

Džinčić I., Palija T., Pavlović D. 2012. *Effect of bending pattern on finger joint bending strength*. Bulletin of the Faculty of Forestry 105: 73-80.

Игор Џинчић
Тања Палија
Драган Павловић

UDK: 674.028.2+630*812.711
Оригинални научни рад
DOI: 10.2298/GSF1205073D

УТИЦАЈ ШЕМЕ ОПТЕРЕЋЕЊА НА ЧВРСТОЋУ КЛИНАСТО-ЗУПЧАСТИХ СПОЈЕВА

Извод: За разлику од меких врста дрвећа, подаци о дужинском настављању тврдих лишћара су веома оскудни. Циљ овог рада је да се испита утицај шеме оптерећења на савојну чврстоћу букових гредица настављених помоћу клинасто зупчасте везе. Са становишта конструкције клинасто зупчasti спојеви представљају основни начин дужинског настављања гредица приликом израде ламелираних елемената. Испитивање савојне чврстоће дужински настављених гредица од тврдог дрвета на територији Србије готово да није ни вршено. Испитивана су два профила клинасто-зупчастих спојева у складу са DIN68140. Клинасто-зупчasti спојеви су израђивани по боку и по страници гредица. Узорци настављени по дужини оптерећивани су и по боку и по страници. На основу добијених резултата дошло се до закључака да правац оптерећења, површина лепљења као и положај споја утичу на чврстоћу дужински настављених гредица.

Кључне речи: клинасто-зупчasti спој, буковина, савијање, чврстоћа, шема оптерећења

EFFECT OF BENDING PATTERN ON FINGER JOINT BENDING STRENGTH

Abstract: Limited information is available on end gluing hardwoods in contrast to softwoods, which have been extensively investigated. The objective of this study was to examine the influence of bending pattern on bending strength of finger jointed beech wood. In structural uses finger jointing is finally the major method to end joint timber for the production of glue-laminated elements. There are no bending strength experimental results for finger-jointed hardwoods for investigations conducted in Serbia. Two finger jointed profiles were studied in accordance with DIN68140. The finger joints were made by side and by face of beam. Length jointed

*др Игор Џинчић, доцент, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд
дипл. инж. Тања Палија, асистент, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд
дипл. инж. Драган Павловић, Еуро-плак, д.о.о., Београд*

samples were loaded at the side and in the face. The obtained results led to the conclusion that the direction of load, gluing surface and the position of joint influence on the strength of continued longitudinal beams.

Key words: finger joint, beech wood, bending, strenght, bending patern

1. УВОД

Број радова у оквиру којих су анализирани фактори који утичу на чврстоћу клинасто зупчастих спојева повећавао се са падом квалитета резане грађе и потребом да се из елемената, који су до тада имали ограничену употребу, добију дугачки елементи. У оквиру анализираних радова, чврстоћа спојева је испитивана на гредицама које су имале квадратни попречни пресек, а према ISO 10983:1999. Мерењем чврстоће споја на гредицама са квадратним попречним пресеком није могуће направити разлику према правцу оптерећења, а у зависности од позиције споја (бочни или странични спој). Из овог разлога, у оквиру овог рада, димензије попречног пресека гредица одступале су од стандардом прописаних димензија које износе $20 \times 20 \text{ mm}$ (према ISO 10983:1999).

Истраживања чврстоће спојева на савијање обављено је на гредицама смрче и букве (Ернст, 1982. године, према Albin, 1991). Испитивања су спроведена на гредицама чији је попречни пресек износио $25 \times 45 \text{ mm}$. Пробе су лепљене резорцинским и ПВА лепком. Дужина зубаца на спојевима износила је 10 mm . Спојеви су нарезивани по боку и по страници гредица, док је оптерећење деловало, такође, и по боку и по страници. На основу спроведених експерименталних истраживања дошло се до следећих резултата и закључака. Просечна чврстоћа при оптерећењу на савијање ненастављених гредица (цели комади) износила је за: смрчу $83 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$, а за букву $98 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. Просечна чврстоћа при оптерећењу на савијање настављених гредица износила је за: смрчу $68 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$, што представља 82% чврстоће целих гредица, а за букву $75 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$, што представља 77% чврстоће целих гредица. Врста лепка није имала значајан утицај на чврстоћу спојева код лепљења смрче, док је при лепљењу делова од буковине добијено благо увећање чврстоће спојева кад је коришћен резорцински лепак. Ако су спојеви оптерећени по страници, нешто веће чврстоће се постижу када су зупци рађени по страници, док ако су спојеви оптерећени по боку, није се могла утврдити повезаност промене чврстоће и смера зубаца у односу на смер оптерећења.

Утицајем геометрије клинасто зупчaste везе на чврстоћу споја бавио се Рена (1999. године, према Barboutis, 2005). Истраживања су спроведена на буковини (*Fagus sylvatica*) и храстовини (*Quercus petraea*), уз примену клинасто зупчастих спојева са дужином зуба од 9 и 12 mm . За спајање гредица коришћени су епоксидни и меламин-уреа-формалдехидни лепкови. На основу добијених резултата, између осталог, Рена је дошао да закључка да нема сигнификантне разлике у савојној чврстоћи између целих и дужински настављених гредица.

У оквиру рада Aicheg-а и сарадника (2001) испитивана је затезна чврстоћа букових клинасто зупчастих спојева лепљених меламинским лепком. Просечна затезна чврстоћа споја са зупцима дужине 20 mm износила је $70 \pm 11 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$.

Значајан допринос анализи дужински настављених гредица од тврдых лишћара у последњих неколико година дали су грчки научници. У оквиру радова Vassiliou и сарадника (2007, 2009) и Barboutis-а и сарадника (2005), анализиран је пре свега утицај геометрије клинасто зупчастих спојева на њихову чврстоћу. На основу добијених резултата, између осталог дошли су и до закључка да са повећањем дужине зупца расте и савојна чврстоћа што је узроковано већом површином лепљења. Спојеви са дужином зупца од 10 mm и уз употребу ПВА лепка класе ДЗ, дали су веће савојне чврстоће од спојева са дужином зупца од 4 mm који су лепљени лепком класе Д1. Упоредивањем савојних чврстоћа гредица израђених од парене и непарене буковине нису детектоване сигнификантне разлике, односно чврстоћа се кретала у границама од око $22\text{-}47 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ код споја са дужином зупца од 10 mm.

2. ЦИЉ И МЕТОД РАДА

2.1 Циљ рада

Детаљи у производима од дрвета веома често су сложене конструкције (Skaikić, Krdžović, 2002, Jokerst, 1981, Nestić, Milner, 1993), што значи да су састављени од већег броја елементарних делова. Употреба клинасто зупчастих спојева, приликом спајања детаља од масива по дужини, осигурава високу чврстоћу споја и даје могућност механизације и аутоматизације технолошког процеса. Према положају елемената везе на детаљу клинасто зупчасти спојеви се могу поделити на спојеве рађене по боку и спојеве рађене по страници.

Циљ овог рада обухвата испитивање утицаја шеме оптерећења на чврстоћу клинасто-зупчастих спојева. Анализирани су клинасто зупчасти спојеви са дужинама зуба од 4 mm и 10 mm.

2.2 Метод рада

2.2.1. Избор узорака

У производњи намештаја масивно дрво се због своје дефицитарности замењује другим дрвним и синтетичким материјалима. Међутим, у производњи решеткастог намештаја као и грађевинске столарије масивно дрво и даље представља основни материјал.

На основу резултата истраживања, Stojanović (2005) наводи да у Србији има око 2,5 мил. ha под шумом, од чега чисте или мешовите састојине букових

шума заузимају око 50%. Будући да дрво букве у шумама Србије обухвата 50,4% запремине свих врста дрвећа и 43% запреминског прираста (Šoškić, Skakić, 1995), наметнула се потреба да се узорци израде од ове, у нас, индустријски најважније врсте дрвета.

За разлику од радова осталих аутора који су узорке за своја испитивања припремали у складу са EN 385:2001, у оквиру овог рада гредице које су настављане по дужини кројене су по нападу, тј. оним редом којим су долазиле са претходне обраде. Гредице су биле без чворова, трулежи и усукане жице. Оваквим начином избора гредица резултати би требало да се приближе производним условима.

2.2.2 Избор врсте споја, лепка и израда узорака

У складу са циљем рада, израђене су две групе узорака, где је као елемент везе коришћена клинасто-зупчаста веза типа „Б“. Између група варирана је дужина зубаца и осталих параметара споја у складу са DIN68140. Узорци групе К спојени су помоћу зупца дужине 10 *mm*, док је у оквиру групе М коришћен зуб дужине 4 *mm*, према DIN68140. Поред дужине зупца вариран је и положај клинасто-зупчасте везе, као и правац оптерећења споја. У оквиру подгрупа K_1 и M_1 клинасто-зупчасте спој је израђен по страници узорка, док је код подгрупа K_2 и M_2 спој израђен по боку узорка (табела 1). Свака подгрупа подељена је на две партије. Партије узорака у оквиру исте подгрупе оптерећиване су са различитих страна. У оквиру сваке партије израђено је по 30 узорака.

Табела 1. Групе узорака
Table 1. Groups of samples

Група	Дуж. зуба ЕНГ	Подгрупа ЕНГ	Положај споја ЕНГ	Партија ЕНГ	Оптерећење споја ЕНГ
	<i>mm</i>				
К	10	K_1	странични	K_{11}	по страници
				K_{12}	по боку
		K_2	бочни	K_{21}	по страници
				K_{22}	по боку
М	4	M_1	странични	M_{11}	по страници
				M_{12}	по боку
		M_2	бочни	M_{21}	по страници
				M_{22}	по боку

Узорци су израђени на аутоматизованој линији за дужинско настављање гредица. Код свих узорака тачност израде, вид налегања, површина лепљења, квалитет лепка и режими лепљења су контролисани и одржавани константним. На линији за дужинско настављање израђиване су гредице димензија 320×45×25 *mm*.

УТИЦАЈ ШЕМЕ ОПТЕРЕЋЕЊА НА ЧВРСТОЋУ КЛИНАСТО-ЗУПЧАСТИХ СПОЈЕВА

После кондиционирања на 20°C и при релативној влажности од 65% контролирана је влажност узорка електро-влажомером и њена просечна вредност је износила $11\pm 1\%$.

За лепљење елемената везе који су коришћени у овом истраживању употребљен је ПВА лепак, фирме Клебер тип Д2. Лепак је наносен на клинасто-зупчасти спој обострано, с обзиром да такви спојеви дају и до 10% већу чврстоћу, него спојеви код којих је лепак наносен једнострано. Количина наноса лепка се кретала у интервалу од $160\text{-}200\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, што, према препорукама произвођача, представља оптималне количине наноса.

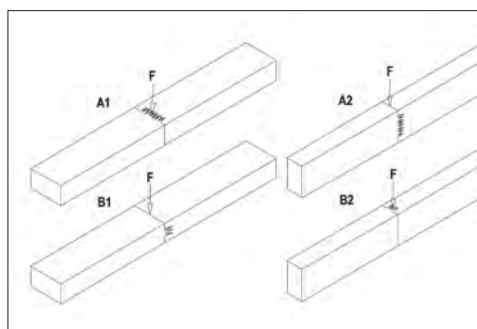
2.2.3 Начин оптерећења спојева

Узорци партија K_{11} и M_{11} (спој израђен по страници узорка), испитивани су при деловању силе по страници узорка, док су узорци партија K_{12} и M_{12} (спој израђен по страници узорка), испитивани су при деловању силе по боку узорка. Код узорка подгрупа K_{21} и M_{21} (спој израђен по боку узорка), испитивање се обављало при деловању силе по страници узорка, а код подгрупа K_{22} и M_{22} (спој израђен по боку узорка), при деловању силе по боку узорка. Шема оптерећења спојева приказана је на слици 1.

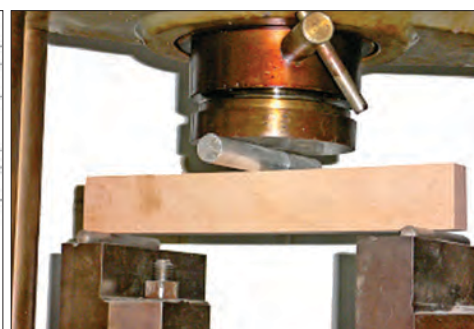
Испитивање чврстоће проба, као што се може видети на слици 2, извршено је при оптерећењу проба на савијање, на уређају за испитивање чврстоће на савијање. Испитивање чврстоће извршено је у складу са стандардом ISO 10983:1999, на машини за савијање тип Amsler.

3. РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА И ДИСКУСИЈА

Резултати испитивања чврстоће клинасто-зупчастих спојева приказани су у табели 2. У табели су такође приказани средња вредност силе лома, стандардна девијација и коефицијент варијације.



Слика 1. Изглед спојева и правац оптерећења
Figure 1. The appearance of joints and samples loading direction



Слика 2. Уређај за испитивање чврстоће на савијање
Figure 2. Device for testing of bending strength

Табела 2. Савојна чврстоћа дужински настављених гредица
Table 2. Bending strength of the finger jointed samples

Партија ЕНГ	F_{sr}	σ_{stdev}	v	σ_s
	N	N	%	$N \cdot mm^{-2}$
K11	2.891,6	267,5	9,25	38,5
K12	5.200,0	857,9	16,5	69,3
K21	2.393,3	654,6	27,3	31,9
K22	5.459,9	745,1	13,65	72,8
M11	2.659,7	301,3	11,33	35,4
M12	4.628,0	487,1	10,52	61,6
M21	2.225,5	502,2	22,57	29,6
M22	5.023,1	273,4	5,4	66,9

Од свих испитиваних узорака највећу чврстоћу показују узорци партије K_{22} , (спој рађен по боку, оптерећење по боку). Савојна чврстоћа имала је вредност $72,8 N \cdot mm^{-2}$. Најнижу вредност чврстоће споја показали су узорци партије M_{21} (спој рађен по боку, оптерећење по страници). Код ове групе узорака, просечна вредност чврстоће износила је $29,6 N \cdot mm^{-2}$.

Ако се упореде вредности чврстоћа спојева по групама узорака, може се запазити да гредице спајане помоћу зубаца дужине $10 mm$ дају веће чврстоће спојева за просечно $8,6\%$ у односу на гредице код којих је коришћен зубец дужине $4 mm$. Остварена разлика може се објаснити већом површином лепљења код узорака групе К.

Анализом чврстоћа спојева унутар група види се да су код обе групе највише вредности чврстоћа оствариле гредице код којих су елементи везе били нарезани по боку, док је оптерећење, такође деловало по боку (групе K_{22} , M_{22}). Најниже вредности чврстоћа спојева остварене су код група где су елементи везе били израђивани по боку док је оптерећење деловало по страници узорака.

Упоредном анализом правца деловања оптерећења и положаја елемента везе може се закључити да уколико су спојеви оптерећени по страници, већу чврстоћу споја дају спојеви код којих је елемент везе израђен по страници, што се јављало и у ранијим истраживањима. Код партије узорака где је коришћен зубец дужине $10 mm$ спојеви израђени по страници су дали већу чврстоћу спојева где је зубец нарезиван по боку за 17% , док је приликом употребе зубаца дужине $4 mm$ та разлика износила $16,3\%$. Уколико су спојеви оптерећени по боку, веће вредности чврстоће споја показују узорци код којих је елемент везе израђен по боку. Код групе узорака где је коришћен зуб дужине $10 mm$ спојеви где је зубец нарезиван по боку дају већу чврстоћу за 4% у просеку, док код групе где је коришћен зуб дужине $4 mm$ та разлика износи 8% .

Ако се у обзир узме правац деловања оптерећења у оквиру подгрупа видеће се да спојеви оптерећени по боку дају веће чврстоће спојева од спојева оптерећених по страници и то у просеку за око 50%.

Велике вредности коефицијента варијације у оквиру партија могу се објаснити избором материјала. Да би се екпериментални резултати приближили производним условима избор гредица није вршен у складу са стандардом. Спајање гредица вршено је према нападу, односно оним редоследом како су долазиле са четворостране рендисаљке.

Код половине испитаних узорака до лома је дошло на линији лепљења услед попуштања лепка, док је код друге половине оштећење настало по дрвету. Оваква расподела оштећења на гредицама такође се може објаснити спајањем гредица по нападу.

Ако се у разматрање узму резултати до којих су дошли грчки научници (Vassiliou *et al.*, 2007, 2009, Barboutis *et al.*, 2005) у оквиру чијих радова је попречни пресек гредица био 20x20 mm, види се да нема сигнификантне разлике у чврстоћи споја који је оптерећен бочно и странично. Наиме, просечне вредности чврстоћа букових дужински настављаних гредица, лепљених ПВА-ц лепком класе Д2, износе 53,1 $N\cdot mm^{-2}$ за странично оптерећене спојева, односно 56 $N\cdot mm^{-2}$ за бочно оптерећене спојеве (Barboutis *et al.*, 2005). Анализом облика попречних пресека гредица које улазе у састав елемената намештаја као и зидних и подних облога може се видети да највећи број гредица има правоугаони, а не квадратни попречни пресек.

Савојне чврстоће настављених гредица до којих су долазили други аутори (Aicher *et al.*, 2001, Vassiliou *et al.*, 2007, 2009, Barboutis *et al.*, 2005) имају нешто ниже вредности од оних добијених у оквиру овог истраживања, иако су клинасто зупчasti спојеви у овом раду имали двоструко већу површину лепљења. Наведене разлике, такође се могу објаснити избором гредица, односно спајањем гредица према нападу у циљу приближавања резултата производним условима.

4. ЗАКЉУЧЦИ

На основу анализе података добијених истраживањем утицаја правца оптерећења на чврстоћу клинасто-зупчастих спојева могу се извести следећи закључци:

- спојеви код којих су коришћени зупци дужине 10 mm дају у просеку веће чврстоће од гредица које су спајане зупцина дужине 4 mm за око 8,6%;
- правац оптерећења утиче на чврстоћу клинасто зупчастих спојева;
- положај споја утиче на чврстоћу клинасто зупчастих спојева;
- спојеви оптерећени по боку дају веће чврстоће спојева од спојева оптерећених по страници и то у просеку за око 50%;
- спојеви нарезани по боку и оптерећени по боку дају веће чврстоће спојева у односу на остале спојеве.

ЛИТЕРАТУРА

- Aicher S., Hoefflin L., Behrens W. (2001): *A study on tension strength of finger joints in beech wood laminations*, Otto-Graf Journal, Vol 12 (169-186)
- Albin R., Dusil F., Feigel R., Froelich H.H., Funke J.H. (1991): *Grundlagen des Möbel-und Innenausbau*, DRW - Verlag, Stuttgart (89)
- Barboutis I., Vassiliou V., Karastergiou S.(2005): *Effect of the finger length on bending strength properties of the finger jointed and unsteamed beech wood*, 2nd European Conference on Hardwood, Sopron
- Vassiliou V., Barboutis I., Karastergiou S. (2007): *Effect of PVA-c bonding on Finger-Joint Strength of Steamed and Unsteamed Beech Wood (Fagus Sylvatica)*, Journal of Applied Polymer Science 9, Vol 30 (51-56)
- Vassiliou V., Barboutis I, Ajdinaj D., Thoma H.(2009): *PVAc bonding of finger-jointed beech wood originated from Albania and Greece*, International Conference - IC-WSE (715-720)
- Jokerst R.W. (1981): *Finger-jointed wood products*, USDA, Forest Serv. Res. Paper FPL 382 (24)
- Nestic R., Milner R. (1993): *The use of laminating technology to overcome shortages of large selection of solid timber*, Journal of the Institute of Wood Science 13(2) (380)
- Skakić, D., Krdžović, A. (2002): *Finalna prerada drveta*, Univerzitet u Beogradu - Šumarski fakultet, Beograd
- Šoškić, B., Popović, Z. (2002): *Svojstva drveta*, Univerzitet u Beogradu - Šumarski fakultet, Beograd
- Šoškić, B., Skakić, D.(1995) : *Svojstva i namenska prerada bukovine*, monografija, Univerzitet u Beogradu - Šumarski fakultet, Beograd
- (2005): *Bukva u Srbiji*, Udruženje šumarskih inženjera i tehničara Srbije, Univerzitet u Beogradu - Šumarski fakultet, Beograd
- Стандарди: DIN 68140, ISO 10983:1999, EN 385:2001

Igor Džinčić
Tanja Palija
Dragan Pavlović

EFFECT OF BENDING PATTERN ON FINGER JOINT BENDING STRENGTH

Summary

Previous studies of factors affecting the strength finger jointed links are mostly based on the application of these compounds in laminated structures used in the manufacture of doors and windows, with research conducted on soft woods. In addition to joinery these compounds are equally represented in the production of furniture and floor coverings where the hardwood are often used. In this paper, which presents a preliminary study, we analyzed bending pattern on the strength of the finger joints that are made of beech wood beams. As a result we obtained average values of strength of different types of finger joint compounds at different load ways. Based on analysis of data obtained from exploration of the impact load direction on the strength of the finger joints can be concluded that the direction of the load affects the strength of the joints. Joints burdened by side will give higher strength values of joints loaded from the face.