

**NAMÁHANIE PRÚTOV Z DREVNÝCH MATERIÁLOV
NA VZPER PRI RÔZNYCH SPÔSOBOCH ULOŽENIA ICH
KONCOV**

**BUCKLING STRESSED COLUMNS MADE OF WOOD-BASED
MATERIALS IN DIFFERENT WAYS OF END PLACING**

Jana Hovorková – Jozef Kúdela

ABSTRACT

Performance of columns made of wood-based materials (particleboard, plywood, OSB) loaded in buckling was studied experimentally. There were examined columns with fixed ends and with ends embedded between two boards. The experimentally determined values of critical stress were consequently used for verification of the models applied in calculation of critical stress values in the zones of long and medium long columns.

It has been confirmed that for the calculation of critical stress in the zone of long columns, the Euler's equation may be applied. Correction of effective buckling length of columns is necessary for meeting the requirements associated with the technical solution of fastening the column ends. In the case of medium long columns, the problem was best fitted with a 2-nd degree parabola (Eq. 5).

Key words: buckling, columns, plywood, particleboard, OSB.

ÚVOD

Drevo a drevné materiály majú v konštrukciách svoje pevné miesto. Konštrukčné prvky z týchto materiálov sú často vystavené namáhaniu na vzper. Pre konštrukčný prvok namáhaný na vzper je dôležité, aby nedošlo k jeho vybočeniu, t.j. k strate stability, ku ktorej dochádza po prekročení kritického napätia σ_{kr} . Stabilita prúta namáhaného na vzper je významne ovplyvnená celým radom činiteľov – štíhlostný pomer, spôsob uloženia koncov prútoV, počiatocné zakrivenie, tvar priečneho prierezu, excentricita zaťaženia, ktoré teória vzperu už zohľadňuje pri výpočte kritického napätia v príslušných modeloch. Teória predpokladá tri oblasti vzperu – oblasť dlhých prútoV (pružný vzper), kde kritické napätie σ_{kr} je menšie, nanajvyš rovné medze úmernosti σ_u , oblasť stredne dlhých prútoV, kde $\sigma_p \leq \sigma_{kr} \leq \sigma_u$ a oblasť krátkych prútoV, kde $\sigma_{kr} = \sigma_p$. Na výpočet kritického napätia existujú modely pre každú oblasť vzperu, ktoré sú bežne dostupné v literatúre[1–4].

V prípade dreva a drevných materiálov je však potrebné uvažovať i s ďalšími činiteľmi, ktoré vyplývajú z povahy týchto materiálov (heterogenita štruktúry a vlastností po priereze prvku, vnútorná napätosť, vlhkosť, atď.) a ktoré môžu významne ovplyvniť správanie sa týchto prútoV pri danom spôsobe zaťaženia a byť príčinou rozdielu medzi nameranými a teoreticky

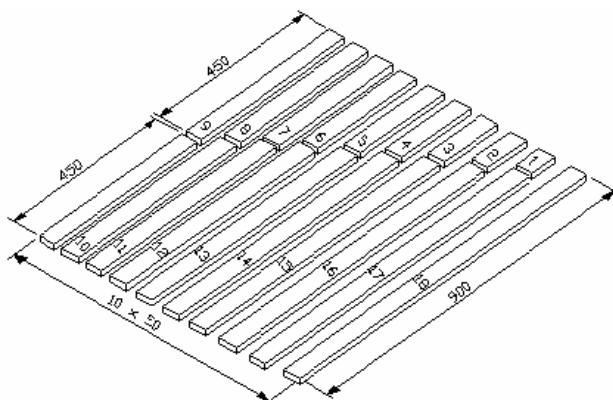
stanovenými hodnotami kritického napätia. Tejto problematike sa začína venovať čoraz väčšia pozornosť [5–16].

Cieľom tejto práce bolo experimentálne zistiť hodnoty kritického napätia pre celú oblasť vzperu pre vybrané materiály, stanoviť oblasť dlhých a stredne dlhých prútov pre dané materiály a navrhnúť vhodné rovnice na výpočet kritického napätia pre dlhé a stredne dlhé prúty pre konkrétne spôsoby uloženia ich koncov.

MATERIÁL A METODIKA

Merania sme uskutočnili na telesách pripravených z komerčne vyrábaných drevných materiálov. Jednalo sa o bukovú sedemvrstvovú preglejku hrúbky 10 mm, bukovú trojvrstvovú drevotrieskovú dosku hrúbky 8 a 16 mm a trojvrstvovú borovicovú OSB dosku o hrúbke 15 mm. Každý materiál bol zastúpený tromi doskami náhodne vybranými z výroby. Pre zisťovanie vzpernej pevnosti boli z každej veľkoformátovej dosky odobraté 4 vzorky. Jednotlivé skúšobné vzorky boli rozrezané na skúšobné telesá podľa schémy (obr. 1).

Pre stanovenie kritického napätia mali skúšobné telesá základňu o rozmeroch $h_m \times 50$ (kde h_m je hrúbka materiálu), ich dĺžka sa pohybovala v rozmedzí od 50 do 900 mm s odstupňovaním po 50 mm. Rozmery skúšobných telies boli volené tak, aby bola zastúpená oblasť dlhých, stredne dlhých a krátkych prútov pri daných spôsoboch ukotvenia koncov. Rozsah štíhlostného pomeru pre jednotlivé prípady je uvedený v tab. 1.



Obr. 1 Schéma porezu vzorky na skúšobné telesá

Fig. 1 Sample cut to test specimens

Tab. 1 Rozsah štíhlostného pomeru prútov testovaných drevných materiálov pri daných uloženiach ich koncov.

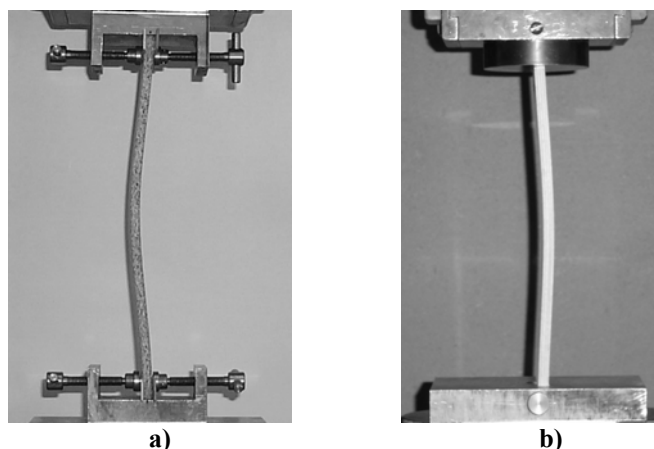
Tab. 1 The slenderness ratio range of the tested columns made of particleboard, plywood and OSB, according to the way of their ends fastening

Materiál	Hrúbka h	Štíhlostný pomer λ	
		Votknutie	Platne
DTD	8	21–374	21–390
	16	10–183	10–195
Preglejka	10	18–325	17–312
OSB	15	11–190	11–208

Všetky skúšobné telesá boli pred samotnou skúškou klimatizované v prostredí s relatívnou vlhkosťou vzduchu $\varphi \cong 65\%$ a teplotou $t = 20^\circ\text{C}$. Po klimatizácii boli zmerané rozmery telies s presnosťou na 0,1 mm.

Kritické napätie sme experimentálne stanovovali pri votknutí obidvoch koncov prúta a pri uložení medzi dve vodorovné platne (obr. 2).

Pri návrhu metodiky sme vychádzali z práce [10], čo umožnilo porovnanie výsledkov dosiahnutých na testovaných drevných materiáloch s výsledkami dosiahnutými na smrekovom dreve.



Obr. 2 Uloženie koncov prúta: a) votknutie, b) medzi dve platne
Fig. 2 Fastening of column ends: a) fixed, b) embedded between two boards

Telesá boli centricky zaťažované v smere roviny dosky na tlak až do straty stability, kedy sme odčítali kritickú silu F_{kr} . Čas trvania skúšky bol volený tak, aby sa jednalo o statické zaťaženie. Kritické napätie sme počítali podľa rovnice

$$\sigma_{kr} = \frac{F_{kr}}{S} \quad (1)$$

Po skúške sme na každom telese podľa normy zisťovali vlhkosť a hustotu pri danej vlhkosti.

Youngov modul pružnosti sme zisťovali na telesách o rozmeroch $h_m \times 30 \times 90$ mm, ktoré sme zaťažovali na tlak v pružnej oblasti. Deformáciu pri danom rozsahu zaťaženia sme snímali z dvoch strán telesa prostredníctvom mechanického tenzometra. Modul pružnosti sme počítali z rovnice

$$E_L = \frac{\Delta F \cdot l}{S \cdot \Delta l}, \quad (2)$$

kde ΔF je rozdiel síl, l – vzdialenosť, na ktorej sa merala deformácia, S – zaťažovaná plocha telesa, Δl – deformácia pri danom zažžení.

Zisťovali sme tiež napätovo-deformačné diagramy testovaných materiálov v tlaku rovnobežne s rovinou dosky, z ktorých sme podľa štandardných postupov stanovili medzu pevnosti σ_p a medzu úmernosti σ_u . Na tento účel sme použili v prípade DTD skúšobné telesá rozmerov $h_m \times 15 \times 30$ mm (DTD, preglejka), $h_m \times 30 \times 30$ mm (OSB).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Podľa uvedenej metodiky sme získali experimentálne hodnoty σ_{kr} testovaných drevných materiálov v celom zvolenom štíhlostnom rozsahu λ uvedenom v tab.1.

Ďalšie napät'ové charakteristiky potrebné pre výpočet kritického napätia podľa jednotlivých modelov spolu s hodnotami hustoty a vlhkosti sú pre jednotlivé materiály zosumarizované v tab. 2.

Tab. 2 Základné štatistické charakteristiky vlhkosti, hustoty a vybraných napät'ových charakteristík drevných materiálov v tlaku rovnobežne s rovinou dosky.

Tab. 2 Basic statistical characteristics of moisture content, density and selected stress characteristics of wood-based materials in compression parallel to the board plane.

Základné štat. char	Vlhkosť w [%]	Hustota ρ [kg·m ⁻³]	Medza pevnosti σ_p [MPa]	Medza úmernosti σ_{ii} [MPa]	Modul pružnosti E [MPa]
<i>Preglejka</i>					
\bar{x}	10,4	803	45,0	27,86	8227
s	0,74	16	4,3	4,7	939
n	30	108	30	30	30
<i>DTD 16</i>					
\bar{x}	9	685	13,0	8,2	2493
s	0,25	25	1,7	1,8	445
n	30	108	30	30	30
<i>DTD 8</i>					
\bar{x}	8,7	771	13,0	8,1	2260
s	0,22	29	0,8	1,2	168
n	30	108	30	30	30
<i>OSB</i>					
\bar{x}	9,0	596	12,2	7,7	3 219
s	0,1	19,7	1,9	1,6	549
n	54	162	36	36	36

Pomocou rovnice

$$\lambda_M = \sqrt{\frac{C\pi^2 E_L}{\sigma_{ii}}}, \quad (3)$$

sme stanovili oblasť dlhých prútov, pre ktoré platí $\sigma_{kr} \leq \sigma_{ii}$.

V rovnici (3) λ_M predstavuje medznú štíhlosť rozdeľujúcu oblasť dlhých a stredne dlhých prútov, σ_{ii} medzu úmernosti a E_L modul pružnosti v tlaku rovnobežne s rovinou dosky.

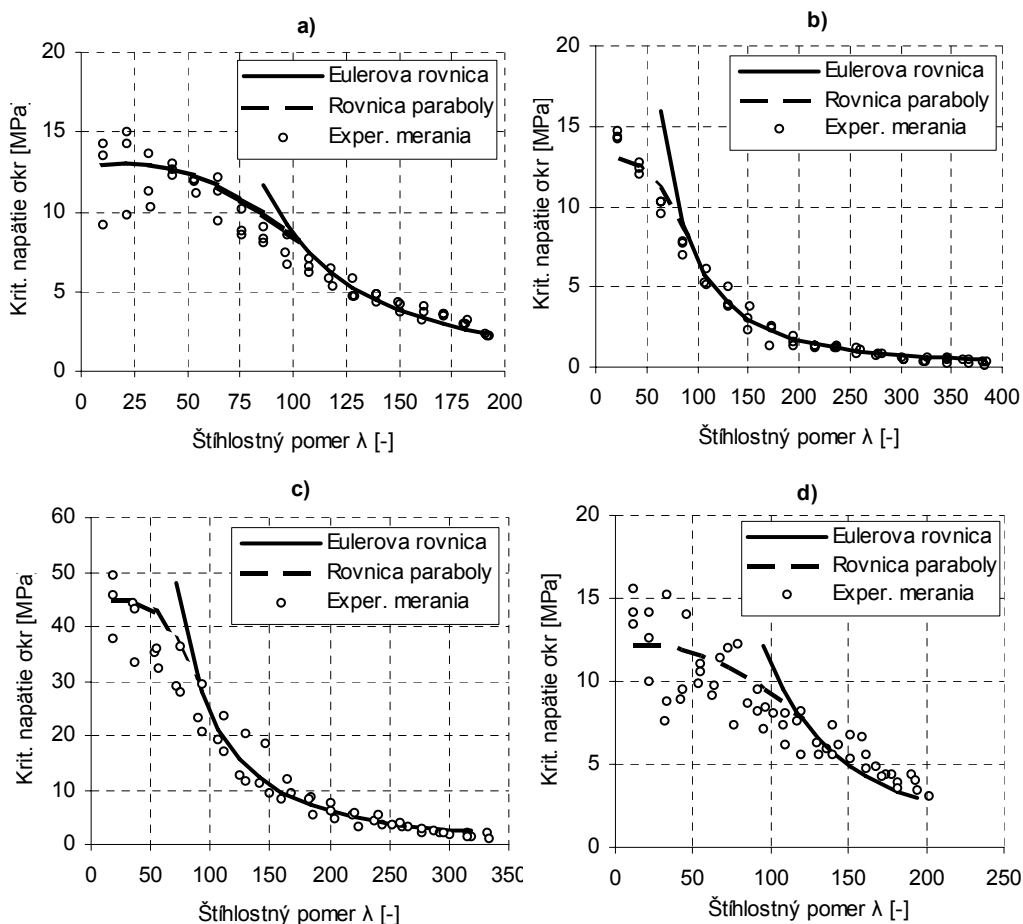
Experimentálne výsledky kritického napätia v oblasti dlhých prútov (v pružnej oblasti vzperu) sme porovnávali s hodnotami kritického napätia počítaného podľa Eulerovej rovnice

$$\sigma_{kr} = \frac{C\pi^2 E_L}{\lambda^2}. \quad (4)$$

Dosiahnuté experimentálne výsledky kritického napätia a ich porovnanie s modelmi sú pre dané materiály znázornené na obr. 3 a 4. Ako vidieť z dosiahnutých výsledkov,

zmenu kritického napätia na štíhlostnom pomere λ v oblasti dlhých prútov v prípade všetkých testovaných materiálov dobre popisuje Eulerova rovnica (4). Z meraní však vyplýva, že pri obidvoch testovaných ulohzeniach koncov prúta je potrebné správne stanoviť konštantu C zahrňujúcu redukciu vzpernej dĺžky.

Pri ulohzení prútov medzi dve vodorovné platne sa dosiahla najtesnejšia korelácia vypočítaných hodnôt kritického napätia podľa rovnice (4) s experimentálne nameranými v prípade preglejky a DTD hrúbky 8 mm pri redukcii efektívnej vzpernej dĺžky na 0,58l ($C = 3$). V prípade OSB a DTD hrúbky 16 mm najtesnejšia korelácia bola pri redukcii efektívnej vzpernej dĺžky na 0,53l ($C = 3,5$).



Obr. 3 Závislosť kritického napätia na štíhlostnom pomere pri ulohzení prúta medzi dve vodorovné platne; a) DTD 16 mm, b) DTD 8 mm, c) preglejka, d) OSB

Fig. 3 Dependence of critical stress on the slenderness ratio of columns with ends embedded between two boards; a) particle board 16 mm, b) particle board 8 mm, c) plywood, d) OSB

Ulohzení koncov prúta medzi dve vodorovné platne v prípade dreva považoval Tetmayer [17] za votknuté ulohzení, kedy $C = 4$. Bašista [10] odporúča tento spôsob ulohzení považovať za obojstranne kĺbové ulohzení ($C = 1$). Autori [10] v prípade prírodného

dreva odporúčajú použiť konštantu $C = 2$, ktorá zodpovedá uloženiu s jedným votknutým a druhým kĺbovým koncom prúta.

Naše výsledky naznačujú, že u hrubších materiálov sa konštanta C posúva k vyšším hodnotám a správanie prútov sa viac podobá prútom s votknutými koncami.

Za dlhé prúty možno v prípade preglejky a DTD 8 mm hrubej považovať tie, ktorých štiňlosť $\lambda \geq 90$, v prípade DTD hrúbky 16 mm $\lambda \geq 102$ a v prípade OSB $\lambda \geq 120$.

Pri výpočte kritického napätia v oblasti dlhých prútov s obidvomi votknutými koncami sme opäť vychádzali z Eulerovej rovnice (4), pričom sme podľa teórie uvažovali s redukčným dĺžkovým koeficientom $\mu = 0,5$ ($C = 4$). V našom prípade sa najlepšia zhoda teoretických a experimentálnych výsledkov dosiahla až po malej korekcii vzpernej efektívnej dĺžky rovnako pre všetky testované drevné materiály, a to z 0,581 ($C = 3$), na 0,5341, t. j. $C = 3,5$ (obr. 4). Podobný jav bol pozorovaný aj v prípade prírodného dreva [10]. So zmenou efektívnej vzpernej dĺžky sa mení aj oblasť dlhých prútov.

Potreba tejto korektúry sa dá vysvetliť tým, že v prípade dreva a drevných materiálov je ťažké dosiahnuť dokonalé votknutie koncov prúta. Napät'ové charakteristiky pri zaťažení v tlaku kolmo na vlákna, resp. kolmo na rovinu dosky sú rádo vo nižšie ako v tlaku v smere vlákien (kolmo na rovinu dosky). Pri namáhaní z drevných materiálov na vzper dochádza v mieste uchytenia zároveň aj k ich stláčaniu kolmo na rovinu dosky, v dôsledku čoho dochádza k čiastočnému uvoľneniu ich koncov. Autor práce [18] odporúča pre obojstranne votknutý stĺp (bez bližšej špecifikácie udania materiálu) uvažovať pri výpočte kritického napätia s efektívnou dĺžkou 0,651, čomu zodpovedá konštanta $C = 2,37$. V práci [19], v prípade obojstranne votknutého oceľového stĺpa, sa dokonca odporúča používať efektívnu dĺžku 0,71 ($C \cong 2$).

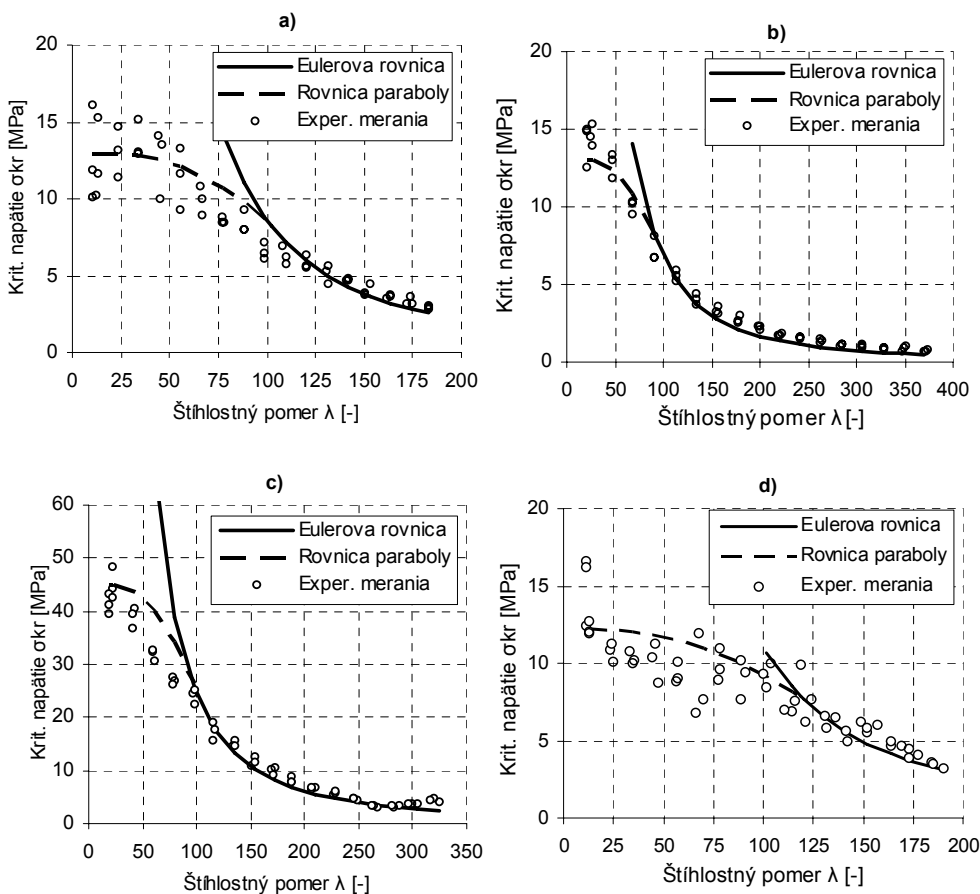
V prípade obojstranného votknutia oblasť dlhých prútov jednotlivých materiálov je totožná s oblasťou z predchádzajúceho prípadu.

Na potrebu redukcie efektívnej vzpernej dĺžky v prípade drevných materiálov sme poukázali aj v prípade kĺbového uloženie prútov [13, 15]. Táto redukcia však bola opačným smerom. V prípade použitia kĺbového uloženia je podľa teórie $C = 1$, bez korekcie efektívnej dĺžky. Na základe experimentálnych výsledkov z posledne citovaných prác sa hodnoty konštanty C daných materiálov pohybovali v rozmedzí 2,5–4. Ukázalo sa, že dôležitú úlohu zohráva technické prevedenie kĺbového ukotvenia koncov prúta, táto redukcia efektívnej dĺžky sa nedá vysvetliť len nedokonalosťou kĺbov.

Po zohľadnení oblasti krátkych prútov, kde $\sigma_{kr} = \sigma_p$ a oblasti stredne dlhých prútov vymedzenej dvomi bodmi, ktorých súradnice sú (λ'_M, σ_p) a (λ_M, σ_u) , sme na popis závislosti kritického napätia na štiňlostnom pomere v oblasti stredne dlhých prútov použili rovnicu

$$\sigma_{kr} = \left(\sigma_u - \sigma_p \left(\frac{\lambda - \lambda'_M}{\lambda_M - \lambda'_M} \right) \right)^2 + \sigma_p \quad (5)$$

kde λ'_M je medzná štiňlosť rozdeľujúca oblasť stredne dlhých a krátkych prútov.



Obr. 4 Závislosť kritického napätia na štíhlostnom pomere pri votknutom uložení koncov prúta; a) DTD 16 mm, b) DTD 8 mm, c) preglejka, d) OSB
Fig. 4 Dependence of critical stress on the slenderness ratio of columns with fixed ends; a) particle board 16 mm, b) particle board 8 mm, c) plywood, d) OSB

Ako vidieť z obr. 3 a 4 hodnoty kritického napätia počítané podľa tejto rovnice dobre korelujú s experimentálnymi hodnotami a rovnica (5) sa ukázala vhodnou na popis závislosti kritického napätia na štíhlostnom pomere pre oblasť stredne dlhých prútov testovaných materiálov.

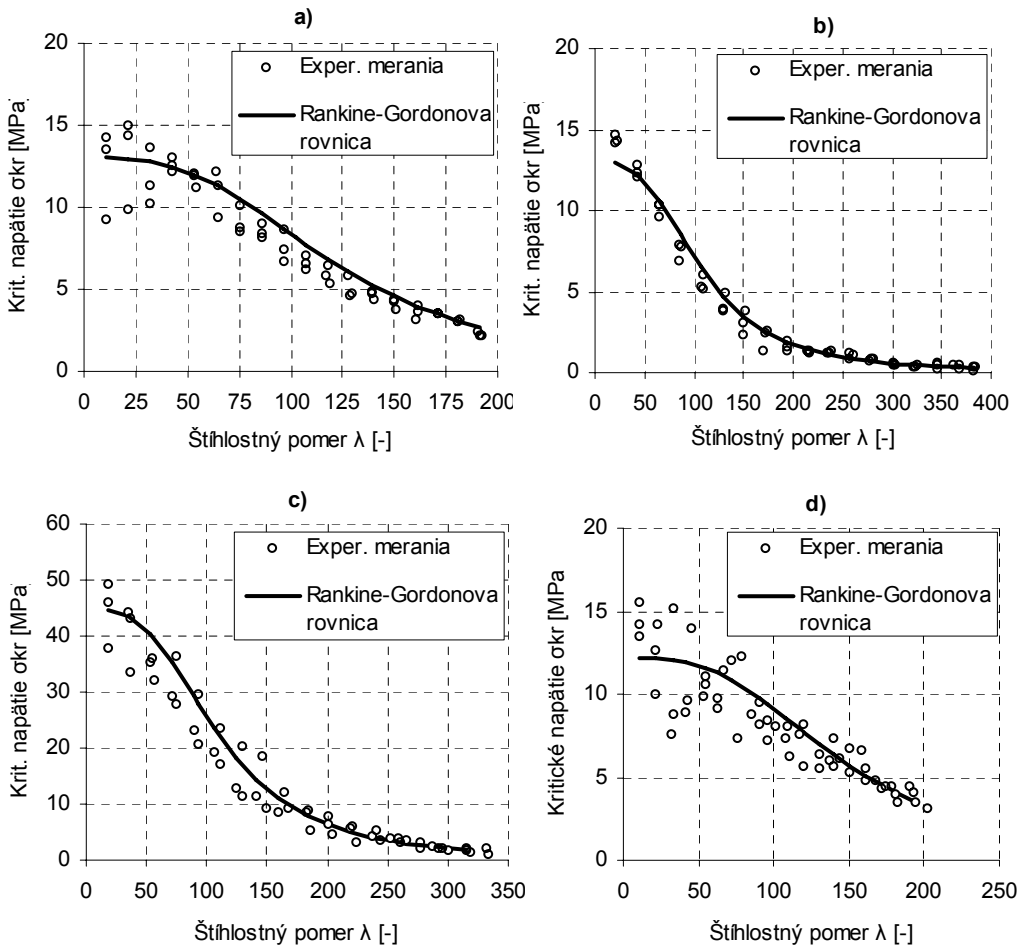
Všeobecne pre všetky vybrané materiály môžeme povedať, že pre oblasť krátkych prútov, t. j. pre štíhlostný pomer $\lambda_M < 20$ platí, že $\sigma_{kr} = \sigma_p$.

Aplikovali sme tiež Rankine-Gordonovu rovnicu, ktorá popisuje kontinuálnu závislosť kritického napätia na štíhlostnom pomere pre celú oblasť vzperu (bez rozlišovania prútov na krátke, stredne dlhé a dlhé), Rovnicu sme upravili pomocou koeficienta redukcie vzpernej dĺžky na tvar

$$\sigma_{kr} = \frac{\sigma_p}{1 + \frac{\sigma_p \lambda^3}{C.E_L \pi^2 \lambda_M} - \frac{\lambda^3}{\lambda_M^3}} \quad (6)$$

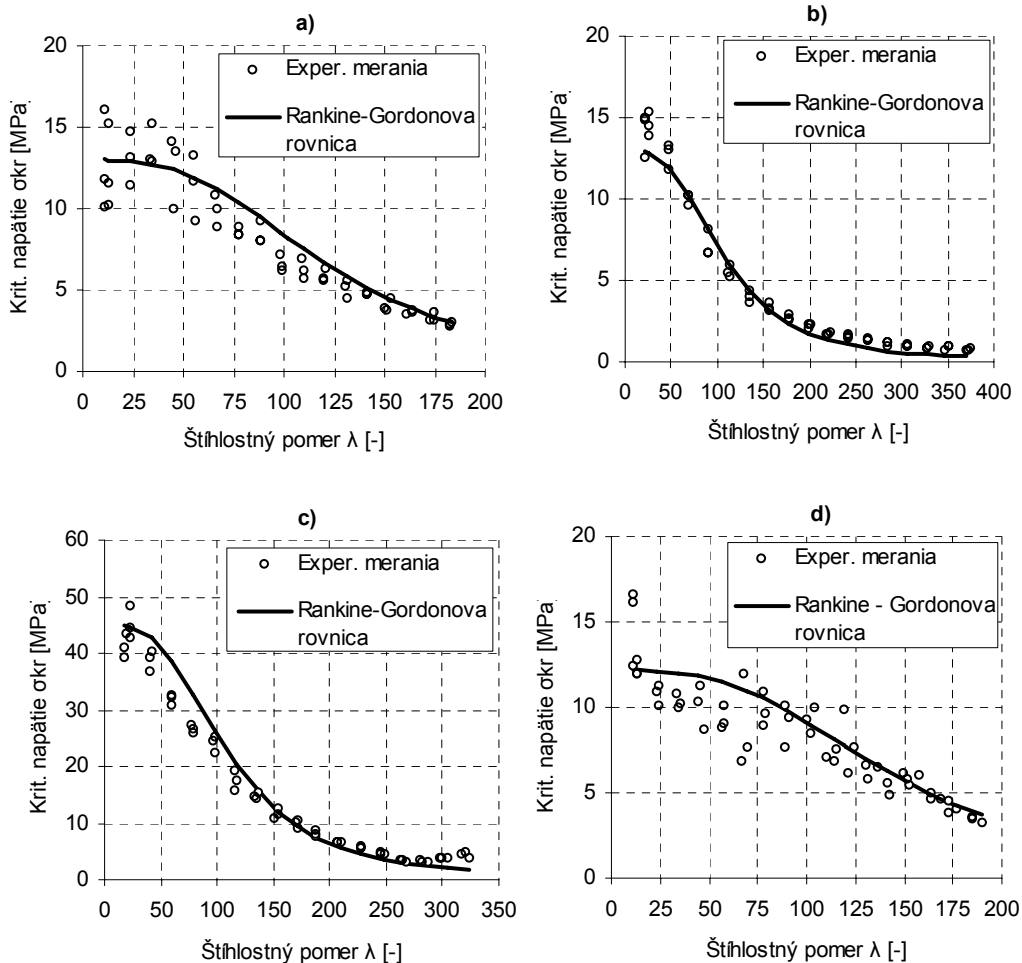
Výsledky tejto rovnice sú zobrazené na obr. 5 a 6.

Pri porovnávaní hodnôt kritického napätia počítaných podľa rov. (6) a s kritickým napätím počítaným podľa rov. (4) a (5) sa nepotvrdil významný rozdiel v celej oblasti vzperu. To znamená, že obidva spôsoby stanovenia kritického napätia dávajú rovnocenné výsledky.



Obr. 5 Závislosť kritického napätia na štíhlostnom pomere podľa rov. (6) bez členenia prútov na krátke, stredne dlhé a dlhé prúty pri uložení prúta medzi dve vodorovné platne;
a) DTD 16 mm, b) DTD 8 mm, c) preglejka, d) OSB

Fig. 5 Dependence of critical load on slenderness ratio according to Eq. (6), without distinction between the length areas of columns with ends placed between two boards;
a) particle board 16 mm, b) particle board 8 mm, c) plywood, d) OSB



Obr. 6 Závislosť kritického napätia na štíhlostnom pomere podľa rov (6) bez členenia prútov na krátke, stredne dlhé a dlhé prúty pri obojstrannom voľknutí koncov prúta:

a) DTD 16 mm, b) DTD 8 mm, c) preglejka, d) OSB

Fig. 6 Dependence of critical load on slenderness ratio according to Eq. (6), without distinction between the length areas of columns with fixed ends;

a) particle board 16 mm, b) particle board 8 mm, c) plywood, d) OSB

Správanie sa prútov z drevných materiálov po kvalitatívnej stránke je podobné prútom z masívneho dreva [10]. Hodnoty kritického napätia týchto materiálov sú však významne nižšie ako v prípade dreva. Najvyššie hodnoty kritického napätia dosahuje preglejka. Prúty z OSB a DTD dosahovali podobné hodnoty.

Rozdiely experimentálnych výsledkov v oblasti dlhých prútov v porovnaní so všeobecne akceptovanou Eulerovou teóriou nevieme jednoznačne zatiaľ vysvetliť. Experimentálne výsledky naznačujú, že prúty z drevných materiálov majú lepšiu stabilitu ako sa teoreticky predpokladalo, pričom významnú úlohu zohráva samotný materiál, najmä jeho tuhosť, schopnosť deformovať sa v tlaku rovnobežne s rovinou dosky ako aj prierez telesa. Tieto nejasnosti si vyžadujú ďalší výskum v tejto oblasti.

Na druhej strane určitým negatívom je pozorovaná zvýšená variabilita výsledkov. To je typické hlavne pre OSB dosky, čo svedčí o značnej heterogenite tohto materiálu. Po zohľadnení tejto heterogenity odporúčame preto pre praktické účely výraznejšiu korekciu efektívnej vzpernej dĺžky ako bola experimentálne stanovená.

V prípade obidvoch votknutých koncov odporúčame pre oblasť dlhých prútov všetkých testovaných materiálov efektívnu vzpernú dĺžku $0,58l$ ($C = 3$) a v prípade vloženia prúta medzi dve vodorovné platne odporúčame efektívnu vzpernú dĺžku $0,5l$ ($C = 2$).

ZÁVER

Na základe analýzy experimentálnych výsledkov možno konštatovať, že na výpočet kritického napätia v oblasti dlhých stĺpov môžeme použiť Eulerovu rovnicu. Ukázalo sa, že pre dané testované drevné materiály je potrebná korekcia efektívnej vzpernej dĺžky prútov.

Pre praktické výpočty v prípade obojstranného votknutia odporúčame pre dlhé prúty pravouhlých prierezov z vybraných drevných materiálov používať konštantu $C = 3$ a pri vložení prúta medzi dve vodorovné platne $C = 2$.

Na základe fyzikálnej odôvodnenosti a tesnosti korelácie odporúčame pre výpočet kritického napätia v oblasti stredne dlhých prútov použiť rovnicu (5).

Ak nie je potrebné členiť prúty na krátke, stredne dlhé a dlhé, tak odporúčame pre výpočet kritického napätia rovnicu (6).

LITERATÚRA

1. BODIG, J., JAYNE, B.A. *Mechanics of wood and wood composites*. Reinhold Company. New York, Cincinnati, Toronto, London, Melbourne, Van Nostrand, 1982. 712 s.
2. GERE, J.M., TIMOSHENKO, S.P. *Mechanics of materials*. PWS Engineering. Boston – Massachusetts, 1984. 762 s.
3. KAISER, J., SLOŽKA, V., DICKÝ, J., JURASOV, V. *Pružnosť a plasticita I*. vyd. Bratislava: Alfa, 1990. 584 s.
4. UGURAL, A.C.; *Mechanics of materials*. McGraw – Hill, Inc. New York, St. Louis, San Francisco, Auckland, Bogotá, Caracas, Hamburg, Lisbon, London, Madrid, Mexico, Milan, Montreal, New Delhi, Paris, San Juan, Sao Paulo, Singapore, Sydney, Tokyo, Toronto, 1991, 441s.
5. YOSHIHARA, H., OHTA, M., KUBOJIMA, Y. Prediction of the buckling stress of intermediate wooden columns using the secant modulus. *J. Wood. Sci.*, 1998. s. 69–72.
6. SALIKLIS, E. P. – MUSSEN, A. L. Investigating the buckling behaviour of OSB panels. *Wood and Fiber Sci.* 32, 2000, č. 3, s. 259–268.
7. MURAWSKI, K. Stress and strains analysis in elastic states of very slender cylindrical shaped plywood compressed by balls. In.: *Annls of Warsaw Agricult. Univ. – SGGW, For. and Wood Technol. No 53*, Warsaw, 2003. s. 241–250.
8. MURAWSKI, K.: Stability analysis in elastic states of very slender rods fixed by one and with stresses and strains analysis as exemplified by cylindrical shaped plywood made of birch. In.: *Acta Sci. Pol.Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar.* 3, 2004. č. 1, s. 85–95.
9. MURAWSKI, K. Finite Element Method Postbuckling Analysis of stresses and strains in elastic states of very slender cylindrical shaped plywood compressed by ball-and-socket joints while the force line is getting out of the critical cross section. In.: *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW, Forestry and Wood Technology No62*. Warsaw, 2007. s. 62 – 66
10. KÚDELA, J. – SLANINKA, R. Stability of wood columns loaded in buckling. Part 1. Centric buckling. *Drevársky výskum*, 47, 2002, č. 2, s. 19–34.
11. KÚDELA, J. Stresses in columns eccentrically loaded in buckling examined by means of reflection photoelasticimetry. In.: *Wood structure and properties'02*. (Eds. J. Kúdela and S. Kurjatko), Zvolen: Arbora Publishers, 2002. s. 201–208.

12. KÚDELA, J. Stability of wood columns loaded in buckling. Part 4. Influence of moisture content. *Wood Research*, 2006. 51(3). s. 25–36.
13. KÚDELA, J. – MALOVÁ, J. Správanie sa prútov z drevných materiálov namáhaných na vzper. In.: *Interakcia dreva s rôznymi formami energie*. (Editori: Kurjatko, S. a Kúdela, J.), Zvolen, 2004. s. 151–156.
14. ZHU, E. C., GUAN, Z. V., RODD, P. D., POPE, D. J. A constitutive model for OSB and its application in finite element analysis. *Holz Roh Werkstoff*, 2005, č.63, s. 87–93 .
15. KÚDELA, J. – HOVORKOVÁ, J.: Správanie sa prútov z OSB dosák pri zaťažení na vzper. In.: *Drevostavby*. Žilina, SvF ŽU v Žiline, 2007. s. 23 (1–9). ISBN978-80-969774-9-9
16. KÚDELA, J. – HOVORKOVÁ, J. Stability of columns made of OSB boards loaded in buckling at different moisture contents. In.: *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW, Forestry and Wood Technology No 61*. Warsaw, 2007. s. 409 – 416.
17. DOBROVOLNÝ, B. *Pružnosť a pevnosť*. Ústav pro učebné pomůcky průmyslových a odborných škol. Praha, 1944. 1139 s.
18. PINSKY, P. *Introduction to buckling, Euler buckling theory, Johnson formula for intermediate columns*. 2000. http://www.stanford.edu/class/me111/handouts/lecture_13.pdf
19. MONASH UNIVERSITY. *Axially loaded columns and struts*, Department of Civil Engineering. 1999. <http://cleo.eng.monash.edu.au/teaching/subjects/civ2222/resources/Notes2.pdf>

SUMMARY

This work deals with experiments aimed at evaluation of critical stress values over the whole buckling range for columns made of selected wooden materials (particle board, plywood, OSB). We studied the performance of loaded columns up to the loss of their stability.

We tested the existing models used in calculation of critical stress in area of long and medium columns.

Based on analysis of the experimental results, we can conclude that the critical stress in area of long columns can be calculated with using of the Euler's equation. It was revealed that in case of the tested wooden materials, correction of the effective buckling length was necessary.

For practical calculations in case of long columns with both ends firmly fixed, we recommend to use $C = 3$, in case of long columns with the ends embedded between two horizontal plates we recommend $C = 2$.

For medium long columns, we recommend for critical stress calculation to use Eq. (5), which is well-reasoned physically and based on the close correlation.

If it is not necessary to distinguish between short, medium and long columns, we recommend for critical stress calculation using of Eq. (6).

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol vďaka Vedeckej grantovej agentúre Ministerstva školstva SR a Slovenskej akadémie vied (Grant č. 1/4368/07).

Adresa autorov:

Ing. Jana Hovorková
 doc. Ing. Jozef Kúdela, CSc.
 Katedra náuky o dreve
 Drevárska fakulta Technickej univerzity vo Zvolene
 T. G. Masaryka 24
 960 53 Zvolen
 Slovensko
janahov@gmail.com
kudela@vsld.tuzvo.sk