

UTJECAJ TEMPERATURE NA ČVRSTOĆU SAVIJANJA I MODUL ELASTICITETA LVL ELEMENATA IZRAĐENIH NA BAZI FURNIRA JELE

Štefo Šorn

UDK 674.812-419.3+674.032.475.2]:539.3/.4
Naučni rad

Sažetak. - LVL spada u specijalne furnirske ploče – produžene furnirske ploče. Osnovni princip proizvodnje LVL-a je da se korištenjem ljuštenog furnira na bazi oblovine sa malim prečnicima (suficitirane i jeftine sirovine), u kontinuiranom procesu proizvede materijal određenih fizičko-mehaničkih svojstava u velikom dijapazonu dimenzija i područja primjene.

U radu je ispitan kompozitni materijal na bazi furnira jele debljine 3,5 mm. Vanjski listovi furnira nisu produžavani, a unutarnji su slagani po principu izrade LVL-a tj. slaganjem furnira čelo u čelo, pri čemu su spojevi smaknuti po 100 mm. LVL je proizveden u industrijskim uvjetima, bez ikakvih specifičnih zahtjeva i predstavlja pokušaj doprinosa substituciji masivnog drveta ovom vrstom kompozitnog materijala. U radu se prikazuju rezultati istraživanja utjecaja temperature i vlage koja se toleriše za proizvodnju fasadne stolarije na čvrstoću savijanja i modul elasticiteta kompozitnog materijala. Ispitivanja su vršena za slučaj djelovanja sile okomito i paralelno sa furnirima. Temperaturni interval ispitivanih proba bio je -20 do +60°C i vlage od 10 do 15%. Uvjeti ispitivanja bili su laboratorijski, tako da su se probe grijale odnosno hladile u vremenu ispitivanja zavisno o uslovima laboratorije. Izračunavanje vrijednosti čvrstoće savijanja i modula elasticiteta vršeno je na osnovu srednje temperature proba.

Ključne riječi: LVL, temperatura, čvrstoća savijanja, modul elastičnosti, prozori.

INFLUENCE OF TEMPERATURE ON BENDING STRENGTH AND MODUL OF ELASTICITY OF LVL ELEMENTS MADE OF FIR VENEER

Abstract: In this paper some physically-mechanical properties of composition materials, which is made according to principles of LVL-(laminated veneer lumber)-production, have been examined. The objective of the research was estimation of the possibilities of usage of LVL and of composition materials made according to LVL-principles of production of joinery. Veneer, as a basic raw material for LVL production is being produced out of third-class fir logs. As an alternative construction of composition materials, combination of fir and beech-tree has been examined.

Properties of composition materials concerning absorbing and reabsorbing of water, resistance to axial withdrawal of screws, crash tests of joint plates assembled in the profile element of a window, resistance to pressure, bending strength and modulus of elasticity caused by bending, have also been examined. Main focus of this dissertation is put on the influence of temperature on the bending strength and modulus of elasticity caused by bending. The research has been carried out by the use of two different methods. With method I, test samples were cooled and warmed. Afterwards they were examined under laboratory conditions. With method II, test samples were examined in the range of positive temperatures for given results. Analysis and the results are given for a temperature range of -20 to 60°C.

Keywords: LVL, temperature, bending strength, modulus of elasticity, windows.

1. UVOD

LVL kao relativno novi kompozitni materijal pojavio se na tržištu kao rezultat potreba građevinske industrije (SAD, Kanada, Australija...) za drvenim gredama (nosačima) u dužinama koje su limitirane sa postojećim šumskim resursima. Pored ove osnovne namjene, područje upotrebe ovoga materijala

se proširuje i nastoji substituirati rezanu građu.

LVL je kompozitni materijal rađen od ljuštenog furnira iz trupaca manjih prečnika i nižeg kvalitetnog razreda. Furnir je lijepljen kao i šperploča, sa tim, da su vlakanca svih slojeva furnira lijepljena u istom smjeru. Velike anatomske greške se odstranjuju, dok se većina grešaka toleriše i raspoređuje po presjeku elemenata sa čime se umanjuje nji-

hov efekt. Furniri se međusobno spajaju po dužini (kosi sljub ili na preklop) i lijepe po dužini sa smaknutim mjestima spajanja i sa istim smjerom vlakancima. Dimenzije ovakvog proizvoda su limitirane opremom sa kojom se raspolaže, a općenito se kreću:

Dr Štefo Šorn, docent, Mašinski fakultet Univerziteta u Sarajevu.

- dužina 2,5 do 22 m,
- širina 0,1 do 1,2 m,
- debljina 19 do 76 mm.

Jedna od prednosti proizvoda na bazi LVL-a je i mogućnost korištenja mekih vrsta drveta koje se mogu plantažirati (kao topola).

Opće postavke uticaja temperature na masivno drvo su dobro poznate (Thunell, 1942; Sulzberger, 1948). One se mogu sumirati kao:

- čvrstoća savijanja drveta opada sa povećanjem temperature i smanjenjem volumne mase drveta;
- čvrstoća savijanja drveta opada sa povećanjem vlage drveta iznad 0°C,
- modul elastičnosti uslijed savijanja povećava se sa opadanjem temperature, opada sa sadržajem vlage i povećava sa povećanjem volumne mase drveta.

Cilj rada bio je da se ustanovi ovu zavisnost i da se istraži da li se LVL znatno razlikuje od masivnog drveta.

U radu je obrađena jela, uz smrču, kao jedna od najrasprostranjenijih vrsta četinarskog drveta u BiH.

S obzirom da se želi substituirati masivno drvo sa LVL, interesantna su ispitivanja u specifičnim uvjetima konačne eksploatacije. Primjer su eksploatacioni uvjeti vanjske građevinske stolarije koja može imati temperature u vanjskim dijelovima drvenih elemenata na dubini 16 mm i do 60°C.

2. METODOLOGIJA RADA

2.1 Izrada uzoraka

U sklopu istraživanja proizvedena je ploča na principima proizvodnje LVL-a. Uzorci LVL ploča rađeni su u industrijskim uvjetima. Materijal je bio furnir smrče debljine 3,5 mm izrađen iz trupaca dužine 2,2 m III klase, promjera 40 cm. Kao ljepilo korišteno je melamin-formaldehidno ljepilo, koje se koristi za proizvodnju furnirskih ploča

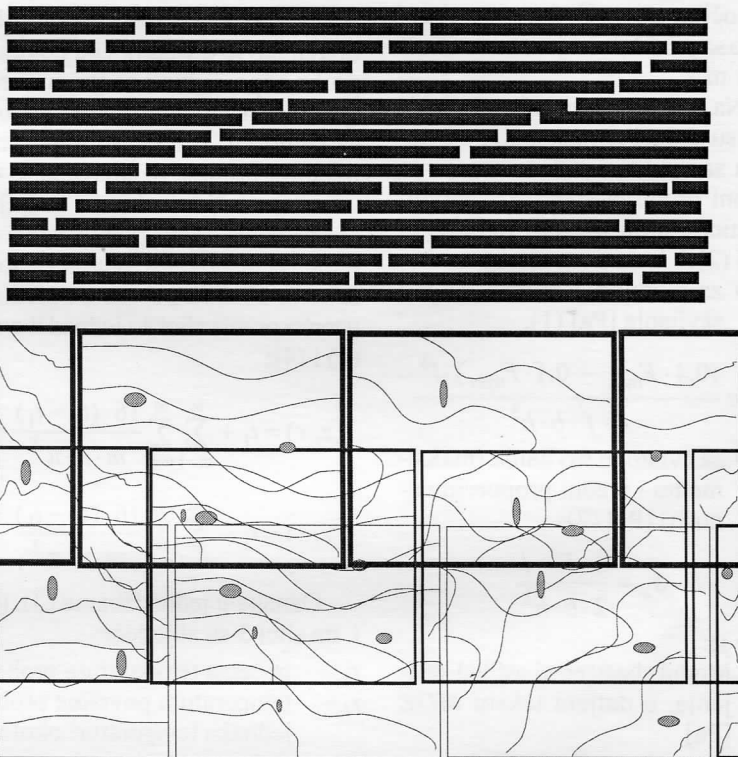
namijenjenih djelovanju vanjskih utjecaja.

Konstrukcija ploče je simulirana na taj način što su se furniri dužine 2,2 m prekrajali u dužine 300 do 800 mm i iz 3 do 4 komada formirali dužinu 2050 mm, poštujući pravilo da mjesta spajanja moraju biti smaknuta 100 mm, slika 1.

ispitivanja prikazuju srednju vrijednost čvrstoće ploče, neovisno o položaju u njoj.

2.2 Metod ispitivanja

Uzorci su pripremljeni za ispitivanje čvrstoće savijanja pod sledećim uvjetima:



Slika 1. Principijelna shema konstrukcije ploče sastavljene iz 17 listova furnira

Fig. 1. Principle construction scheme of board which consists of 17 veneer sheets

Formirane su dvije konstrukcije ploča po 3 komada i to:

- ploča debljine 50 mm sastavljena od 17 furnira debljine 3,5 mm, vrsta drveta jela;
- ploča debljine 78 mm sastavljena od 29 furnira smrče debljine 3,5 mm.

Širina ploča bila je 900 mm, a dužina 2050 mm.

Poslije hlađenja ploča, iz njih su se rezali elementi širine 75 mm dužine 990 mm. Iz ovih elemenata su se rezale probe za ispitivanje čvrstoće na savijanje dimenzija 20 x 20 x 320 mm. Na ovaj način, ploča se tretira kao kompaktna (simulacija masiva), tj. rezultati

- Probe su klimatizirane u klima komorama na odgovarajuću temperaturu i vlagu, a zatim ispitivane u laboratoriji. Temperatura klimatiziranja kretala se od -20 do +60°C sa vlagom $12 \pm 2\%$, a ispitivanja su vršena na temperaturi okoline 20°C i $\varphi = 50\%$ do 65%.
- Probe su ispitivane u klimatiziranim uvjetima. Temperaturno područje bilo je 10 do 60°C, uz vlagu proba $12 \pm 2\%$.

Ispitivanje čvrstoće savijanja vršeno je na kidalici sa tačnošću očitavanja sile 5 N i registrovanja deformacije 0,1 mm. Opterećivanje je

bilo koncentriranom silom na sredini probe. Dobiveni dijagram sile-deformacije uvećan je, i sa njega očitane vrijednosti deformacije u intervalu 10 do 40% maksimalne sile loma kao i vrijednosti sile i deformacije u intervalu proporcionalnosti.

Obrada slike vršena je u računarskom programu Adobe Photoshop 6, a očitavanje vrijednosti je obavljeno sa pomičnim mjerilom tačnosti 0,01 m.

Na osnovu tih vrijednosti dobiveni su podaci za maksimalnu čvrstoću savijanja, čvrstoću savijanja u zoni proporcionalnosti i modul elastičnosti na osnovu jednačbi (1) i (2):

- za modul elastičnosti uslijed savijanja [Pa] (1),

$$E = \frac{(0.4 \cdot F_{\max} - 0.1 \cdot F_{\max}) \cdot l^3}{4 \cdot f \cdot b \cdot h^3}$$

- za čvrstoću savijanja (maksimalnu i u zoni proporcionalnosti) [Pa] (2):

$$\sigma_s = \frac{3 \cdot F^* \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

gdje je:

E – Modul elastičnosti uslijed savijanja, u daljem tekstu *MOE* [Pa]

σ_s – Čvrstoća savijanja [Pa]

F_{\max} – maksimalna sila loma [N]

l – razmak između oslonaca [m]

F^* – jednaka F_{\max} za slučaj maksimalne čvrstoće savijanja ili maksimalne sile u domenu proporcionalnosti [N]

b – širina probe [m]

h – visina probe [m]

f – ugib probe koji odgovara $(0,4 F_{\max} - 0,1 F_{\max})$ [m].

Mjerenje temperature proba obavljeno je u sredini i na površini probe neposredno i za vrijeme eksperimenta digitalnim termometrom sa tačnošću 0,1°C. Srednja temperatura probe izračunavana je uz uvjet, tj. pretpostavku, da se grijanje-hlađenje odvija po Furijerovom redu, odnosno da se odvija po tom zakonu između površine i sredine uzorka prema slici 3 i jednačbama (3) i (4):

$$t(z, x) = t_1 + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{16 \cdot (t_0 - t_1)}{m \cdot n \cdot \pi^2} \cdot e^{-\pi^2 \cdot z \cdot a \cdot \left(\frac{m^2 + n^2}{b^2}\right)} \cdot \sin \frac{m \cdot \pi \cdot x}{b} \cdot \sin \frac{n \cdot \pi \cdot x}{b} \quad (3)$$

$$t(z, x) = t_1 + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{16 \cdot (t_0 - t_1)}{m \cdot n \cdot \pi^2} \cdot e^{-k_f \cdot a \cdot \pi^2 \cdot z \cdot \left(\frac{m^2 + n^2}{b_i^2}\right)} \cdot \sin \frac{m \cdot \pi \cdot x}{b_i} \cdot \sin \frac{n \cdot \pi \cdot x}{b_i} \quad (4)$$

Oznake u jednačbama (3), (4) i na slici 3 su slijedeće:

t_0 – početna temperatura probe

t_1 – temperatura površine probe, jednaka temperaturi okoline

$t_{s,mj}$ – mjerena temperatura sredine probe

$t_{l,mj}$ – mjerena temperatura površine probe

b – dimenzije probe

b_l – fiktivna širina probe na kojoj je temperatura nakon vremena z jednaka konstantnoj početnoj temperaturi okoline t_1

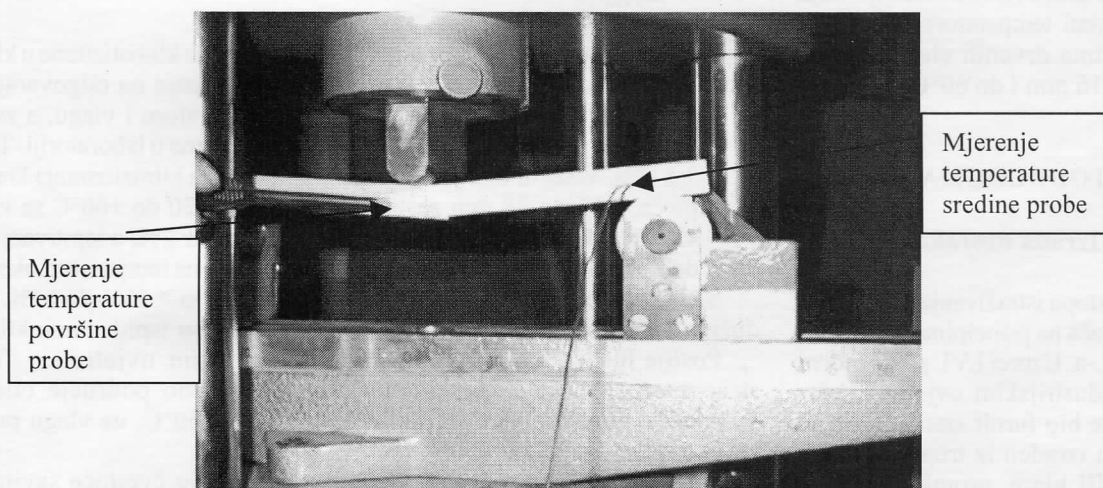
a – koeficijent termičke difuzije

$k_f \cdot a$ – factor, prividni koeficijent termičke difuzije

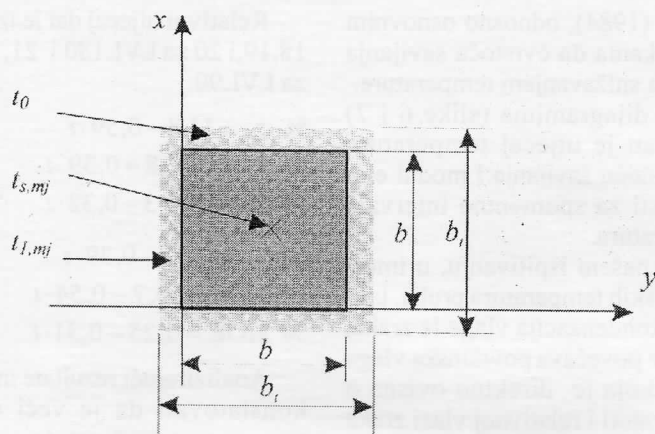
m, n – brojevi članova Furijerovog reda.

Na slici 4 prikazan je primjer teoretske (1) i proračunate (2) krive rasporeda temperature između površine i sredine proba.

Vlaga proba mjerena je električnim vlagomjerom tačnosti 0,1% i čije odstupanje je prethodno usaglašeno sa gravimetrijskom metodom.

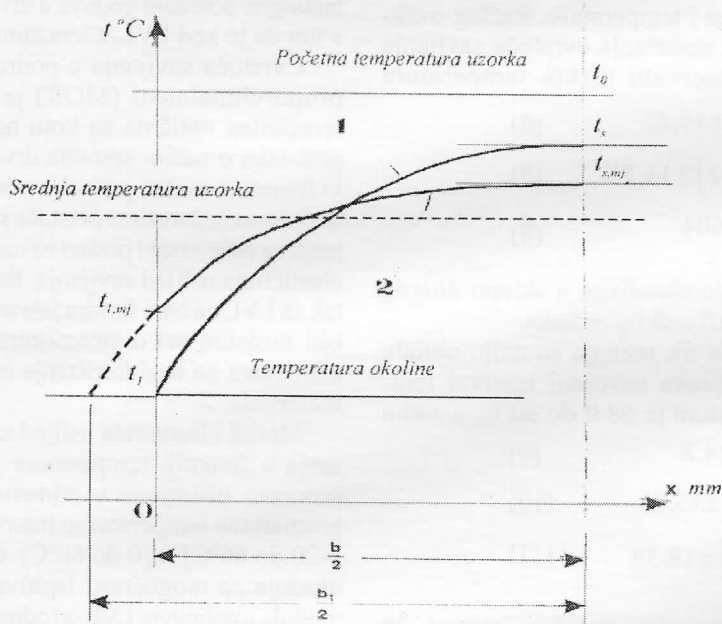


Slika 2. Mjesto i način mjerenja temperatura
Fig. 2. Place and way of temperature measurement



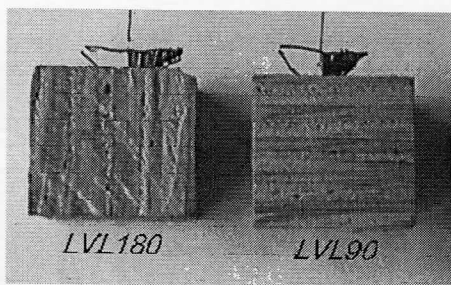
Slika 3. Shematski izgled poprečnog presjeka probe, s oznakama koje figuriraju u jednadžbama

Fig. 3 Scheme of cross section of sample, named as the variables in equations



Slika 4. Primjer proračunate temperature u uzorku prema jednadžbama (3) kriva 1 i (4) za krivu 2

Fig. 4. Example of computed distribution of temperature at different distance in samples according to equation (3) for curve 1 and (4) for curve 2



Slika 5. Način opterećenja proba LVL180 i LVL90

Fig. 5. Testing of samples LVL180 and LVL90

3. REZULTATI ISPITIVANJA I ANALIZA REZULTATA

Rezultati ispitivanja su dati u obliku maksimalne čvrstoće savijanja σ_s , čvrstoće savijanja u domenu proporcionalnosti (MOR) i vrijednosti modula elastičnosti uslijed savijanja (MOE). Rezultati su dati prema položaju furnira u probi tj. za okomit i paralelan s djelovanjem opterećenja (slika 5), i adekvatno tome nose oznake LVL180 odnosno LVL90.

Obrada i analiza dobivenih rezultata tekla je slijedećim redoslijedom:

- procjenjivanje utjecaja temperature, sadržaja vlage i vremena ispitivanja na rezultate istraživanja,
- usvajanje regresije s intervalom povjerenja,
- određivanje relativnog utjecaja promatranog svojstva u odnosu na temperaturu
- 20°C, kao 100% vrijednosti prema izrazu (5):

$$\% \text{ promjene } X = \frac{X_t - X_{20}}{X_{20}} \cdot 100$$

gdje je:

- X – postotak promjene promatranog svojstva,
- X_t – vrijednost svojstva pri temperaturi (t),
- X_{20} – vrijednost svojstva pri temperaturi 20°C.

3.1 Kompozitni materijal na bazi furnira jele opterećen u pravcu i okomito na furnir, oznake LVL 180, LVL 90

Na osnovu temperatura sredine proba, temperature površine proba, izračunate su srednje temperature za svaku probu uz uvjet da se temperatura kretala po Furijerovom zakonu, kako je navedeno u metodologiji ispitivanja.

Vrijednosti vlage i vremena do loma (vrijeme trajanja ispitivanja) proba, također, date su po temperaturnim intervalima, ali i prosjek za čitav promatrani skup.

Srednja vrijednost vlage svih upotrebljenih proba za LVL180 bila je 12,8% sa standardnom devijacijom 1,2% i koeficijentom varijacije 9,2%, a prosječno vrijeme trajanja ispitivanja bilo je 53,9 sekunde sa standardnom devijacijom 8,2 sekundi i koeficijentom varijacije 15,3%

Za probe LVL 90 srednja vrijednost vlage proba bila je 13,5% sa standardnom devijacijom 1,5% i koeficijentom varijacije 11,4%, a prosječno vrijeme trajanja ispitivanja proba bilo je 64,7 sekunde sa standardnom devijacijom 17,9 sekundi i koeficijentom varijacije 28,6%.

Regresione jednadžbe ovisnosti promatranih zavisnih promjenljivih za LVL180 date su jednadžbama 6, 7 i 8 za interval temperatura -20 do 60°C.

$$\sigma_s = [(87,54 \pm 2,81) - (0,38 \pm 0,103) \cdot t] \pm 19,62 \quad (6)$$

$$MOR = [(54,83 \pm 2,08) - (0,19 \pm 0,076) \cdot t] \pm 14,57 \quad (7)$$

$$MOE = [(11945 \pm 516) - (41 \pm 19) \cdot t] \pm 3604 \quad (8)$$

Regresione jednadžbe ovisnosti promatranih zavisnih promjenljivih za LVL90 date su jednadžbama 9, 10 i 11 za interval temperatura -20 do 60°C,

$$\sigma_s = [(77,73 \pm 1,8) - (0,23 \pm 0,07) \cdot t] \pm 14,8 \quad (9)$$

$$MOR = [(49,73 \pm 1,9) - (0,15 \pm 0,07) \cdot t] \pm 15,2 \quad (10)$$

$$MOE = [(9237 \pm 242) - (24,24 \pm 9,4) \cdot t] \pm 19,59 \quad (11)$$

gdje su:

t – temperatura proba [°C]

u – vlaga proba [%]

σ_s – čvrstoća savijanja [MPa]

MOR – čvrstoća savijanja na granici proporcionalnosti [MPa]

MOE – modul elastičnosti uslijed savijanja [MPa]

U intervalima temperatura od -20 do 10°C i od 0 do 60°C, uočen je smanjen utjecaj temperature na čvrstoću savijanja u intervalu -20 do 10°C što potvrđuju odsutnost signifikantnosti adekvatnosti regresije i koeficijenta korelacije. Ovo je u suprotnosti sa rezultatima Thunell-a (prema Kollman, 1968) i Mishiro-

Asano (1984), odnosno osnovnim postavkama da čvrstoća savijanja raste sa snižavanjem temperature.

Na dijagramima (slike 6 i 7) prikazan je utjecaj temperature na čvrstoću savijanja i modul elastičnosti za spomenute intervale temperatura.

Pri našem ispitivanju, u intervalu niskih temperatura proba, javlja se kondenzacija vlage iz zraka, čime se povećava površinska vlaga proba koja je direktno ovisna o temperaturi i relativnoj vlazi zraka laboratorije. Iz rasporeda naprezanja proba opterećenih savijanjem dobro je poznato da su maksimalnim naprezanjima opterećeni vanjski dijelovi probe (tlak i istezanje) čije vrijednosti opadaju sa povišenjem vlage i temperature. Razlog ovakvog ponašanja čvrstoća savijanja u intervalu niskih temperatura

bit će obrađivan u sklopu drugog istraživačkog zadatka.

Iz tih razloga za dalju obradu podataka usvojeni interval temperatura je od 0 do 60°C, a zatim

aproksimiran na željeni interval -20 do 60°C.

Rezultati promatranih svojstava dati su regresionim jednadžbama 12, 13, i 14 za LVL180 i jednadžbama 15, 16 i 17 za LVL90.

$$\sigma_s = [(90,75 \pm 5,13) - (0,48 \pm 0,16) \cdot t] \pm 18,8 \quad (12)$$

$$MOR = [(55,39 \pm 4,4) - (0,21 \pm 0,14) \cdot t] \pm 16,1 \quad (13)$$

$$MOE = [(11764 \pm 1187) - (35,1 \pm 68) \cdot t] \pm 4002 \quad (14)$$

$$\sigma_s = [(79,70 \pm 3,4) - (0,29 \pm 0,11) \cdot t] \pm 15,2 \quad (15)$$

$$MOR = [(53,03 \pm 3,3) - (0,26 \pm 0,11) \cdot t] \pm 14,6 \quad (16)$$

$$MOE = [(9398 \pm 478) - (27,47 \pm 15,9) \cdot t] \pm 2116 \quad (17)$$

Relativni utjecaj dat je izrazima 18, 19, i 20 za LVL180 i 21, 22 i 23 za LVL90:

$$\% \sigma_s = 11,8 - 0,59 \cdot t \quad (18)$$

$$\% MOR = 7,8 - 0,39 \cdot t \quad (19)$$

$$\% MOE = 6,3 - 0,32 \cdot t \quad (20)$$

$$\% \sigma_s = 7,85 - 0,39 \cdot t \quad (21)$$

$$\% MOR = 10,7 - 0,54 \cdot t \quad (22)$$

$$\% MOE = 6,25 - 0,31 \cdot t \quad (23)$$

Analizirajući rezultate možemo konstatovati da je veći utjecaj temperature na čvrstoću savijanja u odnosu na modul elastičnosti i čvrstoću savijanja u području proporcionalnosti.

Postoji razlika u rezultatima ispitivanja između LVL180 i LVL90 analogno položaju godova u drvetu, s tim da je kod LVL-a izražajniya.

Čvrstoća savijanja u području proporcionalnosti (MOR) je interesantna veličina za koju nema podataka o našim vrstama drveća. U literaturi su dati podaci o maksimalnim vrijednostima čvrstoće savijanja za naše vrste i podaci za modul elastičnosti uslijed savijanja. Podatak za LVL na bazi furnira jele može biti koristan pri dimenzioniranju elemenata na bazi korištenja ovog materijala.

Modul elastičnosti uslijed savijanja u funkciji temperature nije pokazao promjene u odnosu na promatrane temperaturne intervale [-20 do 60°C] i [0 do 60°C]. Ovo ukazuje na mogućnost ispitivanja modula elastičnosti LVL-a (odnosno drveta) u laboratorijama bez naročite pripreme i opreme. Znači, da utjecaj trenutnog povećanja vlage uslijed kondenzacije iz zraka po površini proba, nema ili je utjecaj mali, na

vrijednosti modula elastičnosti, u odnosu na čvrstoću savijanja.

Relativne promjene čvrstoće i modula elastičnosti pokazuju koliko se postotno mijenjaju vrijednosti čvrstoće savijanja i modula elastičnosti u odnosu na vrijednosti dobivene na temperaturi 20°C (temperaturi laboratorije).

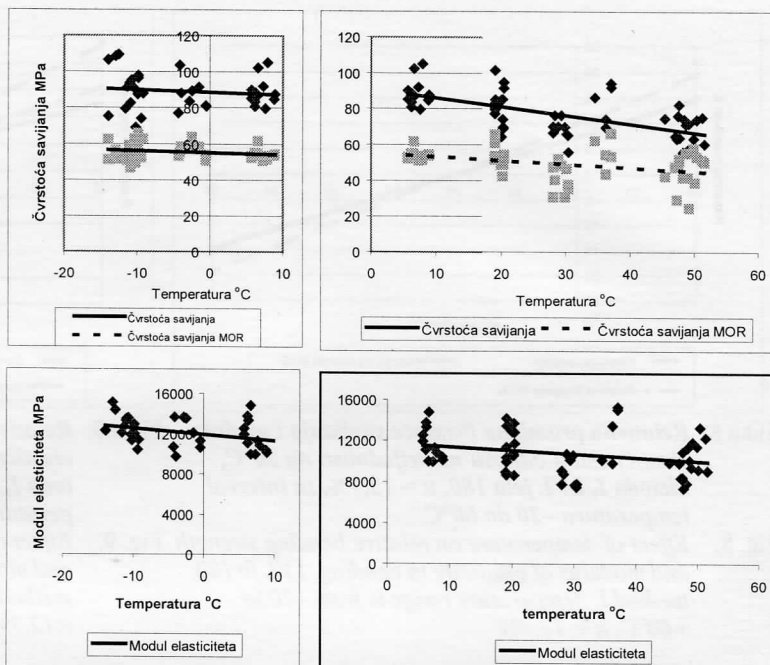
Istraživanja su pokazala da čvrstoća savijanja pokazuje veće relativne promjene u odnosu na modul elastičnosti. Ovo važi, kako za interval temperatura [-20 do 60°C], tako i za interval temperatura [0 do 60°C] neovisno o smjeru opterećenja. Međutim, rezultati LVL90 pokazuje nešto manje vrijednosti u odnosu na LVL180.

Vrijednosti relativnih promjena čvrstoće savijanja, za interval temperatura [0 do 60°C] su nešto veće u odnosu na interval temperatura [-20 do 60°C], što se može uočiti sa dijagrama, slika 9 i 10.

4. ZAKLJUČCI

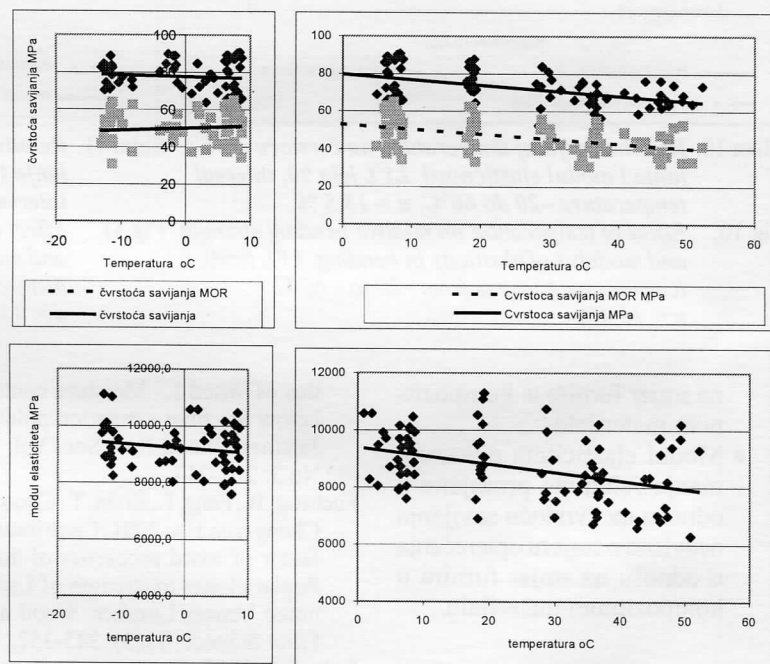
Upotrebljeni materijal za istraživanje utjecaja temperature na mehanička svojstva LVL kao kompozitnog materijala, pokazuje približna svojstva masivnog drveta, a rezultati se mogu sažeti u:

- Promatrani kompozitni materijal ponaša se kao masivno drvo jele/smrče visokog kvaliteta (bez grešaka) pod utjecajem temperature u intervalu -20 do 60°C i za vlagu materijala koji se tolerira u proizvodnji prozora.
- Potvrđen je linearni utjecaj temperature na čvrstoću savijanja i modul elastičnosti promatranog kompozitnog materijala.
- Postoji razlika u vrijednostima čvrstoće savijanja i modula elastičnosti ovisno o smjeru djelovanja opterećenja u odnosu na smjer furnira u kompozitnom materijalu.
- Utjecaj temperature na modul elastičnosti je manji u odnosu na čvrstoću savijanja neovisno o smjeru opterećenja u odnosu



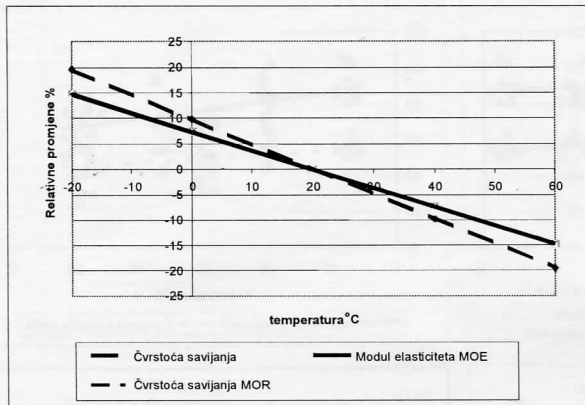
Slika 6. Utjecaj temperature na čvrstoću savijanja i modul elastičnosti LVL jela 180, sa mogućim utjecajem kondenzacije vlage, vlaga proba $u = 12,7\%$

Fig. 9. Effect of temperature on bending strength and modulus of elasticity in bending LVLfir180, method I, with possible influence of condensation, moisture content of samples $u = 12,7\%$



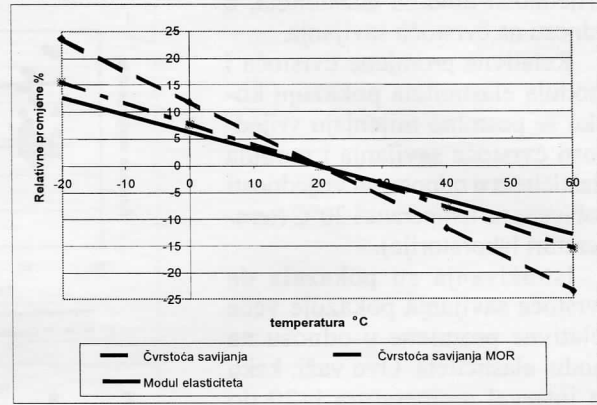
Slika 7. Utjecaj temperature na čvrstoću savijanja i modul elastičnosti LVL jela 90, sa mogućim utjecajem kondenzacije vlage

Fig. 7. Effect of temperature on bending strength and modulus of elasticity in bending LVLfir90, method I, with possible influence of condensation



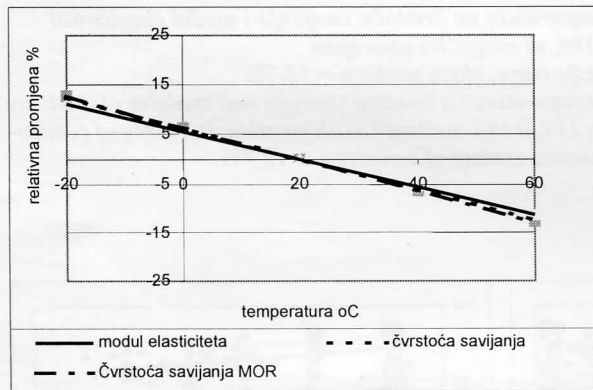
Slika 8. **Relativna promjena čvrstoće savijanja i modula elastičnosti u odnosu na vrijednosti na 20°C, metoda I, LVL jela 180, $u = 12,7\%$, za interval temperatura -20 do 60°C**

Fig. 8. *Effect of temperature on relative bending strength and modulus of elasticity in bending, LVL fir 180, method I, temperature range is from -20 to +60°C, $u = 12,7\%$*



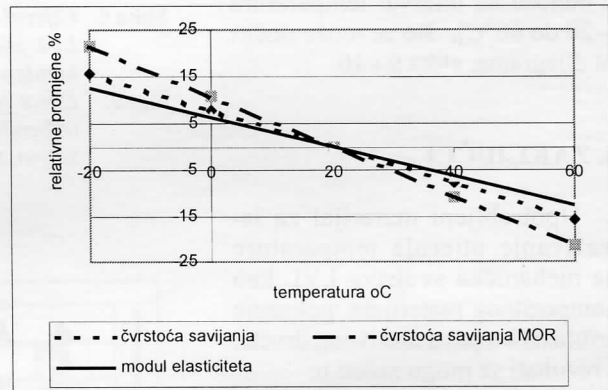
Slika 9. **Relativna promjena čvrstoće savijanja i modula elastičnosti u odnosu na vrijednosti na 20°C, metoda I, LVL jela 180, $u = 12,7\%$, za interval temperatura 0 do 60°C**

Fig. 9. *Effect of temperature on relative bending strength and modulus of elasticity in bending, LVL fir 180, method I, temperature range is from 0 to +60°C, $u = 12,7\%$*



Slika 10. **Relativni utjecaj temperature na čvrstoću savijanja i modul elastičnosti LVL jela 90, interval temperatura -20 do 60°C, $u = 13,5\%$**

Fig 10. *Effect of temperature on relative bending strength and modulus of elasticity in bending, LVL fir 90, temperature range is from -20 to +60°C, $u = 13,4\%$*



Slika 11. **Relativni utjecaj temperature na čvrstoću savijanja i modul elastičnosti LVL jela 90, metoda I, interval temperatura 0 do 60°C, $u = 13,4\%$**

Fig 11. *Effect of temperature on relative bending strength and modulus of elasticity in bending, LVL fir 90, method I, temperature range is from 0 to +60°C, $u = 13,4\%$*

na smjer furnira u kompozitnom materijalu.

- Modul elastičnosti pokazuje manje relativne promjene u odnosu na čvrstoću savijanja neovisno o smjeru opterećenja u odnosu na smjer furnira u kompozitnom materijalu.

LITERATURA

Akiyoshi, M., Asano, I. 1984: Mechanical Properties of Wood at low temperatures Effect of Moisture Proper-

ties of Wood I." Moisture content below the fiber saturation point J. Japanese Wood Res. Soc. Vol. 30 No 3: 207-213.

Fucheng, B., Feng, F., Elvin, T., Choong, Chung-yun Hse 2001: Contribution factor of wood properties of three Poplar clones to strength of Laminated Veneer Lumber. Wood and Fiber Science, 33(3): 345-352.

Fyie, J. A. 1987: Structural products of parallel Laminated Veneer Lumber. : 35-50

Gerhards, C. C. 1979: Effects of moisture and temperature on Mechanical Properties of Wood, An analysis

of immediate effects. Symposium Blacksburg, V.A. october.

Green, D. W., James, W. E., James, D. L., Wilijam, J. N. 1999: Adjusting Modulus of Elasticity of Lumber for changes in temperature, F.P.J. 49 (10): 82-94.

Green, D. W, James W. E., Bruce, A. C. 2003: Durability of structural lumber products at high temperatures. Part I. 66°C at 75% RH and 82°C at 30%RH. Wood and Fiber Science, 35(4): 499-523.

Green, D. W., James W. E. 1998: Temperature corrections for mechanically graded lumber 5th World

Conference on Timber Engineering, August, Montreux: 17-20.
 Guss, L. M. 1994: Engineered Wood Products: A bright future or a myth. : 71-88.
 Hesterman, N. D., Gorman, T. M. 1992: Mechanical properties of Laminated Veneer Lumber made from Interior Douglas-fir and Lodgepole Pine. Forest Prod. J. 42 (11/12): 69-73.
 Kamala, B. S., Kumar, P., Rao R. V., Sharma S. N. 1999: Performance test of Laminated Veneer Lumber

(LVL) from Rubber Wood for different physical and mechanical. Holz als Roh – und werkstoff 57: 114-116.
 Klemarewski, A. 1996: Laminated Dimensional Lumber – a substitute for sawn lumber, Raute News spring/96: 8-9.
 Kollman, F. P. Cote, W. A. 1968: Principle of Wood Science and Technology Solid Wood I., New York.
 Kryzanowski, T. 1998: Continuous – flow LVL line triples production

speed Wood Technology, October: 18-20.
 Maun, K. W., Cheavins, R. A. 1996: Moisture resistance of Laminated Veneer Lumber (LVL). "BRE" Information paper IP 8/96.
 Šorn, Š. 2005: Istraživanje fizikalnih svojstava LVL ploča za primjenu u građevinarstvu i proizvodnji građevinske stolarije, Doktorska disertacija, Sarajevo.

