

VYBRANÉ FYZIKÁLNE A MECHANICKÉ VLASTNOSTI VRSTVENÉHO DYHOVÉHO DREVA Z EUKALYPTU

SELECTED PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LAMINATED VENEER LUMBER OF EUCALYPT

Gabriela Zubková – Laurent Bléron – Ján Zemiar

ABSTRACT

The aim of this work is to determine selected physical and mechanical properties of laminated veneer lumber (LVL) of eucalypt made by the French society Woold in Sable d'Olonne and to compare these properties with eucalypt solid wood from literature. Tested material LVL is manufactured from peeled eucalypt veneers of thickness of 1,5 mm, glued with epoxy glue. From LVL of eucalypt Woold produce furniture, elements for exterior and window frames. In comparison to eucalypt solid wood eucalypt laminated veneer lumber achieved better dimensional (about 25 % less in tangential direction) and shape stability (about 31,43 % lower differential shrinkage), higher values of density (13–27 %), bending strength (about 20–40 %), compression strength parallel the grain (about 18,28–40,70 %) and higher values of modulus of elasticity (about 25,25 a 19,30 %). We proved that LVL of eucalyptus meets the requirements of European Standards and it classed to class of resistance D60 according to EN 338.

Key words: laminated veneer lumber, eucalypt, epoxy glue, properties

ÚVOD

Vrstvené dyhové drevo, nazývané tiež LVL (Laminated Veneer Lumber), sa začalo vyrábať v Amerike v sedemdesiatych rokoch. Je to materiál na báze dreva podobný preglejkám s tým rozdielom, že všetky alebo väčšina dých je pozdĺžne orientovaných k dĺžke vyrábaného produktu. V Európe je známy najmä pod obchodným názvom Kerto (Finnforest OY, Fínsko), v USA pod Microllam (Weyerhaeuser), ale sú tam známe aj iné spoločnosti ako Pacific Woodtech, Boise Cascade, Tembec Industries Inc., APA Ontario v Kanade, Wesbeam v Austrálii, NelsonPine na Novom Zélande a Keytec v Japonsku. Vrstvené dyhové drevo (LVL) sa bežne vyrába z ihličnatých drevín, ale potreba využívať prirodzené zdroje surovín efektívnejšie podnietila výskum na rekonštituované výrobky z listnatých drevín (OZARSKA 2005). Spoločnosť Finnforest vyrába LVL zo smreka, NelsonPine, Wesbeam z borovice hladkej, Boise Cascade zo žltej južnej borovice, Pacific Woodtech z duglasky, APA-Ontario z osiky, Tembec Industries z brezy a osiky a Weyerhaeuser zo žltého topoľa. V roku 2002 Boise otvorilo nový dýharenský závod v Rio Grande do Sul v Brazílii. Je to najväčší eukalyptový dýharenský závod na svete, a veľa z produkcie sa exportuje do závodu Boise Cascade na výrobu LVL (FLYNN 2008).

Spoločnosť Woold vo Francúzku vyrába LVL z eukalyptových lúpaných dých o hrúbke 1,5 mm. Poznáme až okolo 700 druhov eukalyptov (AFOCEL 2003). Najznámejší je z nich *Eucalyptus globulus* Labill. (lat.), Eucalipto blanco (špan.), Tasmanian blue gum (angl.)

(GIT 2009), ktorý spoločnosť Woold používa na výrobu LVL. Na lepenie dýh používa epoxidové lepidlá (WOOLD 2005).

Drevina eukalyptus je dostatočne tvrdá, pevná, pružná, trvanlivá, dostupná a široko využitelná drevina o vysokej hustote a s rýchlym rastom. Nevýhodou tejto dreviny vysoké zosychanie a nízka priepustnosť, čo robí tento materiál extrémne náročným na sušenie (CAMPBELL, HARTLEY 1978, SANTOS 2000, VERMAAS 1995). Typickými defektmi eukalyptu sú kolaps (TRNKA 1998, VERMAAS 1995, SANTOS 2000), povrchové trhliny (VERMAAS 1995, SANTOS 2000), vysoké vlhkosťné gradiendy a výrazné napätia pri sušení (SANTOS 2000). Nízka rozmerová stabilita a veľmi vysoké koeficienty napučania a zosychania (SANTOS 2000), problémy s vnútornými trhlinami (MCKENZIE a GAUNT 2006), napätiami sa dajú znížiť procesom lúpania výrobou LVL, čím sa znížia aj problémy so sušením. Keďže sušenie eukalyptu je značne drahšie ako sušenie ihličnatého reziva kvôli dlhším časom sušenia. Eukalyptové drevo sa všeobecne pomaly suší (CAMPBELL, HARTLEY 1978, SANTOS 2000, VERMAAS 1995). Sušenie sa predlžuje aj kvôli vysokému BNV 37 % (CISMADEIRA 2005), viazaná voda sa uvoľňuje z dreva pomalšie (TREBULA *et al.* 2005). Dyhy sa sušia jednoduchšie ako rezivo. Môžeme použiť aj tvrdé vysokoteplotné režimy sušenia (MAHÚT *et al.* 2006). Výhodou LVL v porovnaní s masívnym drevom je aj nízka variabilita jeho vlastností (OZARSKA 2005, CARRICK, MATHIEU 2005, KEYTEC 2008), možnosť ho vyrábať aj z mladších plantážových stromov (CARRICK, MATHIEU 2005).

COLLINS a YAZAKI (1996) hovoria o nekvalitných lepených spojoch eukalyptu (napr. Blackbutt – *Eucalyptus Pilularis* Smith) pri lepení tradičnými fenolickými lepidlami používanými pri výrobe preglejok. Tento problém CARRICK, MATHIEU (2005) zdôvodňujú prítomnosťou extraktívnych látok. Problémy pri lepení eukalyptov o vysokej hustote s fenol-formaldehydovým (PF) alebo rezorcínó-formaldehydovým lepidlom zapríčinené prítomnosťou extraktívnych látok na lepiacom povrchu dreva potvrdzuje aj OZARSKA (2005), ktorá opisuje malú pevnosť ich spojov, prejavenej zvlášť po 72 hodinovom máčaní vo vriacej vode. Málo chemizmov prípravy lepidiel bolo vyvinutých a patentovaných, ktoré by umožnili kvalitné lepené spoje konštrukčných dýh vyrobených z eukalyptov s vysokou hustotou (COLLINS 1985, COLLINS a YAZAKI 1994, 1996 Zdroj: OZARSKA 2005). MCKENZIE a GAUNT (2006) lepením dýh *Eucalyptu nitens* (Deane and Maiden) Maiden PF lepidlom dosiahli vysokú pružnosť LVL. State Forests NSW skúšali lepenie eukalyptových dýh (*Eucalyptus Pilularis* Smith) fenol-tanínovým lepidlom vytvrdzované paraformaldehydom s cieľom využitia na extérne konštrukčné účely, kde dosiahli uspokojivé výsledky (CARRICK, MATHIEU 2005).

Eukalyptové drevo dosahuje veľmi vysoké mechanické vlastnosti, obsahuje málo hrč a dáva silné lepené spoje, čo sú vlastnosti, ktoré odôvodňujú záujem jeho využitia pre konštrukčné účely, stavebné a nábytkové časti alebo dokonca konštrukcie budov (SANTOS, 2000). Dovoľené napätia v ohybe, ťahu a tlaku rovnobežne s vláknami pre LVL miešané z *Eucalyptus obliqua* L'Herit a *Eucalyptus delegatensis* R.T. Baker boli dvojnásobne vyššie ako pre eukalyptové masívne drevo. Šmyková pevnosť bola podobná, podľa všetkého kvôli hlbokým trhlinám na dyhách spôsobené lúpaním. Pevnosť, pružnosť a dovoľené namáhania LVL sa hodnotili podľa austrálskej normy (AS/NZS 4063). OZARSKA (2005) uvádza, že modul pružnosti LVL dosiahol hodnotu 21 850 MPa v porovnaní s eukalyptovým drevom s nižšou hodnotou 14 000 MPa. Hodnoty pevnosti v ťahu rovnobežne s vláknami boli 34,4 MPa (LVL) a 14,0 MPa (drevo). APA vyrába LVL z 3,2 mm osikovej dyhy, lepí fenolformaldehydovým lepidlom. Výsledky skúšok ukázali, že LVL z osiky malo ohybové charakteristiky porovnateľné k LVL z ihličnatých drevín (OZARSKA 2005). Aj keď sa v Austrálii bežne pre konštrukčné účely v chránených expozíciách používa borovicové LVL, pri použití do exteriéru nie je dostatočne trvanlivé.

LVL z *Eucalyptu Pilularis* Smith ponúka dobrú pevnosť a trvanlivosť. Je vhodné ako LVL na konštrukčné účely aj v exteriéri (CARRICK, MATHIEU 2005).

Cieľom článku je zistiť vybrané vlastnosti eukalyptového vrstveného dyhového dreva (LVL) lepeného epoxidovým lepidlom a porovnať ich s vlastnosťami eukalyptového dreva (ED) uvedenými v literatúre.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Na experimentálne práce sme použili 2 hranolčky vrstveného dyhového dreva LVL o rozmeroch 100 × 45 × 1500 mm (b × h × l), vyrobené spoločnosťou Woold, a to zlepením dýh o hrúbke 1,5 mm rovnobežne s vláknami epoxidovým lepidlom. Rozpílili sme ich na skúšobné telesá o rozmeroch stanovených podľa príslušných noriem (tab. 1) pre skúšanie fyzikálnych vlastností: vlhkosť, hustotu, zosychanie a mechanických vlastností: pevnosť v tlaku a pevnosť v ohybe v smere roviny dosky a kolmo na rovinu dosky pri stanovenej vlhkosti.

Tab. 1 Zhrnuté skúšané vlastnosti, použité normy, rozmery a počet skúšobných telies
Tab. 1 Summarized test properties, standards used, dimensions and number of specimens

Vlastnosť	Norma	Rozmery skúšobných telies* (mm)	Počet skúšobných telies
Vlhkosť, hustota, zosychanie	EN 322, EN 323, NF B 51-006	45 × 45 × 45	80
Pevnosť v tlaku	EN 408	45 × 45 × 270	40
Pevnosť v ohybe kolmo na rovinu dosky	EN 14 374, EN 408	30 × 38 × 722	40
Pevnosť v ohybe rovnobežne s rovinou dosky	EN 14 374, EN 408	45 × 38 × 722	20

* b × h × l, b – šírka, h – hrúbka, l – dĺžka

Vlhkosť

Vlhkosť sme stanovili váhovou metódou podľa postupu stanovený normou NF B 51-006, ktorá je v súlade s normou STN EN 322–49 01 43. Rozmery skúšobných telies a počet meraní sú znázornené v tab. 1. Uvedené rozmery sú v porovnaní s normou upravené.

Vlhkosť w skúšobného telesa sa vypočíta s presnosťou na 0,1 % podľa rovnice:

$$w = \frac{m_w - m_0}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

kde w je vlhkosť skúšobného telesa [%],

m_w - hmotnosť skúšobného telesa pred vysušením [g],

m_0 - hmotnosť skúšobného telesa po vysušení [g] (DUBOVSKÝ – ČUNDERLÍK 1989).

Hustota

Podstatou metódy je zistenie hustoty ako pomeru hmotnosti skúšobného telesa k jeho objemu pri rovnakej vlhkosti. Rozmery skúšobných telies a počet meraní sú znázornené v tab. 1. Uvedené rozmery sú v porovnaní s normou upravené. Postup skúšky bol vykonaný podľa normy STN EN 323 – 49 01 42.

Hustota ρ_w každého skúšobného telesa sa vypočíta podľa rovnice:

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \quad (2)$$

kde ρ_w je hustota skúšobného telesa pri vlhkosti w [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],
 V_w - objem skúšobného telesa [m^3].

Zosychanie

Postup skúšky bol vykonaný podľa normy NF B 51-006. Rozmery skúšobných telies a počet meraní sú znázornené v tab. 1. Uvedené rozmery sú v porovnaní s normou upravené.

Podľa rovnice (3) sme vypočítali objemové, radiálne, tangenciálne a pozdĺžne zosychanie pri vlhkosti w (od vlhkosti w po 0 %).

$$\alpha_i(w) = \frac{a_{iw} - a_{i0}}{a_{iw}} \times 100 \quad (3)$$

kde α_{iw} je príslušné zoschnutie v i -tom smere pri určitej vlhkosti w [%],

$i = t, r, l, V$ – rozmery skúšobného telesa v tangenciálnom (t), radiálnom (r) pozdĺžnom (l) smere [mm] a objem (V) [mm^3],

a_{iw} - lineárny rozmer skúšobného telesa v i - tom smere pri vlhkosti w [mm],

a_{i0} - lineárny rozmer skúšobného telesa v i - tom smere po zoschnutí [mm].

Celkové zoschnutie (od BNV po 0 %) sme vypočítali podľa nasledovnej rovnice (4) a porovnali ho s hodnotami zosychania ED:

$$\alpha_i = \frac{a_{iw} \times w_{MH}}{\Delta w} \quad (4)$$

kde α_i je celkové zoschnutie (od BNV do 0 %),

w_{MH} – vlhkosť na medzi hygroskopicity [%].

Z hodnôt celkového zosychania sme vypočítali aj diferenciálne zoschnutie (pomer tangenciálneho a radiálneho zosychania) a koeficienty celkového radiálneho aj tangenciálneho zosychania podľa rovnice:

$$K_{ai} = \frac{\alpha_i}{w_{MH}} \quad (5)$$

kde K_{ai} je koeficient zosychania v i -tom smere.

Koeficient udáva o koľko % zoschne drevo pri zmene vlhkosti o 1 % (DUBOVSKÝ – ČUNDERLÍK 1989).

Pevnosť v tlaku

Zisťovali sme maximálnu silu potrebnú na porušenie telesa. Postup skúšky bol vykonaný podľa normy EN 408. Rozmery skúšobných telies a počet meraní sú znázornené v tab. 1. Pevnosť v tlaku rovnobežne s rovinou dosky sme vypočítali podľa rovnice:

$$f_{c,0} = \frac{F_{max}}{S} \quad (6)$$

kde $f_{c,0}$ je pevnosť v tlaku v smere vláken [MPa],

F_{max} – sila maximálneho zaťaženia [N],

S – plocha prierezu [mm^2].

Pevnosť a modul pružnosti v ohybe

Meranie pevnosti v 4-bodovom ohybe kolmo na rovinu dosky sme vykonali postupom podľa EN 408 na zariadení INSTRON v laboratóriách Cluny, ENSAM vo Francúzsku na 40

skúšobných telesách a meranie pevnosti v 4–bodovom ohybe rovnobežne s rovinou dosky na 20 skúšobných telesách s rozmermi podľa tab. 1. Podľa EN 408 je zachovaný štíhlostný pomer:

$$\lambda = \frac{l_0}{h} = 18 \quad (7)$$

kde λ je štíhlostný pomer,

l_0 – vzdialenosť podpier [mm].,

h – hrúbka skúšobného telesa [mm].

Pri ohybovej skúške (obr. 1) sme zisťovali silu, ktorá spôsobila zlom telesa a priehyb v bode zaťažujúcej sily.



Obr. 1 Skúšobné teleso pri 4–bodovom ohybe so snímačom na meranie priehybu v mieste sily zaťaženia

Fig. 1 Test specimen in 4–point bending with sensor in the point of load force

Z uvedených údajov sme vypočítali pevnosť v ohybe a modul pružnosti. Pre výpočet pevnosti v ohybe EN 408 uvádza rovnicu:

$$f_m = \frac{aF_{max}}{2W} \quad (8)$$

kde f_m je pevnosť v ohybe [MPa],

a – vzdialenosť medzi podperou a najbližšou zaťažujúcou silou [mm],

F_{max} – sila maximálneho zaťaženia [N],

W – prierezový modul [mm³].

Prierezový modul vypočítame podľa rovnice:

$$W = \frac{bh^2}{6} \quad (9)$$

kde b je šírka skúšobného telesa [mm].

Rovnicu na výpočet modulu pružnosti pre tento prípad sme si odvodili podľa schémy na obr. 2 nasledovnou rovnicou (10):

$$EI y'(x) = EI y'(0) x + \frac{F}{2} \times \frac{x^3}{6} - \frac{F}{2} \times \frac{(x - L_1)^3}{6} - \frac{F}{2} \times \frac{(x - L_2)^3}{6} \quad (10)$$

kde E je modul pružnosti v ohybe [MPa],

I – moment zotrvačnosti [mm³],

$y'(x)$ – derivácia priehybu vo vzdialenosti x od podpory,

L_1 – vzdialenosť medzi podperou a najbližšou zaťažujúcou silou (a) [mm],

L_2 – vzdialenosť medzi podperou a druhou zaťažujúcou silou ($2a$) [mm],

L – vzdialenosť medzi podperami ($3a$) [mm].

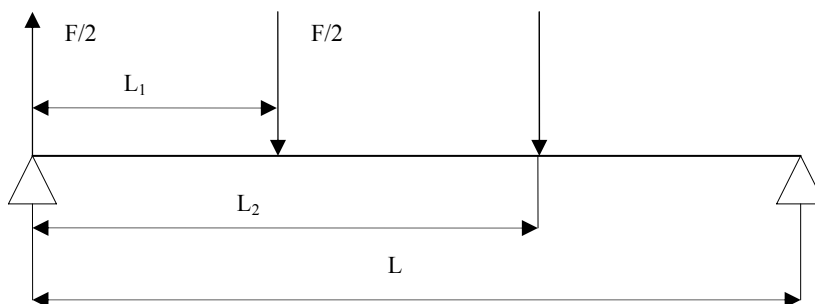
Moment zotrvačnosti vypočítame podľa rovnice:

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (11)$$

Dosadením podmienok $w''(L) = 0$ a pre $x = L_1$ dostávame rovnicu na výpočet modulu pružnosti:

$$E(L_1) = \frac{F}{bh^3 y} \left(-L_1 L^2 + \frac{L_1(L_2^3 + L_1^3)}{L} + L_1^3 \right) \quad (12)$$

Na výpočet modulu pružnosti sme použili program vyhotovený Laurentom Bleronom, ENSAM - Cluny.



Obr. 2 Schéma pre výpočet modulu pružnosti pri 4 bodovom ohybe
Fig. 2 Schema for calculating modulus of elasticity in 4-points bending

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Vlhkosť a zosychanie

Vypočítaná priemerná vlhkosť z nameraných hodnôt hmotnosti bola 7 % s variačným koeficientom 10 %. Zosychanie sa meralo od vlhkosti 7 % po 0 %, nie od BNV, preto sme získané hodnoty zosychania prepočítavali podľa rovnice (4) na hodnoty celkového zosychania, čím sme získali orientačné výsledky zosychania.

V tab. 2 uvádzame údaje o zoschnutí eukalyptového LVL a eukalyptového dreva (uvedeného v literatúre). Pre eukalyptové LVL sme získali priemerné hodnoty celkového zoschnutia v radiálnom smere 8,89 % a tangenciálnom smere 12,43 %. V tangenciálnom smere je hodnota zosychania vrstveného dreva približne 1,4 krát väčšia ako v radiálnom smere. Tieto rozdiely si môžeme vysvetliť na úrovni submikroskopie väčším uhlom sklonu fibríl od pozdĺžnej osi bunky v radiálnych stenách drevných vlákien ako v tangenciálnych. V tangenciálnom smere sa preto môžu fibrily pohybovať v širšom rozmedzí ako v radiálnom, dôsledkom čoho nastáva väčšie zoschnutie v tangenciálnom smere ako v radiálnom (POŽGAJ *et al.* 1997).

Tab. 2 Porovnanie hodnôt zoschnutia LVL a eukalyptového dreva
Tab. 2 Comparison of values of shrinkage of LVL and solid wood

Zisťované vlastnosti	Druh materiálu	
	LVL	ED ¹
Radiálne zoschnutie α_r [%]	8,89	9,8
Tangenciálne zoschnutie α_t [%]	12,43	20,6
Objemové zoschnutie α_v [%]	23,42	32,4
Koeficient radiálneho zoschnutia K_r	0,29	–
Koeficient tangenciálneho zoschnutia K_t	0,42	–

¹ ED = Eukalyptové drevo (WAGENFUHR – SCHEIBER, 1974)

Na hrúbku pracujú LVL rovnako ako normálne drevo v rozmedzí zmien viazanej vody (POŽGAJ *et al.* 1997), čo dosvedčujú aj hodnoty LVL a ED v radiálnom smere. Hodnoty tangenciálneho zoschnutia eukalyptového vrstveného dreva dosiahli o 25 % nižšie hodnoty ako tie eukalyptového dreva, čím poukazujú na lepšiu rozmerovú stabilitu materiálu LVL. O tvarovej stabilite eukalyptového LVL svedčí aj nízka hodnota diferenciálneho zoschnutia 1,44, ktorá poukazuje na vyššiu homogenitu materiálu v porovnaní s hodnotou ED 2,1. Diferenciálne zoschnutie sa znižuje so vzrastom hustoty.

Hustota

Pri 7 % vlhkosti je hustota eukalyptového LVL $912 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a pri 0 % vlhkosti $902 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (tab. 3). V porovnaní s hodnotou hustoty eukalyptového dreva uvedenej v literatúre ($\rho_0 = 660\text{--}790 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, WAGENFUHR – SCHEIBER 1974) je hustota testovaného LVL o 13 až 27 % vyššia.

Tab. 3 Štatistické charakteristiky hodnôt hustoty pri 7 % a 0 %-nej vlhkosti
Tab. 3 Statistical characteristics of values of density at 7 % and 0 % moisture content

Vlastnosť	Hustota ρ_w	Hustota ρ_0
Priemerná hodnota [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	912	902
Smerodajná odchýlka [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	20,98	20,02
Variačný koeficient [%]	2,30	2,22

Pevnosť v tlaku

Z nameranej sily sme vypočítali pevnosť v tlaku (tab. 4). Priemerná hodnota pevnosti v tlaku pri 7 % vlhkosti je 73,49 MPa.

Tab. 4 Hodnoty pevnosti v tlaku rovnobežne s rovinou dosky (ll s vláknami) pri vlhkosti 7 %
Tab. 4 Values of edgewise compression stress (ll to the grain) at 7 % moisture content

Vlastnosť	Pevnosť v tlaku
Priemerná hodnota [MPa]	73,49
Smerodajná odchýlka [MPa]	5,15
Variačný koeficient [%]	7,01

Pevnosť v tlaku eukalyptového dreva pri 12–15 % je 37 až 51 MPa (WAGENFUHR – SCHEIBER 1974), čo je o 18,28 až 40,7 % nižšia ako pevnosť v tlaku LVL pri 12 % vlhkosti (62,405 MPa) prepočítanej zo 7 % pevnosti v tlaku podľa EN 384.

Pevnosť a modul pružnosti v ohybe

Pri skúške sme snímali silovo-deformačný diagram. Z nameranej sily a priehybu sme vypočítali pevnosť v ohybe a modul pružnosti (tab. 5, tab. 6).

Tab. 5 Štatistické charakteristiky hodnôt pevnosti a modulu pružnosti v ohybe kolmo na rovinu dosky

Tab. 5 Statistical characteristics of values of stress and modulus of elasticity in flatwise bending

Vlastnosť	Pevnosť v ohybe	Modul pružnosti
Priemerná hodnota [MPa]	130,08	20 661
Smerodajná odchýlka [MPa]	24,42	2911,13
Variačný koeficient [%]	18,77	14,09

Tab. 6 Štatistické charakteristiky hodnôt pevnosti a modulu pružnosti rovnobežne s rovinou dosky (kolmo na vlákna)

Tab. 6 Statistical characteristics of values of stress and modulus of elasticity in edgewise bending

Vlastnosť	Pevnosť v ohybe	Modul pružnosti
Priemerná hodnota [MPa]	130,57	19 139
Smerodajná odchýlka [MPa]	10,68	1443,08
Variačný koeficient [%]	8,18	7,54

Z údajov uvedených v tabuľke vyplýva, že pri pevnosti v ohybe v smere a kolmo na rovinu dosky sa nepotvrdila ich štatistická významnosť. Modul pružnosti v ohybe kolmo na rovinu dosky je o 7,4 % vyšší ako modul pružnosti rovnobežne s rovinou dosky.

Z nich vyplýva, že hodnoty pevnosti v ohybe pre LVL 130 MPa (podľa EN 384 sa nepožaduje prepočítavať na 12 % vlhkosť) je o 20 až 40 % vyššia v porovnaní s eukalyptovým drevom uvedeným v literatúre – 75 až 104 MPa (WAGENFUHR, SCHEIBER 1974) a modul pružnosti podľa EN 384 prepočítaný zo 7 na 12 % vlhkosť je pre LVL 18 594,9 MPa a 17 225,1 MPa o 25,25 a 19,3 % vyšší ako hodnota modulu pružnosti eukalyptového dreva uvedená v literatúre - 13 900 MPa pri 12 % vlhkosti (WAGENFUHR, SCHEIBER 1974).

Pre konštrukčné účely sa hodnoty prepočítavajú postupom stanoveným v norme EN 384. Podľa hodnoty hustoty, pevnosti v ohybe a priemernej hodnoty modulu pružnosti sme eukalyptové LVL zatriedili do triedy D60 - EN 338 (ZUBKOVÁ, 2005). Výsledkom sú vyššie hodnoty ako sú normované danej triedy.

ZÁVER

LVL z eukalyptu je veľmi pružný a pevný materiál, vhodný na výrobu okien a exteriérového nábytku. V porovnaní s hodnotami eukalyptového dreva uvádzaných v literatúre eukalyptové LVL dosahuje lepšiu rozmerovú (o 25 % menšie zosychanie v tangenciálnom smere) a tvarovú stabilitu (31,43 % menšie diferenciálne zoschnutie), vyššie hodnoty pevnosti v ohybe (o 20–40 %), pevnosti v tlaku (o 18,28–40,7 %), modulov pružnosti (o 25,25 a 19,3 %) a hustoty (o 13–27 %). Podľa výpočtov hustoty, charakteristickej pevnosti v ohybe a priemernej hodnoty modulu pružnosti sme eukalyptové LVL zatriedili do triedy D60.

LITERATÚRA

AFOCEL, Information Eucalyptus, Numero 1, 2003. Dostupné na: <http://kryter.itnetwork.fr/admidocs/admin/telechargementctba.php?table_fich=DOCUMENTATION_GRATUITE&id_fich=1&nom_champ_fich=DOC_URL_DOCZ>, citované [28.04.2005]

APA, Ontario, Temlam, 2007. Dostupné na internete: <<http://www.apawood.org/pdfs/unmanaged/ProdRept/APA%20PRL267%20Temlam.pdf>>, citované [20.04.2008]

BOISECASCADE 1999. Dostupné na internete: http://www.bbacerts.co.uk/PDF/3620i1_web.pdf, citované [28.04.2002]

- CARRIK, J., MATHIEU, K. 2005. Durability of laminated veneer lumber made from blackbutt (*Eucalyptus Pilularis*), 10DBMC International Conference On Durability of Building Materials and Components LYON. Dostupné na: <<http://www.irbdirekt.de/daten/iconda/06059016936.pdf>>
- CISMADEIRA 2005. Propiedades de la madera. Dostupné na: <http://www.cismadeira.com/especies/downloads/propiedadesdamadeira.pdf>, citované [12.06.2006]
- COLLINS, P. J. – YAZAKI, Y. 1996. *Adhesive composition*. United States Patent 5556906. Dostupné na: <<http://www.freepatentsonline.com/5556906.html>>, citované [03.10.2000]
- DUBOVSKÝ, J., ČUNDERLÍK, I. 1989. *Náuka o dreve*. Zvolen: VŠLD. 146 s. ISBN 80–228–0002–3
- FINNFOREST France SAS, DOMAINE: Bois, 2006. Dostupné na: <<http://www.finnforest.fr/>>. citované [12.09.2007]
- FLYNN, B. 2008. *Eucalyptus: Having an Impact on the Global Solidwood Industry*. Dostupné na: <<http://www.wri-ltd.com/marketPDFs/Eucalyptus.pdf>>, citované [28.01.2009]
- GIT Forestry Consulting, Eucalyptologics, 2001–2009 Dostupné na: <<http://git-forestry-blog.blogspot.com/2007/07/eucalyptus-giants-of-spain-portugal.html>>, citované [28.04.2009]
- KEYTEC, Keylam LVL [online]. Japonsko 2008. Dostupné na internete: <http://www.key-tec.co.jp/en/product/keylam/pdf/gijyutusyryou_ct.pdf>, citované [15.02.2009]
- MCKENZIE, H., GAUNT, D. 2006. *Eucalyptus nitens laminated veneer lumber*. Dostupné na: <http://209.85.135.104/search?q=cache:4y4DIR6_OEMJ:www.ensisjv.com/Portals/0/WoodProcNews29.pdf+eucalyptus.+LVL&hl=sk&ct=clnk&cd=8&gl=sk>, citované [17.01.2007]
- NELSONPINE, LVL [online] 2007. Nový Zéland, [cit. 2007-03-23]. Dostupné na internete: <<http://www.nelsonpine.co.nz/Downloads/NelsonPine%20LVL%20NZ%20Intro.pdf>>
- OZARSKA, B. 1999: Prehľad využitia listnatých drevín na výrobu LVL. In *Wood Sci. Technol.*, 33:341–351.
- PACIFIC WOODTECH CORPORATION, Washington, 2000. Dostupné na internete: <<http://www.apawood.org/pdfs/unmanaged/ProdRept/APA%20PR-L233%20PWC.pdf>>, citované [12.03.2009]
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M. 1997. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. Bratislava: Príroda. 468 s. ISBN 80–07–00960–4.
- SANTOS, J. A. 2000. Mechanical behaviour of Eucalyptus wood modified by heat. *Wood Science and Technology*, 34: 39–43.
- TREBULA, P., KLEMENT, I. 2005. *Sušenie a hydrotermická úprava dreva*. 2. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 449 s. ISBN 80-228-1421-0.
- TRNKA, M. 1998. *Prvostupňové spracovanie dreva. Časť I. Sušenie dreva*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. s. 65, ISBN 80–228–0765–6.
- VERMAAS, H. 1995. Drying eucalypts for quality: Material characteristics, pre-drying treatments, drying methods, schedules and optimization of drying quality. In *Seminário internacional de utilizacao da madeira de eucalipto para serraria*. s. 119–131 [cit. 2009-06-20] Dostupné na internete: <http://www.ipef.br/publicacoes/seminario_serraria/cap12.pdf>
- WAGENFUHR, R. – SCHEIBER, CH. 1974. *Holtzatlant*. Leipzig, VEB Fachbuchverlag, s. 536.
- WESBEAM, Australia, 2005. [online] , [cit. 2007-03-23]. Dostupné na internete: <http://wesbeam.com/upload/documents/e-beam_May05.pdf>
- WOOLD, France. [online] 2005. [cit. 19/03/05]. Dostupné na: <<http://www.woold.fr/>>.
- ZUBKOVÁ, G. 2005. *Mechanické vlastnosti LVL na báze eukalyptu vyrábané spoločnosťou Woold vo Francúzsku*. [Diplomová práca] Zvolen: TU vo Zvolene, 57 s.
- EN 14 374 – STN 73 2824 : 2005, Drevené Konštrukcie – Vrstvené dyhové drevo na nosné účely - Požiadavky.
- EN 408: 2005, Drevené konštrukcie – Drevo na stavebné konštrukcie a lepené lamelové drevo – Stanovenie niektorých fyzikálnych a mechanických vlastností.
- EN 391 Delamination
- EN 384 Drevo na stavebné nosné konštrukcie – Zisťovanie charakteristických hodnôt mechanických vlastností a hustoty.
- EN 338 Bois de structure – Classe de résistance.
- NF B 51-006 Variation dimensionnelle.

Pod'akovanie

Vďaka patrí škole ENSAM, na ktorej sa projekt vykonal, spoločnosti WOOLD a všetkým, ktorí sa podieľali na splnení cieľa tejto práce.

Adresa autora

Laurent Bléron
École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers - LABOMAP
Rue Porte de Paris
71 250 Cluny
Francúzsko
laurent.bleron@CLUNY.ENSAM.fr

Ing. Gabriela Zubková
prof. Ing. Ján Zemiar, PhD.
Technická Univerzita
Drevárska fakulta
Masarykova 24
960 53 Zvolen
Slovensko
zubkova@vsld.tuzvo.sk,
zemiar@vsld.tuzvo.sk