела, са куглицом пречника 10 mm и силом од 1000 N по стандарду SRPS EN 1534.

## Испитивање смицајне чврстоће у слоју лепка

Испитивање смицајне чврстоће у слоју лепка урађено је према захтевима стандарда EN 314. Испитиван је квалитет лепљене везе за три различите врсте везе: топола-топола, топола-буква и буква-буква. Спојеви топола-топола и топола-буква настали су при изради LVL плоча, док је спој буква-буква добијен накнадним изрезивањем елемената из плоча и њиховим лепљењем у одговарајуће блокове. Испитивање прве две врсте везе вршено је на по тридесет епрувета. Испитивање везе буква-буква урађено тако што су пре слепљивања епрувете брушене брусном траком са три различита степена

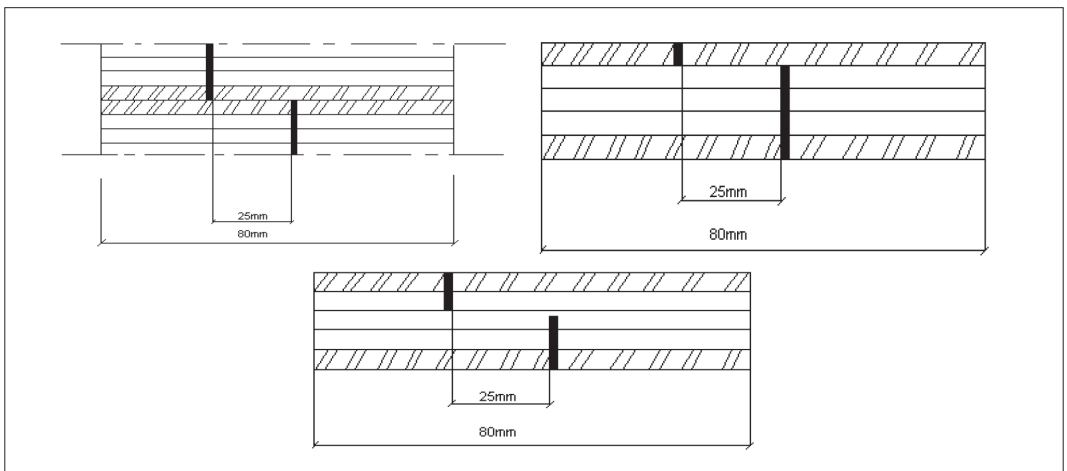


Слика 2. Процес испитивања смицајне чврстоће у слоју лепка на уређају “Wood tester WT4”

гранулације (P 60, P 80 и P 100). По очвршћавању лепка, чврстоћа споја је испитана на по 20 епрувета за сваки степен гранулације. Лепак који је коришћен приликом испитивања спојева буква-буква био је PVA-ц D4, док је за друга два типа спојева коришћен FF лепак. Димензије свих епрувета биле су 25x80 mm. Испитивање се вршило на “Wood tester WT4” уређају (Слика 2). Свака епрувета на себи је имала за-

секе који су засеци на истој раздаљини, док је дубина засека била различита (Слика 3).

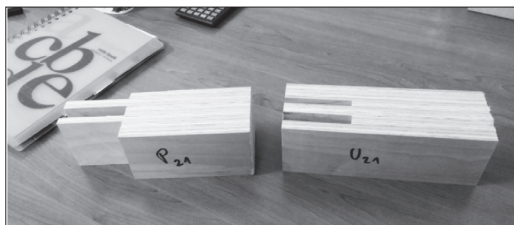
Испитивање квалитета лепљене везе код споја топола-топола и споја буква-топола вршено у складу са захтевима стандарда EN 314 за испитивање производа који ће се користити у спољашњим условима, а за спој буква-буква коришћен је стандард EN 314 за производе у ентеријеру.



Слика 3. Горe лево: Изглед епрувете са засеком на којој је испитиван слој буква – буква; Горe десно: Изглед епрувете са засеком на којој је испитиван слој буква-топола; Доле средина: Изглед епрувете са засеком код које је испитиван слој топола-топола.

## Израда елемената везе за прозор

Процес израде елемената везе за прозоре започет је слепљивањем претходно изрезаних елемената у блокове попречног пресека 68x68 mm. Сваки блок се састојао из шест елемената (два елемента од 10,5 mm и четири елемента од 12 mm). Елементи (ламеле) су спајане у рамовској преси на собној температури, применом PVA-ц лепка, тип D4. Количина наноса била је  $250 \pm 10 \text{ g/m}^2$ . Након кондиционарања, слепљени блокови су димезионисани и израђени су елементи везе. За спајање угаоних проба кориштен је спој двоструки чеп и прорез (Слика 4). Геометрија споја је бирана тако да је лепљење угаоних спојева извршено по слоју буковог фурнира. После коначног димезионисања димензије проба су износиле 200x60x68mm.



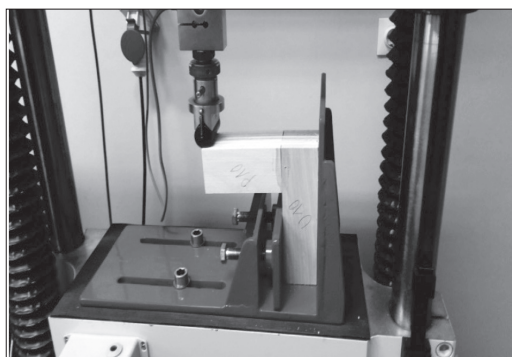
Слика 4. Изглед блокова на којима је израђен елемент везе "двоструки чеп и прорез" у слојевима буковог фурнира

## Испитивање квалитета угаоне везе за рам прозора

Испитивање чврстоће угаоних спојева који се примењују у производњи грађевинске столарије постало је веома актуелно у последњој деценији. Међутим и поред релативно великог броја радова и студија који су урађени на ову тему (Altinok, M., et al (2009); Can, O., Onal, M.M., (2007); Gokdemir, A., Yildiz, K., (2001); Turkulin, H., (1993)), добијене резултате је тешко поредити. Разлог за овај недостатак треба тражити, пре свега, у непостојању стандардизоване методе за испитивање чврстоће угаоних спојева код рамова. Овакво стање доводи до ситуације да највећи број истраживача добијене резултате може да пореди само са сво-

јим претходним испитивањима. Такође, варијација димензија попречних пресека гредица узорака доводи до промене у површини лепљења која је један од главних фактора који утичу на чврстоћу угаоне везе код грађевинске столарије.

Испитивање квалитета угаоне везе вршено је на уређају WT5UT (Слика 5). Површина сваке слубнице угаоног споја износила је 60x60 mm (укупно четири слубнице). Приликом испитивања рачунат је момент силе лома тестираних узорака.



Слика 5. WT5UT, уређај на коме се вршило испитивање механичких својстава елемента везе

## РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

### Влажност и густина плоча

Влажност плоча кондиционираних на  $T \approx 20^\circ\text{C}$  и  $\phi \approx 60\%$ , кретала се у опсегу од 6,22 до 7,2% (Табела 3). Ове вредности су ниже од 10,9% колико би према психрометарским таблицама била очекивана равнотежна влажност за масивно дрво. Како су у питању дрвне плоче, мања равнотежна влага се може објаснити упресовањем и утицајем лепка у конструкцији плоче (Lee i Biblic 2007). Вредности влаге равнотеже ових плоча, приближене су вредности од 7,9% колико је добио Ловрић (2015) за тополову фурнирску плочу. Нешто ниже вредности у овом истраживању могу бити последица различитих режима пресовања, количине лепка и конструкција плоча.

Табела 3. Резултати мерења влажности (%)

| Дебљина плоча после пресовања | 10 mm   | 12 mm   | 13 mm   | 18 mm   |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Бр. узорака                   | 20 ком. | 60 ком. | 10 ком. | 19 ком. |
| Сред. вредност                | 7,20    | 6,80    | 6,22    | 6,97    |
| мин.                          | 6,66    | 6,26    | 5,83    | 6,35    |
| мах.                          | 7,85    | 7,52    | 6,88    | 7,69    |
| Стандардна дев.               | 0,39    | 0,35    | 0,38    | 0,31    |
| Коеф. варијације              | 5,52    | 5,24    | 6,11    | 4,42    |

Резултати достигнутих влажности плоча статистички су обрађени помоћу једносмерне ANOVA на нивоу значајности од 99%. Резултати су показали да постоји разлика у равнотежним влажностима плоча  $F(3,109)=17,735$ ,  $p<.01$ , а "Tukey" post hoc тест је показао да се сигнификантне разлике појављују између већине упоређиваних парова. До оваквих резултата највероватније је дошло услед различитих конструкција плоча. Код свих плоча дебљина букових фурнира је била иста (2,5 mm), док се дебљина и број тополових фурнира разликовао (2,0 или 3,0 mm у зависности од жељене дебљине плоче).

Густина плоча кретала се од 0,573 g/cm<sup>3</sup> за плочу дебљине 12 mm, до 0,611 g/cm<sup>3</sup> за плочу дебљине 10 mm (Табела 4). Ове вредности су значајно веће од вредности од 0,440 g/cm<sup>3</sup>, колико су добили Бал и Бекташ (2014), за тополову FF фурнирску плочу направљену од клона тополе *Populus x euramericana* 'I-214' (врсте која се користи у фабрици "Нови дрвни комбинат") и ближе су вредностима густине букове (*Fagus orientalis*) FF фурнирске плоче од 0,656 g/cm<sup>3</sup> (Bal i Bektaš 2014). У поменутом истраживању тополове фурнирске плоче пресоване су

под притиском од 0,8 МПа, а за букве је притисак износио 1,2 МПа. Како је у овом истраживању за израду комбинованог тополовог и буковог LVL-а коришћен притисак од 1,2 МПа, није изненађујуће да су вредности густине ближе буковој фурнирској плочи, иако је буков фурнир коришћен само за лице и наличје плоча. Такође, треба узети у обзир да је ово истраживање урађено на фурниру букве *Fagus sylvatica*, врсте чија просечна густина у апсолутно сувом стању износи 0,690 g/cm<sup>3</sup> (Šoškić, Popović 2002), док густина врсте *Fagus orientalis* варира (у зависности од станишта) од 0,589 g/cm<sup>3</sup> до 0,645 g/cm<sup>3</sup> (Sadegh i Rakhshani 2011).

Резултати статистичке анализе  $F(3,109)=32,461$ ,  $p<.01$  показали су да ростоји сигнификантна разлика у густинама упоређиваних епрувета. На основу Tukey post hoc теста утврђено је да је плоча дебљине 10 mm имала значајно већу густину од осталих плоча. Узрок овакве појаве је првенствено тај што је учешће буковог фурнира у конструкцији ове плоче највеће (50% букве, 50% тополе), док је код свих осталих плоча значајно мање (нпр. плоча од 12mm - букве 35%). Такође, плоча од 10 mm била је најтања, а како са растом дебљине плоче

Табела 4. Резултати мерења густине плоча (g/cm<sup>3</sup>)

| Дебљина плоча после пресовања | 10 mm   | 12 mm   | 13 mm   | 18 mm   |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Бр. узорака                   | 20 ком. | 60 ком. | 10 ком. | 19 ком. |
| Сред. вредност                | 0,611   | 0,573   | 0,582   | 0,587   |
| min.                          | 0,583   | 0,548   | 0,569   | 0,561   |
| мах.                          | 0,641   | 0,605   | 0,590   | 0,624   |
| Стандардна дев.               | 0,01    | 0,01    | 0,005   | 0,018   |
| Коеф. варијације              | 2,59    | 2,47    | 1,01    | 3,15    |

**Табела 5.** Резултати мерења тврдоће (МПа)

| Дебљина плоча росле пресовања | 10 mm   | 12 mm   | 13 mm   | 18 mm   |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Бр. узорака                   | 20 ком. | 60 ком. | 10 ком. | 19 ком. |
| Сред. вредност                | 35,19   | 36,29   | 37,88   | 35,88   |
| min.                          | 33,07   | 26,06   | 28      | 27,5    |
| max.                          | 37,88   | 44,6    | 43,68   | 41,05   |
| Стандардна дев.               | 1,28    | 3,93    | 4,66    | 3,27    |
| Коеф. варијације              | 3,64    | 10,83   | 12,30   | 9,14    |

че опада упресовање (Nikolić 1988), више упресована плоча имаће и већу густину.

### Тврдоћа плоча

Тврдоћа је испитивана на епруветама које су биле кондициониране на собним условима климе ваздуха ( $T \approx 20^\circ\text{C}$  и  $\phi \approx 60\%$ ). Тестирање добијених резултата помоћу једносмерне ANOVA  $F(3,109)=1,343$ ,  $p>.01$  показало је да нема значајних разлика у тврдоћи упоређиваних плоча. Овакви резултати могли би се објаснити тиме што је тврдоћа испитиваних епрувета рађена по методи Бринела, која испитује само површинску тврдоћу. С обзиром да смо на свим испитиваним површинама епрувета имали исту врсту фурнира (буков фурнир), исте влажности, логично је и да нема значајне разлике у тврдоћи плоча. Овоме у прилог говори и то што су средње вредности тврдоћа у овом истраживању (Табела 5), приближне средњој вредности тврдоће за букву управо на влаканица која по Шошкићу и Поповићу (2002) износи 34МПа.

### Смицајна чврстоћа у слоју лепка

Резултати испитивања (Табела 6), показали су да су код првог типа лепљене везе (топола-топола) епрувете скоро искључиво пуцале у зони дрвета. На основу овога може се закључити да није дошло до нарушавања квалитета лепљене везе после одговарајућег предтретмана. Код другог типа лепљене везе (топола-буква), дошло је до пада учешћа лома у зони дрвета (на око 65%), међутим како је и код првог и код другог типа споја средња вредност смицајне чврстоће била далеко већа од минимално предвиђених 1МПа (EN 314), може се закључити да су све испитиване епрувете прошле тест, чиме се доноси закључак да је коришћени FF лепак испунио услове прописане стандардом.

Испитивање треће врсте лепљене везе (буква – буква), показало је другачије резултате. Код све три испитиване гранулације учешће лома у зони дрвета је било незнатно, што указује на нарушавање лепљене везе после одговарајућег предтретмана (24h у води на  $t=20^\circ\text{C}$ ), али како су вредности смицајне чврстоће у слоју лепка биле преко 1МПа и ови узорци су задовољили критеријуме стандарда.

**Табела 6.** Резултати испитивања квалитета лепљене везе после одговарајућих предтретмана (EN 314)

| Испитивање<br>Спој | Спољашњи       |       |             | Суви           |       |             |
|--------------------|----------------|-------|-------------|----------------|-------|-------------|
|                    | $\sigma$ (МПа) | W (%) | Прошла тест | $\sigma$ (МПа) | W (%) | Прошла тест |
| топола - топола    | 2,872          | 97,33 | +           | -              | -     | -           |
| топола - буква     | 2,926          | 65,67 | +           | -              | -     | -           |
| буква - буква Р60  | -              | -     | -           | 1,437          | 0     | +           |
| буква - буква Р80  | -              | -     | -           | 1,362          | 0     | +           |
| буква - буква Р100 | -              | -     | -           | 1,621          | 3,33  | +           |

\*  $\sigma$  - смицајна чврстоћа у слоју лепка; W - учешће лома у зони дрвета.

Статистичком анализом података  $F(2,31)=1,006$ ,  $p>.01$ , дошло се до резултата да нема значајне разлике у смицајној чврстоћи између епрувета брушених са три различите гранулације брусног папира. Иако је код најфинијег брусног папира (P100) евидентирана нешто већа смицајна чврстоћа у односу на друге две, релативно велика варијација података могла је утицати на резултате статистичке анализе.

### Квалитет угаоне везе за рам прозора

Резултати тестирања угаоне везе рама прозора израђеног од комбинованог буковог и тополовог LVL-а, показали су да је угаона веза попуштала при просечној сили лома од 7093 N, односно просечном моменту силе од 900 Nm (Табела 7). Ова вредност момента силе је 2 до 3 пута већа у односу на вредности које су добили Hrovatin et al. (2013) за угаону везу рама прозора лепљену различитим лепковима. У том истраживању аутори су користили профиле смрче попречног пресека 68 x 98 mm, а угаони спој урађен је помоћу дрвеног прстена (спој који је добио златну медаљу на Међународном сајму иновација у Женеви и на Међународном сајму иновација у Nürnbergu - патент бр. РТС/SI2005/000030). Иако су коришћене различите методе испитивања, резултати добијени у овом истраживању наговештавају да би се комбиновани топола-буква LVL, могао успешно користити за израду рама прозора.

Анализом изгледа лома елемента везе примећено је да су се јављале две врсте ломова (Слика 6). Лом типа „А“ који је пуцао ван еле-

**Табела 7.** Резултати мерења квалитета угаоне везе за рам прозора

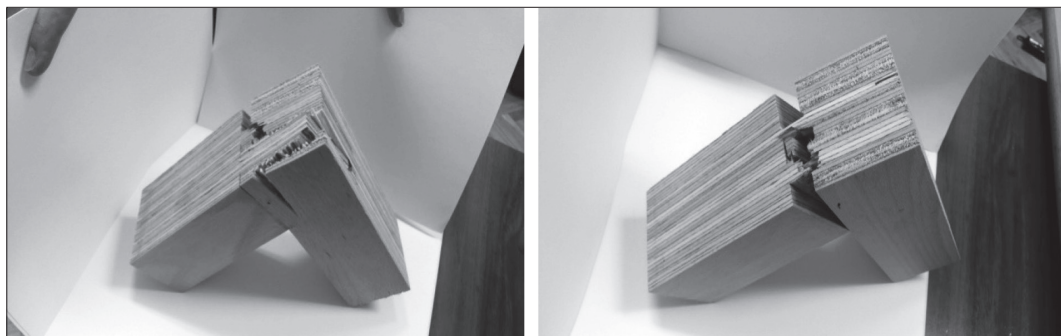
|                  | Сила лома (N) | Момент силе (Nm) |
|------------------|---------------|------------------|
| Бр. узорака      | 20 ком.       | 20 ком.          |
| Сред. вредност   | 7093,00       | 900,82           |
| min.             | 4330,00       | 550,86           |
| max.             | 9362,00       | 1204,79          |
| Стандардна дев.  | 1187,38       | 158,01           |
| Коеф. варијације | 16,74         | 17,54            |

мента лепљене везе ро спољној зони узорка и лом типа „Б“ који је пуцао ро елементу везе. Између ове две врсте ломова није примећена статистички значајна разлика у силама које су изазвале лом.

### ЗАКЉУЧАК

После кондиционирања у собним условима климе ваздуха ( $T \approx 20^\circ \text{C}$  и  $\phi \approx 60\%$ ), влажност индустријски израђених LVL плоча од фурнира тополе и букве, у просеку је износила 6,80%, густина плоча у зависности од дебљине је износила од 0,582 g/cm<sup>3</sup> до 0,611 g/cm<sup>3</sup>, а тврдоћа плоча је просечно износила 36 МПа.

Испитивање смицајне чврстоће лепљене везе топола-топола показало је да су епрувете скоро искључиво пуцале у зони дрвета, док је код другог типа лепљене везе (топола -буква) дошло до пада учешћа лома у зони дрвета на око 65%. Како је и код првог и код другог типа



**Слика 6.** лево: лом типа А, десно: лом тип Б



лепљене везе средња вредност смицајне чврстоће била далеко већа од минимално предвиђених 1МПа, може се закључити да фурнир тополе у комбинацији са фурниром букве у спољашњим слојевима, може усрешно лепити ромоћу FF лепка.

Испитивање смицајне чврстоће у слоју лепка при уротреби комерцијалног ПВА D4 лепка (испитивање споја буква-буква), показало је да је дошло до попуштања лепљене везе после одговарајућег предтретмана (24h у води на  $t=20^{\circ}\text{C}$ ). Како су вредности смицајне чврстоће у слоју лепка ипак биле преко 1МПа и ови узорци су задовољили критеријуме одговарајућег стандарда.

Резултати тестирања угаоне везе рама прозора израђеног од комбинованог буковог и тополовог LVL-а показали су да су вредности момента силе 2 до 3 пута веће у односу на слична испитивања квалитета угаоне везе рама прозора израђеног од масива смрче.

На основу свих наведених резултата испитивања, може се извести општи закључак да је могуће направити прозорске рамове од LVL-а израђеног од фурнира тополе који је у спољним слојевима ојачан буковим фурниром, који би могли да носе повећано оптерећење од 3 стакла. Правац даљих истраживања би био испитивање осталих стандардних услова које морају да испуне прозорски рамови израђени од овог материјала.

## SOME PROPERTIES OF LVL COMPOSED OF POPLAR AND BEECH VENEER AND POSSIBILITIES OF THEIR APPLICATION FOR WINDOW FRAMES

dr Vladislav Zdravković, associate Professor, University of Belgrade – Faculty of Forestry,  
(vladislav.zdravkovic@sfb.bg.ac.rs)

dr Aleksandar Lovrić, assistant professor, University of Belgrade – Faculty of Forestry

dr Igor Džinčić, associate Professor, University of Belgrade – Faculty of Forestry

MSc Nemanja Pantović, University of Belgrade – Faculty of Forestry

**Abstract:** The subject of this paper was a research of physical and mechanical properties of LVL composed of peeled poplar veneers in core layers and only outer layers of beech peeled veneers, so as the examination of window frame glue joint strength produced of this material. LVL boards have been hot pressed in industrial conditions, using appropriate phenol formaldehyde (PP) adhesive. Samples for corner window frame glue joint strength testing were glued with PVAc D4 class adhesive. Statistical analysis showed that there were significant differences both in moisture content and density of LVL boards regarding their thickness, while in the case of hardness this difference did not exist. Examinations of LVL glue line shear strength showed that both phenol formaldehyde (PP) and PVAc D4 class adhesives fulfilled standard requirements. The results of corner window frame double tenon glue joint strength produced from combined poplar-beech veneer LVL indicated that such material could be used to produce window frame corner joint, strong enough to withstand the additional load, without an increase of the cross section.

**Key words:** poplar, beech, LVL, physical and mechanical properties, construction joinery

## INTRODUCTION

To fulfill the demands of modern architecture, it is often necessary to involve some modifications to improve specific properties and durability of wood products. It could be done by some forms of wood modification or by introducing some kinds of engineered wood products, such as LVL (abbreviation of "Laminated Veneer Lumber").

LVL is structural veneer based material similar to plywood but without crossing of adjacent veneer layers (Gungor et al. 2006). Depending on the type of adhesive and its thickness LVL can be cold or hot pressed. The choice of type of wood, as one of the most important factors, influence the quality, mechanical and physical properties, machinability and durability of produced LVL. The common species in LVL production are Douglas spruce and south pine (Ramazan et al. 2010), but all species with acceptable mechanical properties could be used, including fast growing species such as poplar. The LVL of beech wood for furniture production is very common because of its texture, color, stiffness and bending properties.

The history of LVL has began in the early thirties of last century, and expanded during the Second World War (Sorn 2006). During the last twenty years LVL has became an important veneer based product with wide applications especially in heavy loaded constructions (roof long span structures, wooden houses and other load bearing constructions), but it is also used in no load bearing constructions such as stairways, furniture parts, doorposts and window frames (Fig 1).

One of possible LVL applications in construction joinery might be in window frame constructions. Until recently, the standard window frame profile was 68 x 68 mm in the intersection ("euro 68 window"), with two built-in glasses. However, energy efficiency requirements lead to the necessity of installing the third glass in window frame construction. Such triple glass construction additionally loaded the window frame construction and hinges. The common material for such windows is solid spruce wood or laminated spruce wood with low load bearing resistance and it usually means an increase of intersection. In a relatively short period of last twenty years, the intersection of window frame construction has been increased from 68 mm to 110 mm. Considering the need to reduce the costs of window construction and their installment, the opportunities of introduction of new material have been analyzed in this paper.

The object of this paper was to research whether LVL composed of peeled poplar veneers in core layers and only outer layers of beech peeled veneers, could be used to produce window frame corner joint, strong enough to withstand additional load, without an increase in the cross section.

## MATERIAL AND METHODS

### Material

In this experiment, a 2.5 mm thick beech peeled veneer (obtained from "SIMPO Sik" - Kur-



**Figure 1.** Left: The Construction Metropal Parasol full of LVL ([www.architectureanddesign.com](http://www.architectureanddesign.com)); middle: long span LVL roof construction ([www.hochstrate.de](http://www.hochstrate.de)); right: LVL as no load bearing material ([www.pinterest.com](http://www.pinterest.com))

**Table 1.** LVL compositions by veneer thickness

| Board thickness            | 10.5 mm | 12 mm | 14 mm | 19.5 mm |
|----------------------------|---------|-------|-------|---------|
| Beech veneer 2.5 mm thick  | x2      | x2    | x2    | x2      |
| Poplar veneer 2.0 mm thick | x2      | /     | x4    | x4      |
| Poplar veneer 3.0 mm thick | x1      | x3    | x1    | x3      |

sumlija) and 2.0 mm and 3.0 mm thick poplar peeled veneer (obtained from "Novi drveni kombinat"-Sremska Mitrovica) were used. Beech veneers were made in formats 2600 x 1400 mm and 2600 x 700 mm, and poplar veneers were all in full formats of 2600 x 1400 mm, without the presence of open knots. Standard phenol formaldehyde (PP) adhesive, prepared by appropriate formula in the SIMPO Sik Company was used as the bonding agent.

### LVL boards production

After classing, beech veneers were trimmed for splicing in formats 2600 x 1400 mm. After that, layup for every composition of LVL was made in the same way: the beech formats were used only in outer layers, and appropriate combinations of 2.0 mm and 3.0 mm thick formats were used (Table 1).

The roller coating method with manual feeding was used for adhesive application. Average glue spread rate was 210 g/m<sup>2</sup> single glue line (SGL). All boards were pressed in nine openings hot-press "Pagnoni". Pressing regimes were adjusted according to the LVL thicknesses (Table 2). The boards lived 24h after pressing for conditioning and after that were trimmed to dimensions 2500 x 1200 mm.

**Table 2.** Pressing regime

| Pressing regime  | Thickness       |         |
|------------------|-----------------|---------|
|                  | 10.5; 12; 14 mm | 19,5 mm |
| Time (min.)      | 15              | 20      |
| Pressure (MPa)   | 12              | 12      |
| Temperature (°C) | 130             | 140     |

### Production of elements for window frames and cutting of testing samples

The research was conducted in the laboratories of the Faculty of Forestry of Belgrade University.

Every LVL board was trimmed, cut in half and ripped into elements of 1250 x 80mm. Elements for cutting samples of dimensions 50 x 80 mm (for examination of MC, density and hardness), and 25 x 50 mm (for examination of glue line shear strength) were chosen by the random method. The remaining elements were used for the production of window frame corner jointed samples for the examination of their strength.

### Examination MC and density of LVL boards

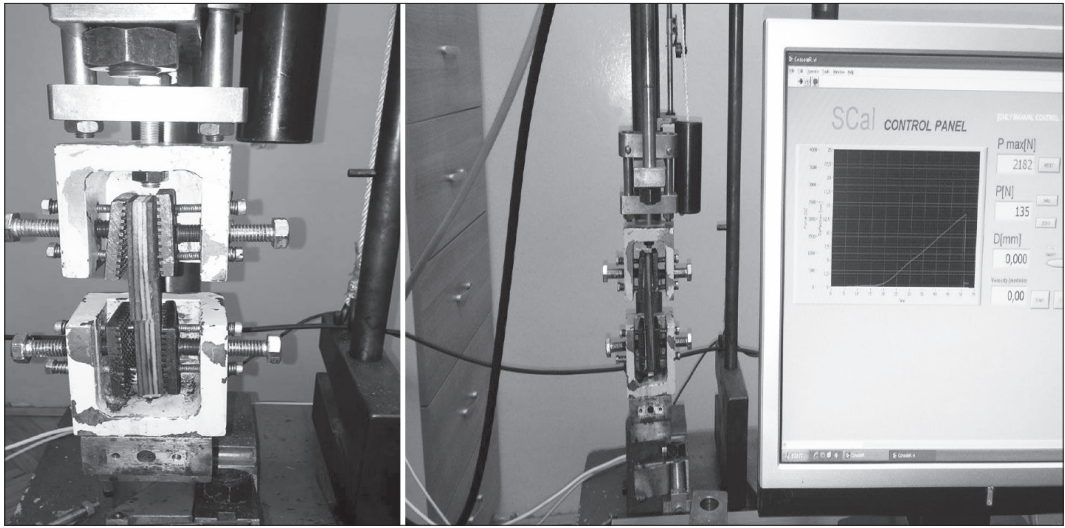
Outer part of each element was rejected to obtain realistic results on LVL MC and density distributions. A total of 110 samples were produced. Moisture content of conditioned samples (T≈20°C i φ≈60%) rated by gravimetric method, and their density using digital scale (0.01g accuracy) and digital caliper (0.001mm accuracy).

### Examination hardness of LVL boards

The same samples from previous item were used for examination of LVL hardness, by the Brinell method, with 10mm still ball and applied force of 1000 N according SRPS EN 1534.

### Examination glue line shear strength of LVL boards

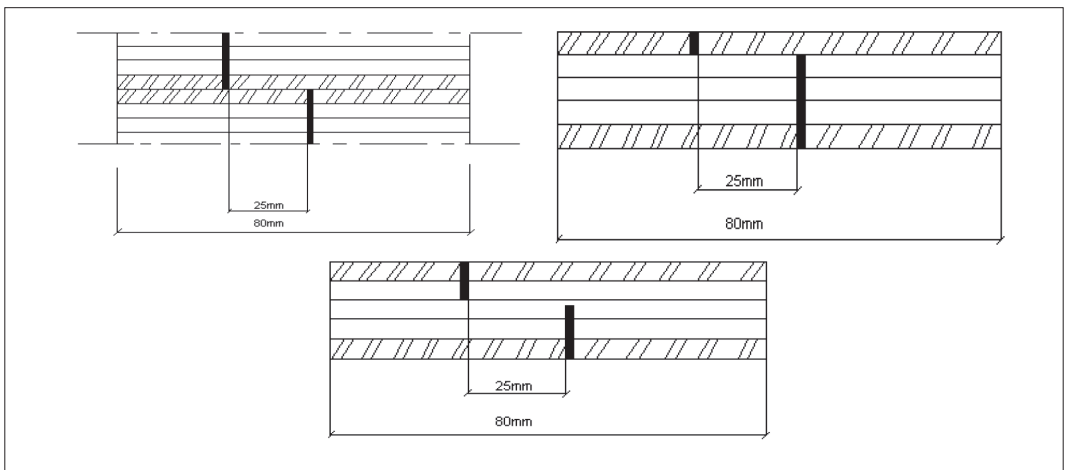
Examinations of LVL glue line shear strength were conducted according to EN 314 require-



**Figure 2.** Glue line shear strength testing procedure on “Wood tester WT4”

ments. There were three types of glue bonds: poplar-poplar, poplar-beech and beech-beech. Both poplar-poplar and poplar-beech glue bonds were from every hot pressed single LVL board, while beech-beech glue bonds were from elements subsequently glued together into blocks. The first two types of glue bonds were tested in two sets of 30 samples. Elements for beech-beech glue bonds testing were first sanded with three

different granulation of sanding paper (P 60, P 80 i P 100). For every granulation 20 samples were made by cold pressing using D4 class PVAc adhesive. All samples were 25 x 80 mm. For all glue line and glue joint strength tests computer controlled testing machine “Wood tester WT4” was used (Figure 2). Every sample for glue line shear strength testing was with appropriate notches according to EN 314 requirements (Figure 3).

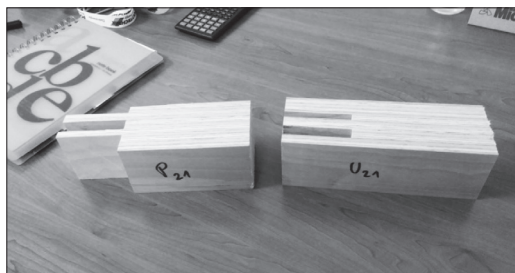


**Figure 3.** Up left: Sample for beech-beech glue line shear strength testing; Up right: Sample for beech-poplar glue line shear strength testing; Down the middle: Sample for poplar-poplar glue line shear strength testing

Glue line shear strength testing of poplar-poplar and poplar-beech bonds were according to EN 314 requirements for wet conditions, while glue line shear strength testing of beech-beech bond was according to EN 314 requirements for interior use.

### Production of elements and corner connection for the window frame

Six elements at the time were cold pressed into blocks 68 x 68 mm in cross section. Every block was composed of six elements (two of 10.5 mm in thickness and four of 12 mm in thickness). Every set of six elements was cold pressed at frame press using PVAc D4 class adhesive, with glue spread rate of  $250 \pm 10 \text{ g/m}^2$ . After conditioning, glued blocks were edge trimmed and double tenon joints were made. Joint geometry was adjusted on a way that both tenons and grooves passed through the beech veneer layer. Final dimensions of samples for corner window frame glue joint testing were 200 x 60 x 68 mm.



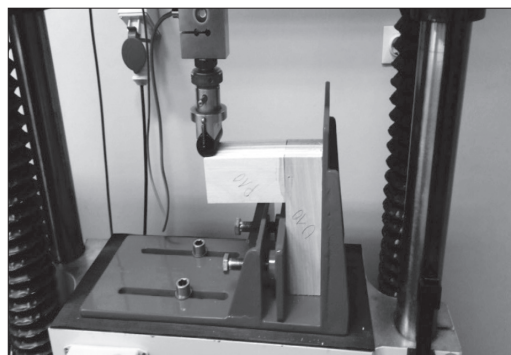
**Figure 4.** Blocks with double tenons and grooves, both passing through beech veneer layers

### Examination of corner window frame double tenon glue joint strength

The examination of window frame glue joint strength in construction joinery has become very topical during the last decade. However, despite many scientific papers and studies dealing with this issue (Altınok, M., et al (2009); Can, O., Onal, M.M., (2007); Gokdemir, A., Yıldız, K., (2001); Turkulin, H., (1993)), it is pretty difficult to com-

pare these results. The main reason is absence of wide-spread standard methods for such type of glue joint. Consequently, most researches could reliably compare their results almost only with their own previous results. Around that, variations in sample cross sections and joint types, changing influence on gluing surface area and fitting the connection, which basically means there were different experimental conditions.

The examination of window frame glue joint strength was conducted on computer controlled testing machine WT5UT (Figure 5). The surface area of every glue line was 60 x 60 mm (in total there were four glue lines, for every tested corner glue joint). Based on breaking force and shape of samples, the torque was calculated.



**Figure 5.** Automatic equipment WT5UT for window frame glue joint strength testing

## RESULTS

### MC and density of LVL boards

Moisture content of LVL boards conditioned at  $T \approx 20^\circ\text{C}$  and  $\phi \approx 60\%$ , floated at range of 6.22 to 7.2% (Table 3). These MC values were 10.9% lower than psychometric tables showed for the solid wood of the same species. How it refers to wood-based panels, lower equilibrium moisture (EMC) content might be explained as the effect of hot pressing, presence of adhesive and LVL composition (Lee and Biblis 2007). These values of equilibrium moisture content are similar to those obtained by Lovric (2015) for poplar plywood.

**Table 3.** Results of MC (%)

| LVL thickness after hot pressing | 10 mm   | 12 mm   | 13 mm   | 18 mm   |
|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Number of samples                | 20 pcs. | 60 pcs. | 10 pcs. | 19 pcs. |
| Mean value                       | 7.20    | 6.80    | 6.22    | 6.97    |
| Min.                             | 6.66    | 6.26    | 5.83    | 6.35    |
| Max.                             | 7.85    | 7.52    | 6.88    | 7.69    |
| Standard deviation               | 0.39    | 0.35    | 0.38    | 0.31    |
| Coef. of Variation               | 5.52    | 5.24    | 6.11    | 4.42    |

One way ANOVA at confidence level of 99% showed that there were significant differences in equilibrium moisture content of LVL boards ( $F(3.109)=17.735$ ,  $p<.01$ ), and “Tukey” post hoc test also showed significant differences among majority of the compared pairs. This is probably due to different LVL boards constructions. Beech veneers thicknesses were the same in all boards constructions, but poplar veneers thicknesses were different (2.0 or 3.0mm, depending of target LVL thickness).

LVL boards density ranged from 0.573 g/cm<sup>3</sup> for 12mm thick board, to 0.611 g/cm<sup>3</sup> for 10mm thick board (Table 4). These values were significantly higher than the value of 0.440 g/cm<sup>3</sup>, obtained by Bal and Bektas (2014), for PP class poplar plywood - clone *Populus x euramericana* 'I-214', frequently used in “Novi drvni kombinat” company, and there were closer to values of 0.656g/cm<sup>3</sup> obtained earlier for PP class beech (*Fagus orientalis*) plywood (Bal and Bektas 2014). In cited research poplar plywoods were pressed under the pressure of 0.8 MPa, while beech plywoods were pressed under the pressure of 1.2 MPa. In this research the pressure was also 1.2 MPa, so it is not surprising that the obtained val-

ues were closer to values for beech plywood, although beech veneers were used only for outer layers of all LVL boards. The beech wood variety must also be considered. The beech wood variety *Fagus sylvatica* with a density of 0.690 g/cm<sup>3</sup> (Šoškić, Popović 2002), which was used in this research was different from beech wood variety *Fagus orientalis* with density varying between 0.589 g/cm<sup>3</sup> do 0.645 g/cm<sup>3</sup>, depending of habitats (Sadegh and Rakhshani 2011).

Statistical analysis showed that there were significant differences in the density of LVL boards ( $F(3.109) = 32.461$ ,  $p<.01$ ). The “Tukey” post hoc test confirmed for 10mm thick board, that density was significantly different than densities of all other boards. It was caused primarily due to the highest share of beech veneer in that LVL composition (50% beech veneer, 50% poplar veneer), while all other boards had a lower share (for instance 12mm thick LVL board had the share of beech veneers of 35%). In addition to that, the thickness loss is higher in thinner plywoods (Nikolic 1988) and thinner plywood means higher density at the same pressure. Just this 10mm thick LVL board was the thinnest in the experiment.

**Table 4.** LVL boards density (g/cm<sup>3</sup>)

| LVL thickness after hot pressing | 10 mm   | 12 mm   | 13 mm   | 18 mm   |
|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Number of samples                | 20 pcs. | 60 pcs. | 10 pcs. | 19 pcs. |
| Mean value                       | 0.611   | 0.573   | 0.582   | 0.587   |
| Min.                             | 0.583   | 0.548   | 0.569   | 0.561   |
| Max.                             | 0.641   | 0.605   | 0.590   | 0.624   |
| Standard deviation               | 0.01    | 0.01    | 0.005   | 0.018   |
| Coef. of Variation               | 2.59    | 2.47    | 1.01    | 3.15    |

**Table 5.** Hardness of LVL boards

| LVL thickness after hot pressing | 10 mm   | 12 mm   | 13 mm   | 18 mm   |
|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Number of samples                | 20 pcs. | 60 pcs. | 10 pcs. | 19 pcs. |
| Mean value                       | 35.19   | 36.29   | 37.88   | 35.88   |
| Min.                             | 33.07   | 26.06   | 28      | 27.5    |
| Max.                             | 37.88   | 44.6    | 43.68   | 41.05   |
| Standard deviation               | 1.28    | 3.93    | 4.66    | 3.27    |
| Coef. of Variation               | 3.64    | 10.83   | 12.30   | 9.14    |

### Hardness of the LVL boards

The hardness of the LVL boards conditioned at  $T \approx 20^\circ\text{C}$  and  $\phi \approx 60\%$  was tested. One way ANOVA at confidence level of 99% showed that there were no significant differences in the hardness of compared LVL boards ( $F(3.109)=1.343$ ,  $p > .01$ ). It might be due to the testing method, because the Brielle method refers only to surface hardness. As a result of that, all surface veneers were from beech wood of the same MC and there were no differences in hardness. In support of this assertion is that average hardness in this research (Table 5) was close to the hardness of solid beech wood across the fibers of 34 MPa, obtained by Šoškić and Popović (2002).

### Glue line shear strength of the LVL boards

The first set of results of glue line shear strength of LVL boards (Table 6) showed that in poplar-poplar type of joint all samples were destroyed in the layer of wood, which indicated that pretreatment did not influence the glue line shear strength. In another type of joint (poplar-beech),

the percentage of wood failure dropped down (to around 65%), but in this type of joint average glue line shear strength was much higher than 1Mpa, required by EN 314. All the examined samples passed the test, which indicated that PP adhesive was adequate for this type of product.

The third type of joint (beech-beech) showed different results. After applying all three types of sanding paper granulations in boards sanding and appropriate pretreatment (24h in water at  $t=20^\circ\text{C}$ ), but also average glue line shear strength was much higher than 1Mpa, required by EN 314.

Statistical analysis ( $F(2.31)=1.006$ ,  $p > .01$ ) did not indicate the presence of significant differences among all three types of sanded samples. Superfine granulation P100 caused higher levels of glue line shear strength compared to other two granulations, but it was not statistically significant.

### Corner window frame double tenon glue joint strength

The results of corner window frame double tenon glue joint strength produced from combined poplar-beech veneer LVL, showed that fail-

**Table 6.** The result of glue line shear strength according EN 314

| Testing Joint                | Outer          |       |        | Dry            |       |        |
|------------------------------|----------------|-------|--------|----------------|-------|--------|
|                              | $\sigma$ (MPa) | W (%) | Passed | $\sigma$ (MPa) | W (%) | Passed |
| poplar-poplar                | 2.872          | 97.33 | +      | -              | -     | -      |
| poplar-beech                 | 2.926          | 65.67 | +      | -              | -     | -      |
| beech-beech granulation P60  | -              | -     | -      | 1.437          | 0     | +      |
| beech-beech granulation P80  | -              | -     | -      | 1.362          | 0     | +      |
| beech-beech granulation P100 | -              | -     | -      | 1.621          | 3.33  | +      |

ure of corner connection took place at force of 7093N and torque of 900Nm (Table 7). The torque reached in this experiment was 2 to 3 times higher than that was in similar experiment by Hrovatin et al. (2013) for corner connection strength glued with different adhesives. In this research authors examined spruce elements 68 x 98mm and the corner joint was implemented by innovative ring type of connection (this ring type of connection was prizewinning in the International fair in Geneva and Nürnberg - patent No. PTC/SI2005/000030). Although there were two different methods, results of this research indicated that combined poplar-beech LVL could be successful in such a type of window frame.

**Table 7.** Corner window frame double tenon glue joint quality

|                    | Force at failure (N) | Torque (Nm) |
|--------------------|----------------------|-------------|
| Number of samples  | 20 pcs.              | 20 pcs.     |
| Mean value         | 7093.00              | 900.82      |
| Min.               | 4330.00              | 550.86      |
| Max.               | 9362.00              | 1204.79     |
| Standard deviation | 1187.38              | 158.01      |
| Coef. of Variation | 16.74                | 17.54       |

There were two types of connection failures in this experiment (Figure 6). Type „A“ where failure happened out of tenon glue joint and type „B“ where failure happened just in tenon glue joint. There was no presence of significant difference in forces that caused failures between these two types of glue joint failures.

## CONCLUSION

Average moisture content (MC) of LVL poplar-beech boards conditioned at  $T \approx 20^\circ\text{C}$  and  $\phi \approx 60\%$  was 6.8%. Depending on thickness their densities were between  $0.582 \text{ g/cm}^3$  and  $0.611 \text{ g/cm}^3$ , and their hardness was uniform, with an average value of 36Mpa.

The glue line shear strength of LVL boards testing showed that in poplar-poplar type of joint almost all samples were destroyed in the layer of wood, while in another type of joint (poplar-beech) the percentage of wood failure dropped down (to around 65%). In both types of joints average glue line shear strength was much higher than 1Mpa, required by EN 314. The suitability of PP adhesive for such a kind of combined poplar-beech LVL was proven.

In the case of D4 class PVAc adhesive, which was used in poplar-beech glue line, after pretreatment (24h in water at  $t=20^\circ\text{C}$ ) testing showed glue line failures. But in this type of joint, average glue line shear strength was also much higher than 1Mpa, required by EN 314.

The results of corner window frame double tenon glue joint strength produced from combined poplar-beech veneer LVL showed that torque reached in this experiment was 2 to 3 times higher than in a similar experiment with window frames produced from spruce solid wood.

All results of this experiment generally indicate that LVL composed of peeled poplar veneers in core layers, and only outer layers of beech peeled veneers, could be used to produce window frame corner joint, strong enough to withstand the additional load of the third glass, without an increase in the cross section.



**Figure 6.** Left: Type „A“ failure, right: type „B“ failure



The direction of further research might be all other standard tests for realistic window frames made of this kind of LVL with all three glasses built-in.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Altınok M., Soğutlu C., Dongel N., Doruk Ş. (2009): "Determination of diagonal tensile performance on the single-and double-tongued joints corner of wood joinery", *Polytechnic Journal* 12 (2), 107-112
- Bal B. C., Bektas I. (2014): "Some mechanical properties of plywood produced from eucaliptus, beech and poplar veneer", *Madreas Ciencia y tecnologia*, 16 (1), 99-108
- Can O., Onal M. M. (2007): "An investigation on the comparison of the compressive strength of corner joints of window which were prepared using first class yellow pine wood grew at the central Anatolia", *Journal of Engineering and Natural Sciences* 25 (3), 283-296
- Gokdemir A., Yıldız K. (2001): "A study on tensile test under pressure with PVAc glue joints made different wood types", *Nigde University Journal of Engineering Science* 5 (1), 51-60
- Gungor N. M., Ayrilmis N., Kantay R. (2006): "Selected physical and mechanical properties of LVL made from *Pterocarya fraxinifolia* (Lam.) Spach.", *Forest Products Journal* 56 (5), 82-85
- Hrovatin J., Zupančić A., Šernek M., Oblak L. (2013): "Usporedba momenta loma kutnog spoja izvedenoga upotrebom različitih lepila", *Drvena industrija* 64 (4), 335-340
- Lee W. C., Biblis E. J., (2007): "Higroscopic properties and shrinkage of southern yellow pine plywood", *Wood and fiber science*, 8 (3), 152-158
- Lovrić A. (2015): "Mogućnost primene termički modifikovanog furnira topole u proizvodnji furnirskih ploča"; doktorska disertacija, Beograd
- Nikolić M. (1988): "Furniri i slojevite ploče", udžbenik, Šumarski fakultet, Beograd
- Rafael R. M., Del Menezzi C.H.S. (2015): "Influence of Adhesive Type on the Properties of LVL Made from Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) Plantation Trees", *Drvena industrija* 66 (3), 205-212
- Ramazan K., Hayrettin M., Kağan A., Muhammet C. (2010): "Laminated veneer lumber (LVL) manufacturing using three hybrid poplar clones", *Istraživački rad, Kahramanmaraş Sutcu İmam University & Adıyaman University, Turkey*
- Sadegh A. N., Rakhshani H. (2011): "Mechanical properties of beech wood (*Fagus orientalis* Lipsky) naturally grown in north Iran"; *Indian Journal of Science and Technology* 12 (4), 1685-1686
- Šoškić B., Popović Z., (2002): "Svojstva drveta", udžbenik, Šumarski fakultet, Beograd
- Šorn Š. (2006): "LVL kao mogućnost supstitucije masivnog drveta", *Prerada drveta* 13, 23-29
- Turkulın, H., (1993): "Dauerhaftigkeit von lamellierten Holzfensterprofilen", *Holz als Rohund Werkstoff*, 51 (1), 67-71



