

Janez Čadež, Jože Resnik, Katarina Košmelj

# Utjecaj juvenilnosti smrekovine na uzdužno savijanje uslojenih elemenata

## *Influence of juvenile spruce-wood on longitudinal deformations of laminated wood elements*

*Izvorni znanstveni rad Original scientific paper*

*Prispjelo – Received: 15. 05. 2003. Prihvaćeno - Accepted: 16. 06. 2003.*

*UDK: 634\*811.2; 634\*832.286*

**SAŽETAK** Na aksijalno utezanje i bubrenje drva utječe i kut uspona mikrofibrila, koji je, prema navodima u literaturi, najveći u najmlađem, juvenilnom drvu. Taj se kut sa starošću drva smanjuje, a najmanju vrijednost doseže u adultnom tj. zreloom drvu. Budući da je aksijalno utezanje i bubrenje drva u pozitivnoj korelaciji s kutom mikrofibrila, pri međusobnom lijepljenju drva različite starosti to može uzrokovati uzdužno savijanje i iskrivljavanje uslojenih (lameliranih) elemenata, primjerice u proizvodnji prozora, koje bi, prema očekivanjima, trebalo biti to veće što je veća razlika u starosti između slijepljenih dijelova drva. Kako bi se istražio utjecaj drva u uslojenim elementima različite starosti na njegovu dimenzijsku stabilnost, izrađeni su profili od smrekovine (*Picea abies* Karst.) koji su bili simetrično slijepljeni PVAc ljepilom. U pojedinačnom elementu uporabljene su po dvije lamele s jednako ili različito starim masivnim juvenilnim (5, 15 i 25 godina) i adultnim (40 godina) drvom. Poslije lijepljenja elementi su bile izloženi standardnoj ( $\varphi=65\%$ ,  $t=22,5^{\circ}\text{C}$ ), vlažnoj ( $\varphi=90-92\%$ ,  $t=22,5^{\circ}\text{C}$ ) i suhoj ( $\varphi=33-34\%$ ,  $t=20^{\circ}\text{C}$ ) klimi. Savijanje nastalo tijekom promjena klima izmjereno je laserskom mjernom spravom kao visina tetive luka konveksne, odnosno konkavne savijenosti. Ustanovljen je utjecaj različite starosti drva na savijanje elemenata. Ovisnost savijanja o starosti lamela u elementima od lamela s manjom razlikom u starosti i od jednako starih lamela većinom je bila nepredvidiva, a za sva mjerenja bila je karakteristična velika varijabilnost rezultata mjerenja.

**Ključne riječi:** juvenilno i adultno drvo, smrekovina, PVAc ljepilo, lijepljenje, izvijanje

Mr Janez Čadež, M. Sc., is a technologist at the Jelovica joinery plant in Škofja Loka, Slovenia

Dr Jože Resnik and Dr Katarina Košmelj are full professors in wood science and technology i.e. agronomy, respectively, at the Biotechnical Faculty of the University of Ljubljana, Slovenia.

Mr. Janez Čadež je tehnolog u tvornici prozora i vrata Jelovica u Škofjoj Loki, Slovenija.

Dr Jože Resnik i Dr Katarina Košmelj su redoviti profesori drvene znanosti i tehnologije odnosno agronomije na Biotehniškoj fakulteti u Ljubljani, Slovenija.

**SUMMARY** Axial swelling and shrinking of wood is affected, among other influences, by the microfibril angle which is, as indicated in the literature, the greatest in the youngest, juvenile wood. The microfibril angle decreases with the age of a tree, and reaches the lowest values in the adult, mature wood. Since axial shrinking and swelling correlates positively with the age of wood, the combining of wood of different age in gluing of laminated parts may cause longitudinal bowing and warping of elements. An example may be found in window production. The deformations are expected to be larger with the greater differences in the age of lamellae that are glued together. The investigation of the effect of the different age of lamellae on dimensional stability of laminated elements was performed on spruce pieces (*Picea abies* Karst.) that were symmetrically glued using PVA adhesive. Each element consisted of two lamellae of the wood of same age or of different ages of juvenile wood (5, 15 or 25 years) or adult wood (40 years). After gluing the elements were conditioned in normal ( $\varphi=65\%$ ,  $t=22,5^{\circ}\text{C}$ ), humid ( $\varphi=90-92\%$ ,  $t=22,5^{\circ}\text{C}$ ) or dry climate ( $\varphi=33-34\%$ ,  $t=20^{\circ}\text{C}$ ). Bowing during changes in climate conditions was measured by a laser device and determined as a height of the arch chord of the concave or convex deformation. The influence of the different age of lamellae on dimensional stability of the element was established. The dependence of the deformations on the age of lamellae was mostly unpredictable and could not be clearly distinguished between the elements of smaller and those of greater age differences. Characteristic great variability was consistent for all the results of measurements.

**Key words:** juvenile and adult wood, spruce wood, PVA adhesive, gluing, bowing

## 1. UVOD 1. INTRODUCTION

U drvnoj industriji u svijetu povećava se udio trupaca manjih promjera, a to pak znači da se povećava uporaba juvenilnog drva u različitim primarno obrađenim proizvodima i u finalnim proizvodima. Nastajanje juvenilnog drva najčešće završava između 15. i 25. godine starosti drveta, a ovisi o pojedinoj vrsti drveta i uvjetima tijekom rasta. Juvenilno drvo nalazi se oko osi drveta uzduž cijele visine drveta. Obično se tijekom juvenilnog rasta u drvu pojavljuje mnogo reakcijskog drva, što uzrokuje napregnutosti koje nastaju kad se trupac raspili. S udaljavanjem od srčike smanjuje se juvenilnost drva i rast, ovisno o vrsti drveta i drugim uvjetima, postupno prelazi u adultno drvo. U usporedbi s adultnim drvom iste vrste drveća juvenilno drvo nema izrazitoga kasnoga drva, nego ima samo rano drvo i prijelazno drvo, a posljedica je toga manja gustoća. U juvenilnom području pojavljuje se kompresijsko drvo, aksijalno utezanje je zbog većih mikrofibrilnih kutova veće (do 8%), traheide mladoga juvenilnoga drva kratke su i obično nisu dulje od 1,2 mm, a pri kraju juvenilnog razdoblja nekoliko su puta dulje. Sadrže više lignina i ksilana te manje celuloze i galaktoglukomana, a vlažnost je juvenilnoga drva po

pravilu manja od vlažnosti adultnoga drva (izuzetak je mokra srčika). Velika je varijabilnost fizikalnih i mehaničkih svojstava drva. Kad je riječ o fizikalnim svojstvima, karakteristično je ponajprije jače djelovanje u uzdužnom smjeru pri promjeni vlažnosti drva. Zbog uporabe juvenilnoga drva u usloženim elementima često nastaje dimenzijska nestabilnost pri promjenama vlažnosti elementa. Valja očekivati da će dimenzijski nestabilni biti ponajprije elementi slijepljeni od juvenilnoga drva različite starosti, a osobito lamelirani elementi od juvenilnoga i adultnoga drva. Objavljen je razmjerno velik broj radova s područja istraživanja juvenilnog drva, ali nema izvješća o utjecaju drva iz različitog juvenilnog razdoblja na dimenzijsku stabilnost lameliranih elemenata izrađenih od takva drva.

## 2. ANALIZA RELEVANTNE LITERATURE 2. REVIEW OF RELEVANT LITERATURE

Utjecaj različitih udjela juvenilnog drva na čvrstoću pri savijanju u uzdužnom smjeru plošno i uz rub te na vlačnu čvrstoću lameliranoga furnirskoga drva (LVL) izrađenoga lijepljenjem uzdužno usmjerenih listova furnira istražio je u relativno opsežnoj studiji Kretschmann sa suradnicima (1993.).

U eksperiment su uključili drvo bora i duglazije razdjelivši ga na juvenilno, prijelazno i adultno područje. Oni su, među ostalim, ustanovili da u proizvod tipa LVL u srednji sloj mogu uključiti do 25% juvenilnoga drva a da to ne utječe na mehanička svojstva ni na iskrivljenje proizvoda. Utjecaj svojstava, odnosno nedostataka nastalih tijekom rasta (stupanj juvenilnosti, kvrge, kakvoća drva, uvijenosti pri rastu na uzdužno iskrivljavanje, na sabljatost i na torzijsko uvijanje, proučavali su Beard i suradnici (1993.). Oni su proučavali južnoamerički bor malih promjera. Na temelju regresijskih analiza ustanovili su da se svojstvima drva koja se odnose na rast može objasniti samo do 9% ukupnog iskrivljavanja, sabljatosti i torzijskog uvijanja, a da je preostalih 91 do 100% vezano uz ostala svojstva. Autori su ustanovili da su njihovi rezultati u suprotnosti s prevladavajućim uvjerenjem i uzrocima iskrivljavanja drva.

Jedno je od mjerila utvrđivanja dimenzijske stabilnosti drvenih proizvoda izrađenih od dezintegriranoga drva također rastezanje u uzdužnom smjeru te bubrenje po debljini. Pugel i suradnici (1990.) pokušali su ustanoviti i odrediti dimenzijsku stabilnost ploča izrađenih različitim parametrima (drvo uzeto s različitih mjesta na stablu, različite izvedbe ploča od iverja, vlakana i ljusaka, različita gustoća ploča te raznovrsni postupci vlaženja). Otkrili su da gustoća ploča malo utječe na njihovu dimenzijsku stabilnost, pri čemu je utjecaj na bubrenje po debljini nešto veći od utjecaja na uzdužno rastezanje. Najveću su dimenzijsku stabilnost imale ploče izrađene od adultnoga drva, a najmanju ploče izrađene od drva 8 godina staroga brzorastućega drveća (juvenilno drvo). Ustanovili su da se bubrenje po debljini smanjuje sa smanjivanjem iverja u pločama, ali da se istodobno povećava rastezanje, što potvrđuju i Vital, Wilson i Kanarek (1980.).

### 3. MATERIJAL I METODE 3. MATERIAL AND METHODS

Istraživanje je provedeno radi proučavanja utjecaja starosti drva u juvenilnom razdoblju te utjecaja vlažnosti uslojenih - lameliranih elemenata izrađenih od takva drva na njegovo iskrivljavanje. Pretpostavilo se da će se elementi jače ikrivljavati u smjeru mlađe lamele.

U prvoj fazi izveden je pripremni eksperiment. Na temelju njegovih rezultata osmišljen je i izveden opsežan eksperiment. U obje su faze izrađeni uzorci koji su bili simetrično slijepljeni od dviju lamela od drva jednake starosti ili različite starosti. Za izradu

lameliranih elemenata uporabljena je središnja smrekova daska (*Picea abies* Karst.) sa starosnim stupnjevima 5 (oznaka A), 15 (oznaka B), 25 (oznaka C) i 40 (oznaka D) godina (označavanje i izrada vide se na sl. 1. i 2.) te PVAc ljepilo. Prije izrade lamela drvo je bilo industrijski osušeno, a poslije uravnoteženja vlažnost je iznosila 11,2%. Za svaku od 10 kombinacija lijepljenja (AA, AB, AC, AD, BB, BC, BD, CC, CD i DD) izrađeno je između 30 i 40 lameliranih elemenata, odnosno uzoraka. Poslije lijepljenja provedeno je kondicioniranje, a zatim uravnoteženje u standardnoj (oznaka S) klimi ( $t=22,5^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi=65\%$ ), pa u vlažnoj (oznaka V) klimi ( $t=22,5^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi=90-92\%$ ) i na kraju u suhoj (oznaka D) klimi ( $t=20^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi=33-34\%$ ) klimi. Mjerenje savijenosti obavljeno je pošto je postignuto uravnoteženje u svakoj pojedinoj klimi.

U pripremnom eksperimentu mjerena je veličina deformacije slijepljenih lamela od drva različite starosti poslije izlaganja lameliranih elemenata različitih dimenzija – debljina  $2 \times 7,5$  mm, širina 50 mm, duljina 600 mm – spomenutim klimama, s tim što su lica lamela bila jedno nasuprot drugome. Elementi su bili okomito obješeni u klima – komori, pri čemu se mjerila deformacija u smjeru X i smjeru Y suprotnoga slobodno visećega čela elementa. U glavnom se eksperimentu deformacija elemenata mjerila laserskom mjernom spravom, a upotrijebljeni su elementi dimenzija: debljina  $2 \times 3,0$  mm, širina 20 mm, duljina 150 mm (lice lamela jedno nasuprot drugome). Lasersko mjerna sprava i način mjerenja opisani su u nastavku.

- D – adultno (zrelo) drvo – *adult wood* - 40. god
- C – prijelazno drvo - *transition wood* – 25. god
- B – juvenilno drvo – *juvenile wood* – 15. god
- A – juvenilno drvo - *juvenile wood* – 5. god

U glavnom eksperimentu provedeno je mjerenje ravnoće elementa po većoj plohi optičkom metodom koja se temeljila na načelu optičke triangulacije. Uporabljena laserska mjerna sprava za mjerenje profila (LMP) sastojala se od predajnika emisijske optike, prijavnika optike i noseće konstrukcije, uz potporu odgovarajuće programske opreme. Upotrijebljeni LMP imao je standardno mjerno područje veličine 200 mm u poprečnom smjeru (x), 22 mm u okomitom smjeru (y) te do 400 mm u uzdužnom smjeru (z). Pri tako podešenoj spravi razlučivanje je iznosilo 0,6 mm u smjeru x, 0,075 mm u smjeru z te 0,01 mm u smjeru y. Dobiveni

podaci mogli su se matematički obraditi ili pak preko D x F formata prenijeti u različite CAD sustave. Mijenjanjem emisijske i prijamne optike moglo se postići razlučivanje do 50  $\mu$ m. Važno je svojstvo mjerne sprave anamorfnu optiku koja, za razliku od sferične optike, različito povećava u različitoj osi.

Tako je razlučivanje instrumenta u okomitom smjeru bilo približno 10 puta veće nego u vodoravnom smjeru. Podrška je strojnoj opremi bila za taj sustav posebno izrađena programska oprema s tri osnovna modula (zapis slike u računalnu memoriju, raspoznavanje crte, korekcija izmjerenih točaka) i s većim brojem pomoćnih modula.

Za mjerenje deformacija uporabljena je mjerna jedinica mm/m, koja označava visinu luka iskrivljenosti u milimetrima po 1 m duljine tetive konveksne ili konkavne savijenosti uzorka.

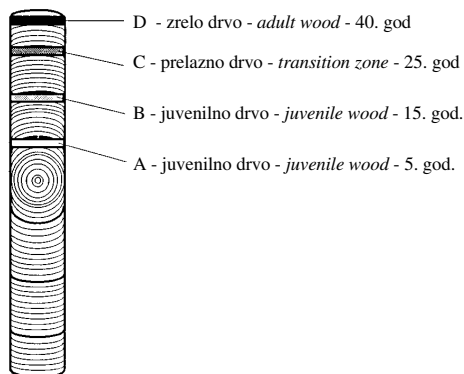
Ishodišna (nulta) točka vrijednosti svih mjerenja poslije uravnoteženja u standardnoj (S) klimi iznosila je nula (0). To znači da su možebitna iskrivljenja poslije uravnoteženja u standardnoj klimi bila oduzeta od mjerenja poslije vlaženja, odnosno sušenja. Iskrivljenje sredine elementa nagore (konveksno) označeno je predznakom minus (-), a iskrivljenje nadolje (konkavno) predznakom plus (+). Lamelirani je element bio okrenut tako da je odozgo uvijek bila mlađa lamela.

#### 4. REZULTATI I DISKUSIJA 4. RESULTS AND DISCUSSION

Rezultati istraživanja pokazuju koliko je zamršeno i teško objasniti djelovanje drva, a osobito lijepljenih elemenata. Unatoč brižljivom odabiru lamela za lijepljenje i jednostavnom dvoslojnom lijepljenju, dio

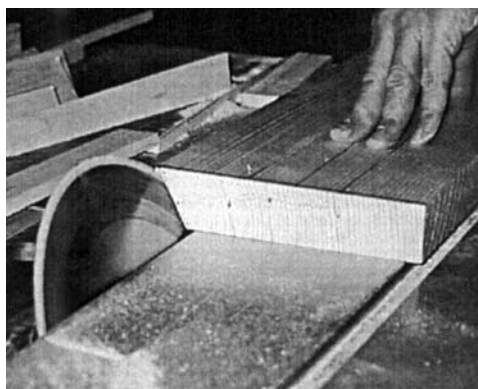
#### Slika 1.

Oznaka lamela s obzirom na starost u središnjoj dasci  
*Lamellae codes regarding their positions in central board and age (tree ring number)*



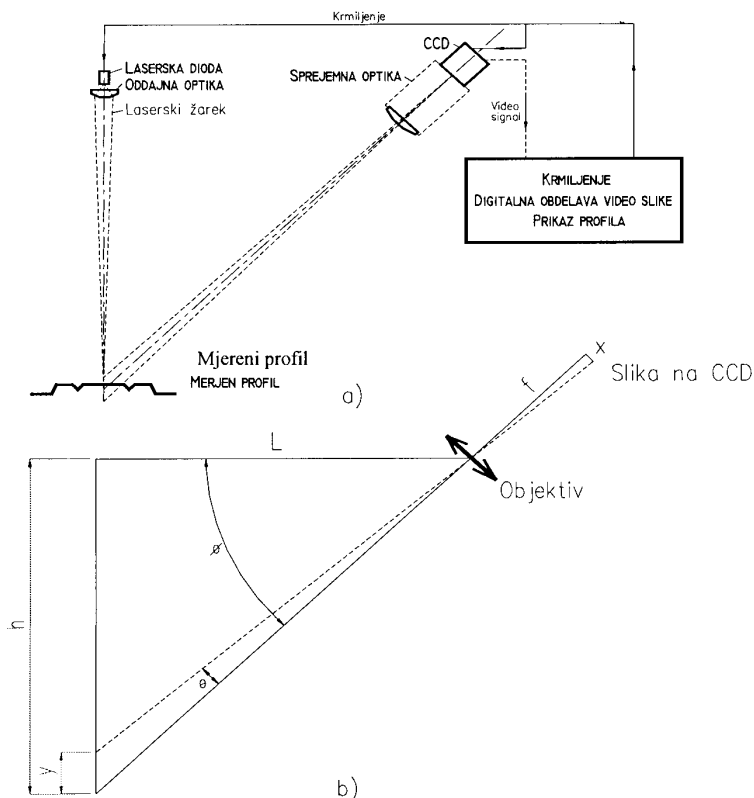
#### Slika 2.

Piljenje lamela  
*Sawing of lamellae*



#### Slika 3.

Princip mjerenja visine luka (Braun i dr., 1998., Jezeršek i dr., 1998.). Laserska optika odašilje zraku koja se odbija od površine i zabilježi prijemnom optikom i CCD zaslonom. Računalni program određuje visinu luka. Principle of the arch height measurement (Braun i dr., 1998., Jezeršek i dr., 1998). Laser optics emits the ray that is reflected from the surface and recorded by the detecting optics and CCD screen. Software determines the arch height.



uzoraka ponašao se suprotno teoretskim zakonitostima i hipotetičnim očekivanjima. Razlog može biti činjenica što se većina objavljenih istraživanja temelji na proučavanju plantažnoga drva, a u opisanome istraživanju uporabljeno je drvo iz šume u kojoj se provodi selektivna sječa.

S obzirom na način lijepljenja lamela očekivala su se iskrivljenja na načelu bimetalna, koje bi bilo posljedica većega izduživanja ili skupljanja lamele s većim uzdužnim djelovanjem. Na temelju podataka iz literature očekivalo se to veće djelovanje što su mlađe lamele, što bi uzrokovalo najviše iskrivljenje uslojenih elemenata s najvećom razlikom u starosti lamela.

Uzdužna deformacija uzoraka mjerena je pošto je postignuta uravnotežena vlažnost u pojedinoj klimi. Osnovna je karakteristika rezultata mjerenja vrlo visoka varijabilnost odnosno veliko odstupanje pojedinih podataka. Pretpostavljamo da su uzrok vrlo visoke varijabilnosti različite greške i posebnosti nastale tijekom rasta koje se nisu mogle isključiti pri izradi uzoraka, odnosno objasniti poslije obavljenih mjerenja. Zbog toga smo pri statističkoj obradi podataka odlučili kao mjeru sredine uzeti medijanu (2. kvartile), a mjeru varijabilnosti kvartilni razmak Q, koji je razlika između 3. kvartila Q<sub>3</sub> i 1. kvartila Q<sub>1</sub>. Te smo dvije vrijednosti, uz veličinu uzorka, upisali u tablice 1. i 2.

Rezultati mjerenja grafički su predloženi okvirom i rasponom za svaku kombi-

naciju starosnih stupnjeva gornje i donje lamele. Na slici 4. i 5. dani su okviri s rasponima s obzirom na lamelu odozgo (os apscise) i s obzirom na lamelu odozdo. Na slici 4. vidi se stanje poslije vlaženja, a na slici 5. poslije sušenja.

Većina okvira ima gornje i /ili donje koji pokazuju da su se neki uzorci ponašali bitno drukčije od ostalih uzoraka u svojoj skupini. Oni su na slikama označeni kružićem, križićem su označeni oni ekstremni podaci koji su primijećeni samo pri kombinacijama BC i DD poslije vlaženja. Obrazloženje takva ponašanja dano je u nastavku diskusije. Posebnu pozornost zaslužuje okvir koji određuje prvi kvartil Q<sub>1</sub> i treći kvartil Q<sub>3</sub>, a prečka grafički predočava medijanu Me. Taj okvir obuhvaća polovicu podataka, i to polovicu koja je postavljena na sredinu. Analiza i usporedba slika pokazuje bitnu razliku između stanja poslije vlaženja i stanja poslije sušenja. Slika 4. upućuje na to da se s očekivanjima najviše podudaraju skupine AA, AB, AC i AC, gdje uočavamo slabe tri četvrtine lameliranih elemenata s konveksnom iskrivljenošću. Na slici 5. vidi se pozitivan trend iskrivljenosti s obzirom na starost donje lamele u svim skupinama, koju određuje starost gornje lamele. Što je veća razlika u starosti između gornje i donje lamele, to se smjer savijanja više mijenja iz konveksnosti u konkavnost. Usporedbom i analizom podataka iz tablica 1. i 2. te slika 4. i 5. samo se djelomično potvrđuje pret-

Gornja lamela Lamella above	Opisne statistike / Descriptive statistics	Donja lamela / Lamella below			
		A	B	C	D
A	Veličina uzorka/Sample size (n)	26	32	39	33
	Medijana/Median value (Me)	-2,03	-3,79	-1,39	-2,72
	Kvartilni razmak/Interquartile range (Q)	5,44	8,38	8,51	7,46
B	Veličina uzorka /Sample size (n)		32	29	32
	Medijana/Median value (Me)		1,31	-1,23	-3,05
	Kvartilni razmak/Interquartile range (Q)		12,48	8,92	6,99
C	Veličina uzorka /Sample size (n)			22	35
	Medijana/Median value (Me)			0,77	-0,22
	Kvartilni razmak/Interquartile range (Q)			6,72	8,40
D	Veličina uzorka /Sample size (n)				34
	Medijana/Median value (Me)				-1,28
	Kvartilni razmak/Interquartile range (Q)				5,17

**Tablica 1.**

Opisne statistike za visinu luka na tetivu (mm/m) poslije vlaženja uzoraka  
Descriptive statistics for deformation values (arch chord height, mm/m) after moistening of specimens

Gornja lamela Lamella above	Opisne statistike / Descriptive statistics	Donja lamela / Lamella below			
		A	B	C	D
A	Veličina uzorka /Sample size (n)	26	32	39	33
	Medijana/Median value (Me)	-1,30	0,08	0,73	1,32
	Kvartilni razmak/Interquartile range (Q)	4,73	4,16	6,11	4,80
B	Veličina uzorka /Sample size (n)		32	29	32
	Medijana/Median value (Me)		-2,46	2,52	-0,51
	Kvartilni razmak/Interquartile range (Q)		3,16	3,91	2,36
C	Veličina uzorka /Sample size (n)			22	35
	Medijana/Median value (Me)			1,74	1,08
	Kvartilni razmak/Interquartile range (Q)			3,61	3,41
D	Veličina uzorka /Sample size (n)				34
	Medijana/Median value (Me)				-1,43
	Kvartilni razmak/Interquartile range (Q)				3,82

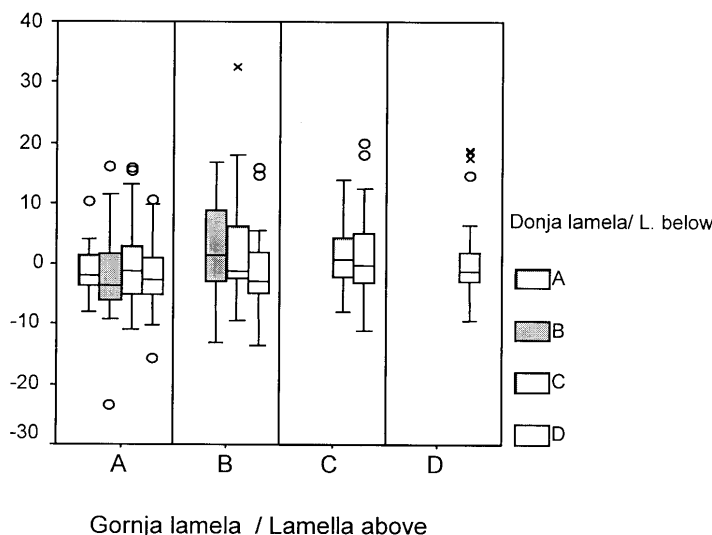
**Tablica 2.**

Opisne statistike za visinu luka na tetivu (mm/m) poslije sušenja uzoraka  
Descriptive statistics for deformation values (arch chord height, mm/m) after drying of specimens

**Slika 4.**

Okviri s rasponima za visinu luka (mm/m) s obzirom na sastav lijepljenih elemenata – poslije vlaženja Box and whiskers plot of deformation (arch chord height, mm/m) regarding the composition of glued elements – after moistening

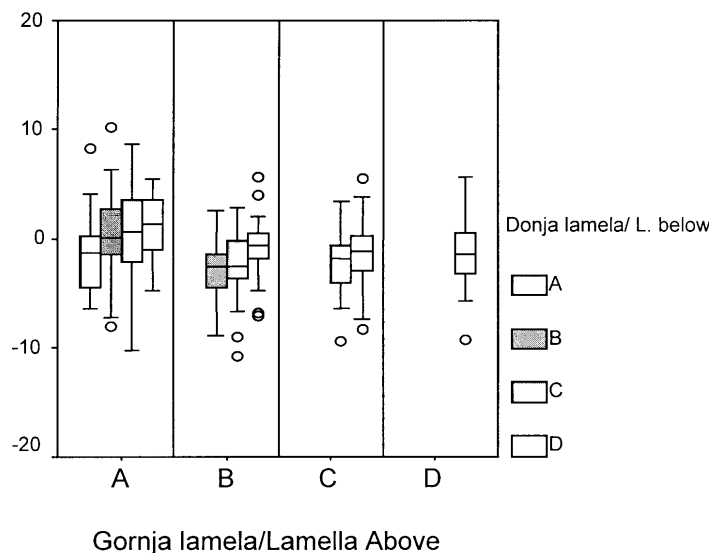
Visina luka /Deformation (mm/m)



**Slika 5.**

Okviri s drškama za visinu luka (mm/m) s obzirom na sastav lijepljenih elemenata – poslije sušenja Box and whiskers plot of deformation (arch chord height, mm/m) regarding the composition of glued elements – after drying

Visina luka /Deformation (mm/m)



postavka da će se elementi iskrivljavati u smjeru mlađe lamelle, barem se tako dogodilo pri kombinacijama lamela AB, AC, AD, BC, BD i CD). Za ostale kombinacije pretpostavka nije potkrijepljena, a neočekivano je bilo i iskrivljavanje kombinacija lamela jednake starosti (AA, AB, CC i DD). Uočljiv je i blagi trend povećavanja vrijednosti visine luka kod lamela s najvećom starosnom razlikom. Smjer iskrivljavanja poslije vlaženja (adsorpcija) u skupini s lamelom A podudara se s hipotezom kako pri vlaženju, kad se pojavilo konveksno iskrivljenje, tako i pri sušenju (desorpcija), kad je nastalo konkavno iskrivljenje. Od te zakonitosti odstupa skupina AA, u kojoj se nije očekivalo veće iskrivljenje.

Analiza kvartilnih razmaka  $Q_{75}$  i  $Q_{25}$  upućuje na odstupanje skupine s lamelom B odozgo i s lamelom B odozdo pri vlaženju,

koje je izrazito veće nego pri ostalim kombinacijama. Pri sušenju pak to odstupanje nije tako izrazito. Od svih je skupina samo skupina uzoraka AD imala drugi najveći porast (najveći je bio u skupini BB) iskrivljenosti pri vlaženju. Porast iskrivljenosti bio je tri puta veći nego u skupini uzoraka DD. Veliko iskrivljavanje u skupini B mogli bismo objasniti činjenicom što je spiralno uvijen rast najizrazitiji upravo između 5. i 10. goda, odnosno 2 do 4 cm od srčike (Krošl, Torelli, 1997.), a mikro fibrilni kut se sa starošću brzo smanjuje. Za jelu (*Abies alba* Mill.) karakteristična je prilično uska negativna nelinearna korelacija između mikro fibrilnoga kuta i starosti goda. Pri najmanjoj vrijednosti kut se stabilizira kad je stablo staro 25 do 35 godina, i iznosi između  $2^\circ$  i  $8^\circ$ , a u zreom juvenilnom razdoblju kut iznosi između  $25^\circ$  i  $35^\circ$  (Torelli i sur., 1998.).

Prema modelima Barbera (1968.), pri vrijednostima mikrofibrilnoga kuta manjega od 25° njegov je utjecaj na aksijalno utezanje drva vrlo malen. Očekivanja da zbog simetričnog djelovanja neće biti iskrivljavanja uzoraka koji su bili slijepljeni od jednako starih lamela (AA, BB, CC i DD) nije se ostvarilo. Na svim su se nabrojenim uzorcima pojavila iskrivljenja, s tim što su na nekima bila konveksna, a na drugima konkavna. To se može objasniti činjenicom što se u juvenilnom području pojavljuje kompresijsko drvo, područje čvorova, pukotine u srčiki, koje nastaju pri popuštanju vlačnih tangencijalnih sila (tenzija), izrazito spiralni rast, niža gustoća, neizrazito kasno drvo i, po pravilu, prvi procesi raspada. Dakako, to je uzrok velike varijabilnosti fizikalnih i mehaničkih svojstava juvenilnoga drva, koja su se u provedenom istraživanju očitovale kao iskrivljenje s različitim predznakom.

## 6. ZAKLJUČAK 6. CONCLUSION

Na temelju rezultata mjerenja i statističke analize podataka dobivenih istraživanjem mogu se uobličiti ovi zaključci:

Promjena vlažnosti uslojenih elemenata od dva sloja drva različite starosti uzrokuje njihovu deformaciju. Elementi će se iskrivljivati u smjeru mlađe lamele tijekom vlaženja konveksno, a tijekom sušenja konkavno.

Najveću varijabilnost, odnosno nepredvidivost glede djelovanja pri promjeni vlažnosti valja očekivati pri starosti drva između 10 i 15 godina (lamela B).

Statistička nekarakterističnost i nekonzistentnost rezultata kod uzoraka od jednako starih lamela, ili od lamela s malom starosnom razlikom, mogu se pripisati, osim varijabilnosti mikrofibrilnoga kuta, i nekim drugim činiteljima varijabilnosti, kao što su kompresijsko drvo, područje čvorova,

napreznja u rastu, promjenjiv udio prijelaznoga i kasnoga drva, koje se pak razlikuje od drveta do drveta.

## 7. LITERATURA 7. REFERENCES

1. BARBERA, N.F. 1968. A theoretical model of shrinking of wood. *Holzfor-schung* 22 (4) 97-103
2. BEARD, J.S. / WAGNER, F.G. / TAY-LOR, F.W. / SEALE, R.D. 1993. The influ-ence of growth characteristics on warp in two structural grades of southern pine lum-ber. *Forest Products Journal* 43 (6) 51-55
3. BRAČUN, D. / DIACI, J. / JEZERŠEK, M. / MOŽINA, J. 1998. Lasersko merjenje profila . Ljubljana, Fakulteta za strojništvo, Katedra za optodinamiko in lasersko tehniko, 5s.
4. JEZERŠEK, M. / DIACI, J. / BRAČUN, D. / MOŽINA, J. 1998. Laserski merilnik pro-fila z anamorfno optiko. Ljubljana, Fakulteta za strojništvo, Katedra za optodinamiko in lasersko tehniko, 4 s.
5. KROŠL, M. / TORELLI, N. 1997. Spiralna rast pri iglavcih. *Les* 49 (12) 368-371
6. KRETSCHMAN, E.D. / MOODY, R.C. / PELLERIN, R.F. / BENDSEN, B.A. / CA-HILL, J.M. / McALISTER, R.H. / SHARP, W.D. 1993. Effect of Various Proportions of Juvenile Wood on Laminated Veneer Lumber. US, Department of Agriculture. Forest Service, Research Paper FPL-RP-521, p. 7-15
7. PUGEL, A.D. et al. 1990. Composites from southern pine juvenile wood. Part2. Dura-bility and dimensional stability. *Forest Products Journal* 40 (3) 57-61
8. TORELLI, N. / GORIŠEK, Ž. / ZU-PANČIČ, T. / LOGAR, T. 1998. Juvenilni les pri jelki (*Abies alba* Mill.) in smreki (*Picea abies* Karst.). *Les* 50 (1-2) 5-7
9. TORELLI, N. / GORIŠEK, Ž. / ZU-PANČIČ, T. 1998. Mikrofibrilni kot v ju-venilni in zreli jelovini (*Abies alba* Mill). *Les* 50 (3) 45-47
10. VITAL, B.R. / WILSON, J.B. / KANAREK, P.H. 1980. Parameters affect-ing dimensional stability of flakeboard and particleboard. *Forest Products Journal* 30 (12) 23-29