

## VPLYV JEDNOSMERNÉHO CYKLICKÉHO ZAŤAŽOVANIA OHYBOM NA POČIATOČNÚ RÝCHLOSŤ RELAXÁCIE BUKOVÝCH LAMIEL

### THE INFLUENCE OF UNIDIRECTIONAL CYCLIC BEND LOADING ON INITIAL RELAXATION SPEED OF BEECH LAMELLAS

Rastislav Igaz - Štefan Macek - Ján Zemiar

#### ABSTRACT

Mechanical properties of wood are changed at unidirectional cyclic loading under bending stress. The aim of the paper was to determine the impact of the number of cycles on speed rate of deflection at solid beech lamellas, which are used mainly in construction of furniture. We researched speed rate of deflection from the time of release of the loading to the initial unloaded condition, after a certain number of stress cycles. And because of getting to know the behaviour of the material in the construction that provides comfort in its use. Based on the experiments, carried in the field of elastic deformation, it was shown that there is no significant decrease in flexibility depending on the number of stress cycles. Additional research was focused to experimental study number of stress cycles under proportional limit to residual deflection. Results shown, that residual deflection is created also in area of elastic deformation.

**Keywords:** cyclic loading, flexibility/elasticity, relaxation speed, elastic deformation, residual deflection, vibrometry

#### ÚVOD

Drevo patrí k základným materiálom používaným pri výrobe nábytku. Jeho aplikácia je možná v podobe masívneho dreva, alebo v podobe kompozitov na báze dreva. Do skupiny kompozitných materiálov na báze dreva patrí aj vrstvené lamelové drevo, ktoré vzniká vzájomným lepením tenkých drevených lamiel. Lamelové drevo môže byť vytvorené vrstvením rôzneho počtu lamiel, s rôznou vzájomnou orientáciou a druhmi použitého dreva. Do tejto skupiny materiálov možno zaradiť aj jednodruhové lamelové drevo pozostávajúce z lamiel vzájomne rovnako orientovaných (ZEMIAR 2009).

Na drevné materiály využívané vo výrobe nábytku sa kladú na základe účelu ich použitia rôzne požiadavky. V niektorých špecifických prípadoch sa okrem pevnostných vlastností kladie dôraz aj na ich pružnostné vlastnosti. Ide predovšetkým o špecifické dielce v kategórií lôžkového a sedacieho nábytku. Úlohou týchto dielcov je zabezpečovať primeraný a časovo stabilný užívateľský komfort. Požadované pružnostné vlastnosti musia tieto výrobky zabezpečovať počas celej doby plánovanej životnosti výrobku.

Najčastejšie využívaným materiálom na výrobu nábytkových lamiel je bukové drevo. Buk lesný (*Fagus sylvatica* L) je na Slovensku najrozšírenejšou drevinou s podielom asi 32 % (forestportal.sk 2014). Bukové drevo je zároveň najčastejšie využívané v nábytkárskej výrobe (ZEMJAR *et al.* 2000).

Rýchlosť relaxácie predstavuje rýchlosť, ktorou sa teleso zaťažované silou vyvolávajúcou ohyb, vráti po odstránení sily do pôvodného, nezaťaženeho stavu. Táto veličina charakterizuje špecifické úžitkové vlastnosti niektorých dielcov sedacieho a lôžkového nábytku. Vzhľadom na fakt, že relaxácia je dynamický proces, a jej rýchlosť aj smer sa v čase mení, bol experimentálny výskum obmedzený na stanovenie priemernej rýchlosti relaxácie od odstránenia zaťažujúcej sily po prvé nadobudnutie rovinného tvaru. Rýchlosť počiatkovej fázy relaxácie dostatočne reprezentuje sledované vlastnosti lamiel využívaných vo výrobe sedacieho a lôžkového nábytku.

Na určenie počiatkovej rýchlosti relaxácie je možné použiť laserový dopplerovský vibrometer, ktorý umožňuje bezkontaktné zaznamenať priebeh pohybu telesa. Bezkontaktné meranie odstraňuje problém zvyšovania kmitajúcej hmotnosti lamely, ktoré by skresľovalo výsledky. Zo známej hodnoty priehybu lamely, a času vratného pohybu, je možné určiť rýchlosť relaxácie. Laserová vibrometria je ideálnym nástrojom pre meranie štruktúrálnej dynamiky a nedeštruktívnu detekciu defektov rôznych druhov materiálov alebo komponentov (POLYTEC 2010, 2013). Dopplerovské vibrometre sa úspešne využívajú pri bezkontaktnom snímaní mechanických vibrácií v biológii, medicíne, akustike, stavebníctve, automobilovom a leteckom priemysle alebo pri vývoji mikroštruktúr (CASTELLINI *et al.* 1998, BOUGARD, ELLIS 2000, MIYASHITA *et al.* 2007).

Cieľom práce bolo overiť vplyv jednosmerného cyklického zaťažovania v ohybe pod medzou úmernosti na zmenu pružnostných vlastností lamiel z bukového dreva. Skúmaný bol tiež vplyv cyklického zaťažovania na tvorbu trvalého zostatkového priehybu (plastickej deformácie).

## METODIKA EXPERIMENTOV

### Skúšobné telesá

Skúšobné telesá boli vymanipulované kruhovým porezom bukových výrezov. Pre potreby experimentu boli pripravené nasledujúce typy skúšobných telies:

A) skúšobné telesá pre určenie referenčných hodnôt napät'ových charakteristík v zmysle STN EN 310 (pevnosť v ohybe, medza pružnosti v ohybe, modul pružnosti v ohybe).  
Rozmery skúšobných telies:  $5,8 \times 50 \times 154$  mm (h  $\times$  š  $\times$  l), počet telies n = 10.

B1) skúšobné telesá určené pre cyklické ohybové namáhanie.  
Rozmery skúšobných telies:  $5,8 \times 50 \times 560$  mm (h  $\times$  š  $\times$  l), počet telies n = 40.

B2) skúšobné telesá určené pre určenie počiatkovej rýchlosti relaxácie. Telesá boli vymanipulované zo stredovej časti ohybom namáhaných telies (B1) po ukončení stanoveného počtu cyklov ohybového namáhania.  
Rozmery skúšobných telies:  $5,8 \times 50 \times 154$  mm (h  $\times$  š  $\times$  l), počet telies n = 40.

Všetky telesá boli pred experimentmi klimatizované a ich vlhkosť dosahovala  $10 \pm 2\%$ .

### Stanovenie referenčných hodnôt napät'ových charakteristík

Mechanické skúšky na určenie referenčných hodnôt napät'ových charakteristík sa uskutočnili na trhacom stroji Rauenstein FPZ 100/1 v zmysle STN EN 310. Zo silovo-deformačných diagramov bola určená priemerná hodnota medze úmernosti súboru skúšobných telies (typ A). Hodnota priehybu na medzi úmernosti bola použitá na určenie

veľkosti priehybu aplikovaného pri cyklickom namáhaní lamiel. Priehyb cyklicky namáhaných telies (typ B1) bol stanovený na hodnotu 90% z priehybu na medzi úmernosti súboru referenčných telies.

Rozteč osí pri skúške pevnosti v ohybe nezodpovedá vzdialenosti osí cyklovacieho zariadenia, ktorá je pevná a nie je možné ju meniť. Pre zachovanie podmienok experimentu bola prepočítaná veľkosť priehybu na cyklovacie zariadenie. V priebehu experimentu bolo na skúšobné telesá (typ B1) aplikované cyklické namáhanie v ohybe. Skúšobné telesá boli rozdelené do štyroch skupín po 10 ks a každá skupina bola cyklicky namáhaná vopred stanoveným počtom ohybových deformácií. Jednotlivé skupiny telies boli namáhané 1000, 2000, 3000 a 7500 cyklami. Po ukončení ohybového namáhania boli so stredovej časti telies vymanipulované skúšobné telesá pre stanovenie počiatočnej rýchlosti relaxácie (typ B2).

### Stanovenie počiatočnej rýchlosti relaxácie

Počiatočná rýchlosť relaxácie je podielom absolútnej hodnoty priehybu a času, za ktorý teleso po odťazení prvý krát dosiahne pôvodný prirodzený tvar. Časovo je tento úsek ohraničený okamihom uvoľnenia zaťaženia a prvého nadobudnutia pôvodného rovinného tvaru telesa. Schematicky je časový priebeh pohybu skúšobného telesa počas experimentu znázornený na obr. 1.

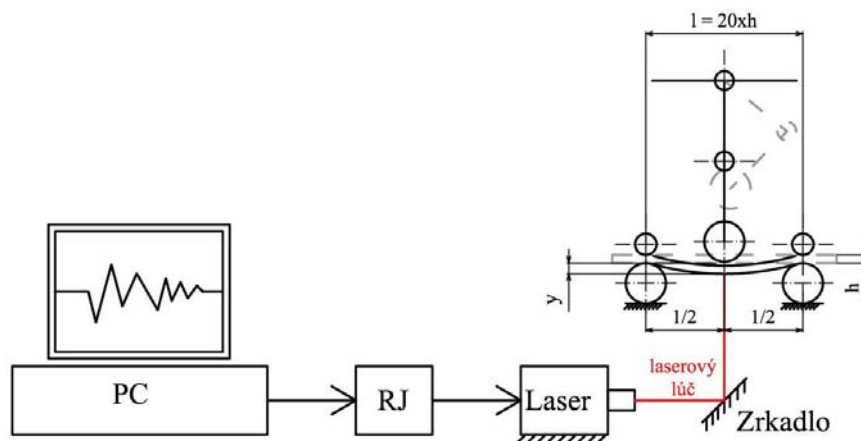


Obr. 1 Schéma určenia času relaxácie (fáza I. – zaťažovanie, fáza II. – uvoľnenie (odťazenie),  $y_a$  – veľkosť priehybu [mm],  $t_1$  – čas zaťažovania [s],  $(t_2-t_1)$  – čas počiatočnej relaxácie [s]).

Fig. 1 Schematic of the timing of relaxation (fáza I. – pressure, fáza II. – release of power,  $y_a$  – size deflection [mm],  $t_1$  – time pressures [s],  $(t_2-t_1)$  – time of initial relaxation [s]).

Pre potreby experimentu bol vytvorený špeciálny prípravok, ktorý umožňuje okamžité odstránenie zaťažujúcej sily vytvárajúcej ohybovú deformáciu. Na základe skúšok s vysokorýchlostnou kamerou sa potvrdilo, že rýchlosť odťazenia prípravku je väčšia, ako počiatočná rýchlosť relaxácie ohybom deformovaného telesa.

Skúšobné teleso bolo po umiestnení v trhacom stroji cez špeciálny prípravok zaťažené silou vytvárajúcou stanovenú hodnotu deformácie – priehybu. Na spodnú stranu skúšobného telesa bol sústredený laserový lúč vibrometra, ktorý umožnil záznam pohybu telesa po odťazení. Následne došlo k okamžitému odstráneniu zaťažujúcej sily a teleso nadobudlo pôvodný tvar. Z vibrometrickeho záznamu bol určený počiatočný čas relaxácie. Schéma usporiadania experimentálnej aparatury je znázornená na obr. 2.



Obr. 2 Schéma usporiadania experimentálnej zostavy na meranie počiatkovej rýchlosti relaxácie s využitím vibrometra (PC – počítač, RJ – riadiaca jednotka vibrometra s prevodníkom na výstup do PC, Laser – laserová hlavica vibrometra s detektorom spätného odrazu,  $y$  – priehyb zodpovedajúci 90% medze úmernosti,  $l$  – vzdialenosť osí podpier trhacieho stroja,  $h$  – hrúbka skúšobného telesa [mm]).

Fig. 2 Arrangement devices for measurement of the initial speed of the relaxation using the vibrometer (PC - PC, RJ - vibrometer controller with the converter output to PC, Laser - laser vibrometer head back to the detector image,  $y$  - deflection corresponding to the 90% limit of proportionality,  $l$  - the distance between the supports shredder,  $h$  - thickness of test sample [mm]).

Pre potreby vzájomného porovnania výsledkov počiatkovej rýchlosti relaxácie bol zohľadnený prierez a modul pružnosti jednotlivých telies. Zohľadnenie daných veličín bolo uskutočnené pomocou vzťahu (1).

$$y = \frac{F \cdot l_1^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot E_{oh}} \quad (1)$$

kde:

$y$  – okamžitý priehyb [mm],

$F$  – zaťažovacia sila [N],

$E_{oh,w}$  – Youngov modul pružnosti v ohybe [MPa],

$l_1$  – vzdialenosť podpier ( $l_1 = 20 \cdot h$ ) [mm],

$b$  – šírka skúšobného telesa [mm],

$h$  – výška skúšobného telesa [mm].

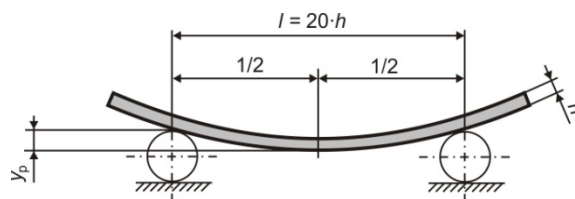
Po zohľadnení prierezu a modulu pružnosti platí pre výpočet priemernej počiatkovej rýchlosti relaxácie vzťah (2).

$$\bar{v} = \frac{y}{t} = \frac{\frac{F \cdot l_1^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot E_{oh}} \cdot 0,001}{t} \quad (2)$$

Aplikáciou vzťahu (2) bola pre každé skúšobné teleso stanovená počiatková rýchlosť relaxácie po náhlom odťažení. Jej hodnota slúžila ako porovnávacie kritérium pre stanovenie vplyvu počtu cyklov ohybovej deformácie na zmenu pružnostných vlastností lamely.

### Stanovenie zostatkovej deformácie

Sekundárnym predmetom výskumu bolo stanovenie zostatkovej deformácie skúšobných telies (typ B2) po ohybovom namáhaní. Veľkosť deformácie sa zisťovala odchýlkomerom s presnosťou 1/100 mm v strede osí podporných valcov trhacieho stroja (obr. 3). Veľkosť zostatkovej deformácie bola stanovená 72 hodín po ukončení cyklického namáhania.



Obr. 3 Meranie zostatkovej deformácie ( $y_p$  – veľkosť deformácie [mm] ,  $h$  – hrúbka telesa [mm],  $l$  – vzdialenosť osí podpier [mm])

Fig. 3 Measurement of residual deformation ( $y_p$  – deformation size [mm] ,  $h$  – body thickness [mm],  $l$  – the distance between the supports [mm]).

Po stanovení zostatkovej deformácie boli všetky telesá (typ B2) podrobené skúške pevnosti na trhacom stroji. Získané silovo-deformačné diagramy boli použité na určenie pevnosti v ohybe, medze úmernosti v ohybe a modulu pružnosti v ohybe.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

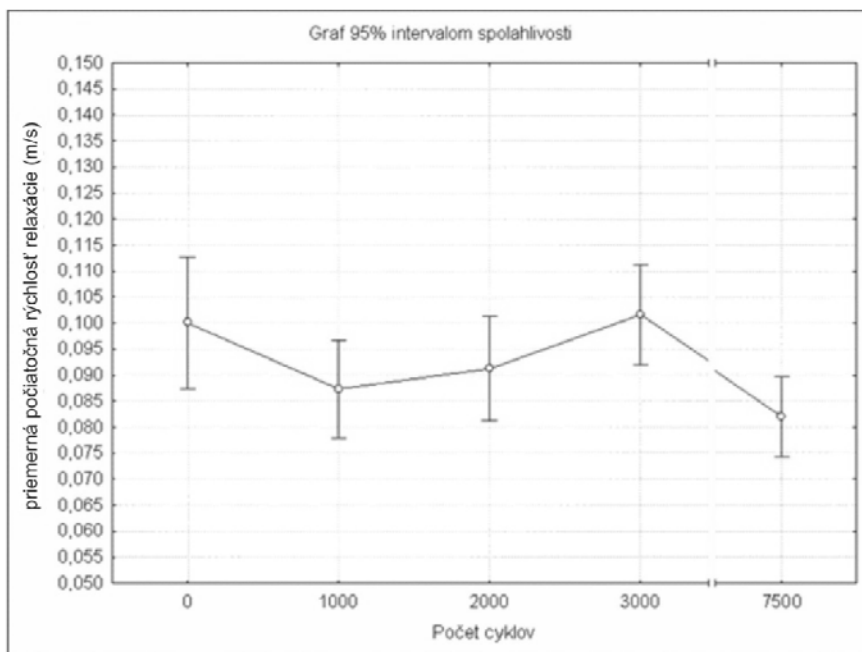
V tab. 1 sú zhrnuté priemerné hodnoty fyzikálno-mechanických vlastností jednotlivých súborov skúšobných telies.

Tab. 1 Tabuľka priemerných hodnôt vybraných fyzikálnych veličín súborov skúšobných telies.  
Tab. 1 The average values of chosen physical characteristics of test specimens set.

Počet cyklických zaťažení	Počet skúšobných telies	Pevnosť v ohybe $\sigma_{oh}$ [MPa]	Medza úmernosti v ohybe $\sigma_{úoh}$ [MPa]	Modul pružnosti $E_{oh}$ [GPa]	Hustota dreva $\rho$ [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
0	10	132,4	84,99	15,50	669,9
1000	10	134,1	91,33	15,73	687,0
2000	10	134,5	92,67	15,58	680,3
3000	10	130,2	93,69	14,37	672,0
7500	10	132,2	92,99	14,77	684,8

Na prvý pohľad súbory telies dosahujú relatívne veľké priemerné hodnoty pevnosti v ohybe. Porovnaním priemerných hodnôt pevnosti s inými autormi je zrejmé, že pevnosť všetkých súborov nami použitých skúšobných telies je v dobrej zhode s priemernými hodnotami iných autorov (POŽGAJ *et al.* 1997, KURJATKO *et al.* 2010, KÚDELA, ČUNDERLÍK 2012).

Experimentálne získané hodnoty počiatkovej rýchlosti relaxácie sú znázornené v grafe na obr. 4. Z grafu je viditeľný mierny pokles priemernej rýchlosti relaxácie v závislosti od počtu cyklov zaťažovania. Experimentálne stanovená závislosť počiatkovej rýchlosti relaxácie od počtu cyklov zaťažovania však nie je štatisticky významná.



**Obr. 4** Hodnoty priemernej rýchlosti relaxácie po aplikácii cyklického zaťažovania.

**Fig. 4** The average value of relaxation speed after application of the loading cycles.

Duncanov test potvrdil, že medzi hodnotami počiatkovej rýchlosti relaxácie jednotlivých súborov skúšobných telies sú významné rozdiely iba medzi súbormi telies s počtom cyklov namáhania 1000–3000 a 3000–7500 (tab. 3).

**Tab. 3** Duncanov test významnosti rozdielov medzi priemernými hodnotami rýchlosti relaxácie jednotlivých súborov telies.

**Table 3** Duncan test the significance of differences between mean values of relaxation speed rate of deflection of files bodies.

Počet cyklov	0	1000	2000	3000	7500
0		0,06214	0,16855	0,80049	0,01050
1000	0,06214		0,54116	0,04204	0,39874
2000	0,16855	0,54116		0,12487	0,17289
3000	0,80049	0,04204	0,12487		0,00637
7500	0,01050	0,39874	0,17289	0,00637	

Pri hľadaní príčin významne vyššej priemernej rýchlosti relaxácie v súbore telies namáhaných 3000 cyklami sa testovala hypotéza vplyvu hustoty dreva. Táto hypotéza sa nepotvrdila. Na základe jednofaktorovej analýzy rozptylu sa potvrdilo, že medzi hustotou jednotlivých súborov nie sú štatisticky významné rozdiely.

Keďže hypotéza vplyvu hustoty dreva na významne väčšiu počiatkovú rýchlosť relaxácie sa nepotvrdila, bola testovaná hypotéza vplyvu modulu pružnosti. Z distribúcie hodnôt modulu pružnosti sa na základe testovania potvrdilo, že napriek rovnomernej distribúcií hustoty má súbor telies namáhaný 3000 cyklami významne menší modul pružnosti.

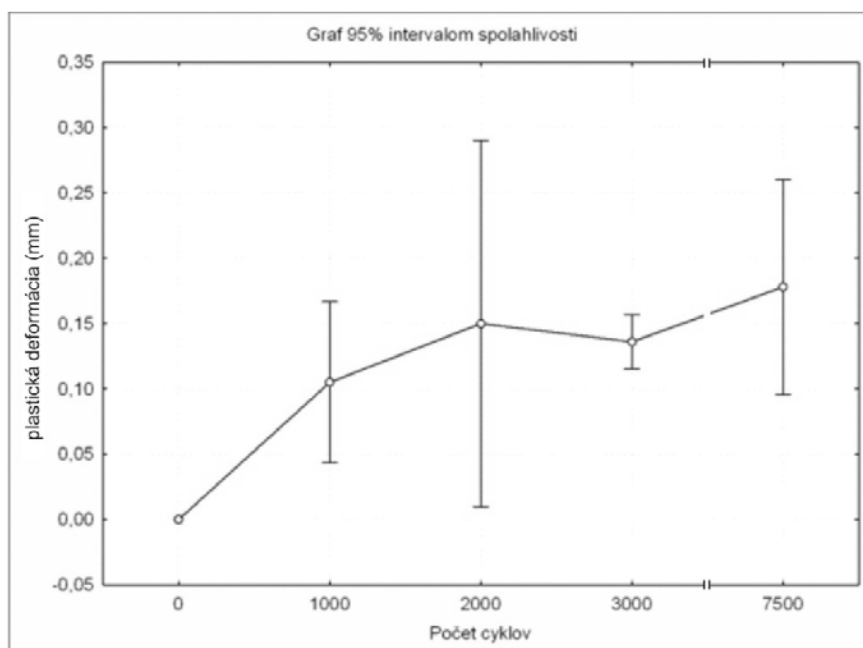
V procese experimentov bol pozorovaný mierny nárast medze úmernosti cyklicky namáhaných telies. Priemerné hodnoty medze úmernosti všetkých testovaných súborov sú uvedené v tab. 1. U všetkých súborov cyklicky namáhaných telies došlo k posunu medze úmernosti smerom k vyšším hodnotám. Tento fakt je v rozpore s výsledkami iných autorov (POŽGAJ 1985, POŽGAJ *et al.* 1993), podľa ktorých pri cyklickom zaťažení medza úmernosti aj pevnosť dreva klesá. Iné práce (SALMI *et al.* 2009) prezentujú výsledky,

podľa ktorých v procese cyklického zaťažovania významne klesá modul pružnosti, čo sa v našom prípade nepotvrdilo.

### Plastická deformácia

Sekundárnym cieľom výskumu bolo stanovenie plastickej deformácie po cyklickom namáhaní. Výsledky meraní sú znázornené v grafickej podobe na obr. 6. Skúšobné telesá boli namáhané v oblasti pružných deformácií pod medzou úmernosti. Napriek tomu bol u skúšobných telies pozorovaný zostatkový priehyb. Tento jav možno vysvetliť tým, že nešlo o krátkodobé zaťaženie. Frekvencia cyklovacieho zariadenia je asi 60 cyklov/min, takže zaťažovanie bolo v závislosti od počtu cyklov aplikované počas 16–125 min. V prípade dlhodobého, alebo trvalého zaťaženia vznikajú deformácie pružné v čase a plastickej deformácie aj pri zaťaženi pod medzou úmernosti. Vznik plastickej deformácie pri dlhodobom zažžení sa vysvetľuje reologickým tečením dreva (POŽGAJ 1985, POŽGAJ *et al.* 1993). Podľa niektorých autorov (KINGSTAN, CLARKE 1961, SAWADA 1957) dochádza k nárastu tečenia dreva už po prekročení 50% jeho pevnosti. Podľa iných autorov (KOLMANN 1967) sa drevo pri vysokých zaťaženiach, podobne ako iné materiály, chová plasticky.

Závislosť veľkosti plastickej deformácie od počtu cyklov namáhania je graficky znázornená na obr. 5. Z grafu je zrejmé, že veľkosť plastickej deformácie rastie s počtom cyklov namáhania.



Obr. 5 Vplyv počtu cyklov namáhania na veľkosť plastickej deformácie.  
Fig. 5 Effect of stress cycles number to plastic deformation scale.

## ZÁVER

Na súbore piatich súborov skúšobných telies bola experimentálne stanovená hodnota počiatocnej rýchlosti relaxácie. Jednotlivé súbory telies boli namáhané rôznym počtom cyklických zažžení pod medzou úmernosti. Okrem toho bol stanovený zostatkový priehyb po cyklickom namáhaní.

Z experimentálnych výsledkov vyplýva, že cyklickým mechanickým zaťažovaním lamiel v oblasti pružných deformácií nedochádza v stanovenom rozsahu cyklického zaťažovania k štatisticky významnej zmene počiatkovej rýchlosti relaxácie. Bukové lamely teda v procese ohybového namáhania nemenia významne svoje úžitkové vlastnosti.

Výsledky výskumu potvrdili, že napriek ohybovému namáhaniu lamiel v oblasti pod medzou úmernosti dochádza v dreve k tečeniu a tvorbe plastických deformácií. Podľa analýzy experimentálnych výsledkov rastie veľkosť plastickej deformácie v závislosti od počtu cyklov zaťažovania.

## LITERATÚRA

- BOUGARD, A.J., ELLIS, B.R. 2000. Laser measurement of building vibration and displacement. *Shock and Vibration* 2000; 7(5): 287–298.
- CASTELLINI, P., REVEL, G.M., TOMASINI, E.P. 1998. Laser Doppler vibrometry: A review of advances and applications. *The Shock and Vibration Digest* 1998; 30:443–456.
- DUBOVSKÝ, J., BABIAK, M., ČUNDERLÍK, I. 2005. Textúra, štruktúra a úžitkové vlastnosti dreva. Zvolen : TU Zvolen. 2005. 107 s. ISBN 80-228-1516-0.
- forestportal.sk, 2014. Súhrnné informácie o stave lesov 2012, Zastúpenie drevín v lesoch SR, dostupné na [www.forestportal.sk](http://www.forestportal.sk), cit. 1.2014.
- KINGSTON, R.S.T, CLARKE, L.W. 1961. Some Aspects of the Rheological Behavior of Wood I, II, *Austral. J. Appl. Sci.* 12(2): 227–240.
- KOLMAN, F. 1967. Vermormung und Bruchgeschehen bei Holz als einem anisotropen, inhomog., porigen Festkörper. Düsseldorf : VDI Verlag, 1967.
- KURJATKO, S. a kol. 2010. Parametre kvality dreva určujúce jeho finálne použitie. Zvolen : TU vo Zvolene, 2010. 352 s. ISBN 978-80-228-2095-0.
- KÚDELA, J., ČUNDERLÍK, I. 2012. Bukové drevo – štruktúra, vlastnosti, použitie. Zvolen : TU vo Zvolene, 2012. 152 s. ISBN 978-80-228-2318-0.
- MIYASHITA, T., ISHII, H., KUBOTA, K., FUJINO, Y., MIYAMOTO, N. 2007. Advanced vibration measurement system using laser Doppler vibrometers for structural monitoring. In *Experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures -2007*, Porto, Portugal.
- POLYTEC GmbH. 2010. Nature and Technology: Vibrations Everywhere. Application note, dostupné na [www.polytec.com/applications](http://www.polytec.com/applications), cit. 6.2013
- POLYTEC GmbH. 2013. NON-CONTACT VIBRATION MEASUREMENT. 2013. dostupné na [www.polytec.com/applications](http://www.polytec.com/applications), cit. 6.2013
- POŽGAJ, A. 1985. Drevo ako lineárne väzkopružný materiál. Zvolen : VŠLD, 1985, 85-1497-85.
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M. 1993. Štruktúra a vlastnosti dreva. Bratislava : Príroda a.s. 1993. 486 s. ISBN 80-07-00600-1.
- POŽGAJ, A., KURJATKO, S., CHOVANEC, D., BABIAK, M. 1997. Štruktúra a vlastnosti dreva. 2. ed. Bratislava : Príroda a.s. 1997. 487 s. ISBN 80-07-00960-4.
- SALMI, A., SALMINEN, L. I., SAHARINEN, E., LUCANDER, M., HINTIKKA, T., HAEGGSTROM, E. 2009. Quantifying wood fatigue generated during cyclic loading. In *Proceedings of International Mechanical Pulping Congerence, IMPC 2009*, Sundsvall, Sweden.
- SAWADA, M. 1957. Studies on the Mechanics of Wood Beams Bending Creep in Wood under Dead Loading, Reaport 4, Bulletin Experimental Station of the Megesso Tokyo, č. 98, 1957.
- STN EN 310: 1998, Dosky na báze dreva. Zisťovanie modulu pružnosti v ohybe a pevnosti v ohybe
- ZEMIAR, J., GÁBORÍK, J., SOLÁR, M., KOTRÁDY, M. 2000. Tvárnenie dreva ohýbaním. 1. Vydanie. Zvolen : TU vo Zvolene. 2000. 69 s. ISBN 80-228-0930-6.
- ZEMIAR, J., a kol. 2009. Technológia výroby nábytku. 1. Vydanie. Zvolen : TU vo Zvolene. 2009. 287 s. ISBN 978-80-228-2064-6.



## **Pod'akovanie**

Autori vyjadrujú pod'akovanie agentúre VEGA SR za finančnú podporu pri riešení projektu č. 1/0442/12 „Modifikovanie vlastností dreva pre účely jeho 3D tvárnenia“.

## **Adresa autorov**

Ing. Rastislav Igaz, PhD.  
Ing. Štefan Macek, PhD.  
prof. Ing. Ján Zemiar, PhD.  
Technická univerzita vo Zvolene  
Drevárska fakulta  
T. G. Masaryka 24  
960 53 Zvolen, SR  
igaz@tuzvo.sk  
kecam@macek.sk  
zemiar@tuzvo.sk