

## VPLYV VYBRANÝCH FAKTOROV NA STABILITU PRÚTOV Z DTD NAMÁHANÝCH NA VZPER. ČASŤ 3. VPLYV VLNKOSTI

### INFLUENCE OF SELECTED FACTORS ON STABILITY OF PARTICLE- BOARD COLUMNS LOADED IN BUCKLING. PART 3. MOISTURE CONTENT

Jozef Kúdela – Jana Hovorková

#### ABSTRACT

The work deals with how moisture content influences the critical stress, or buckling strength of short, medium-long and long columns made of particle boards. We also present a coefficient for conversion of strength values at a moisture content  $w_1$  to the values corresponding to the moisture content  $w_2$ .

The results of experiments conducted over the range of 5–25 % confirmed that the buckling strength decreased proportionally with increasing moisture content. Based on this fact, we have designed equations for conversion of critical stress values at a moisture content  $w_1$  to the values corresponding to the moisture content  $w_2$  over the range of 5–25 %. The conversion coefficients were defined as functions of slenderness ratio, so it is possible to convert critical stress values at moisture content  $w_1$  to the values corresponding to  $w_2$  for any slenderness ratio.

**Keywords:** buckling, critical stress, particle boards, moisture content, conversion moisture coefficients.

#### ÚVOD

Stabilita prútoV z drevotrieskových dosák (DTD) namáhaných na vzper je významne ovplyvnená celým radom činiteľov – štíhlostný pomer, spôsob uloženia koncov prútoV, mechanické vlastnosti prvku, počiatočné zakrivenie, tvar priečneho prierezu, excentricita zaťaženia, atď. Vplyv týchto faktorov sme popísali v predchádzajúcich prácach (HOVORKOVÁ a KÚDELA 2008, KÚDELA a HOVORKOVÁ 2008).

V prípade 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.). Tieto skutočnosti významne vplyvajú na ich základné fyzikálne a mechanické vlastnosti a tiež významne ovplyvňujú správanie sa prútoV z daných materiálov namáhaných na vzper (KÚDELA a HOVORKOVÁ 2007, KÚDELA a ŠTEFKA 2009).

Jedným z kľúčových faktorov je vlhkosť. O vplyve vlhkosti na vzpernú pevnosť však existuje málo informácií. Týkajú sa predovšetkým prírodného dreva a navyše sú nejednotné. Roš a Brunner (KOLLMANN a CÔTÉ 1968) tvrdia, že vlhkosť nemá významný vplyv na hodnoty kritického napätia v prípade dlhých prútoV. Podľa posledne citovaných autorov v oblasti stredne dlhých prútoV vzperná pevnosť s rastúcou vlhkosťou významne klesá a najvýraznejšie sa táto zmena potvrdila v oblasti krátkych prútoV, čo súhlasí s predchádzajúcimi tvrdeniami.

Významný vplyv vlhkosti na vzpernú pevnosť neprikladal ani Tetmayer (KOLLMANN a CÔTÉ 1968). Naopak Fisher a Kühn (DUTKO a kol. 1976) jednoznačne preukázali významný vplyv vlhkosti na vzpernú pevnosť dreva. POŽGAJ a kol. (1997) uvádzajú zmenu kritického

napätia s vlhkosťou aj v oblasti dlhých prútov a poukazujú tiež na zmenu štíhlostného pomeru  $\lambda_M$  so zmenou vlhkosti. KÚDELA a SLANINKA (1999), KÚDELA (2006) pozorovali, že vzperná pevnosť smrekového dreva s rastúcou vlhkosťou klesá, a to tak v oblasti krátkych, stredne dlhých ako aj dlhých prútov. Ukázalo sa, že s rastúcou vlhkosťou sa predlžovala oblasť stredne dlhých prútov na úkor dlhých prútov. V prípade OSB dosák sa potvrdil tiež významný vplyv vlhkosti v celej oblasti vzperu (KÚDELA a HOVORKOVÁ 2007). Z práce HOVORKOVEJ (2009) vyplýva, že so zmenou kritického napätia je potrebné počítať v celej oblasti vzperu aj v prípade preglejok a DTD. Z výsledkov prác POŽGAJA (1979), KÚDELU a KÚDELOVEJ (1989) sa dá predpokladať, že zmena vzpernej pevnosti DTD s vlhkosťou môže byť rozdielna v porovnaní s masívnym drevom.

Cieľom práce je experimentálne zistiť zmenu kritického napätia  $\sigma_{kr}$  prútov z DTD so zmenou vlhkosti a na základe výsledkov stanoviť funkciu, ktorá bude najlepšie popisovať závislosť  $\sigma_{kr}(w)$ . Cieľ ďalej predpokladá stanoviť opravné vlhkosťné koeficienty  $\alpha$  na prepočet vzpernej pevnosti z vlhkosti  $w_1$  na vlhkosť  $w_2$  pre oblasť krátkych, stredne dlhých a dlhých prútov.

## MATERIÁL A METODIKA

Ako materiál sme použili komerčne vyrábané trojvrstvové DTD o hrúbke 8 a 16 mm, lepené močovinoformaldehydovým lepidlom DIAKOL M1.

Z každého typu DTD sme náhodne vybrali 3 veľkoformátové dosky. Z každej dosky bola odobratá vzorka, z ktorej boli pripravené skúšobné telesá. Ich šírka bola 50 mm. Hrúbka skúšobných telies bola daná hrúbkou dosák. Zvolili sme tri dĺžky telies tak, aby boli zastúpené všetky tri oblasti vzperu – oblasť dlhých, stredne dlhých i krátkych prútov (Tab. 1). Telesá sme potom klimatizovali na šesť rôznych vlhkostí v rozsahu vlhkosti od 5 % do 25 %.

**Tab. 1 Parametre skúšobných telies (dĺžka  $L$ , štíhlostný pomer  $\lambda$ )**

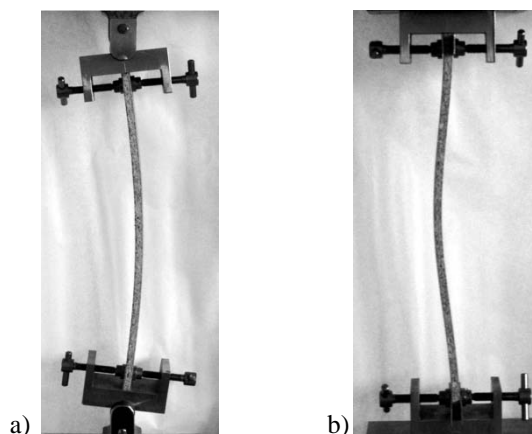
**Tab. 1 Parameters of test specimens (long  $L$ , slenderness ratio  $\lambda$ )**

Materiál	Krátke prúty		Stredne dlhé prúty		Dlhé prúty	
	$L_1$ [mm]	$\lambda_1$	$L_2$ [mm]	$\lambda_2$	$L_3$ [mm]	$\lambda_3$
<b>DTD 8 mm</b>	50	21,6	200	86,6	400	173,2
<b>DTD 16 mm</b>	50	10,8	350	75,8	650	140,7

Kritické napätie  $\sigma_{kr}$  sme experimentálne zisťovali pri dvoch spôsoboch uloženia koncov prúta:

- obojstranné kĺbové uloženie,
- obojstranné votknutie.

Pri zvolených uloženiach koncov prútov boli skúšobné telesá centricky zaťažované v smere roviny dosky na tlak (obr. 1) až do straty stability, kedy sme zaznamenali kritickú silu  $F_{kr}$ . Čas trvania skúšky sme zvolili tak, aby sa jednalo o statické zaťaženie.



**Obr. 1** Zaťaženie prútov z DTD na vzper. a) kĺbové uloženie, b) votknuté uloženie  
**Fig. 1** Loading on particle board columns in buckling. a) pinned ending, b) fixed ending

Kritické napätie sme vypočítali podľa rovnice

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

kde  $F_{kr}$  predstavuje experimentálne nameranú kritickú silu a  $S$  je plocha telesa, na ktorú pôsobila táto sila.

Podľa bežne zaužívaných postupov bola tiež na každom skúšobnom telese experimentálne stanovená vlhkosť v čase skúšky.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

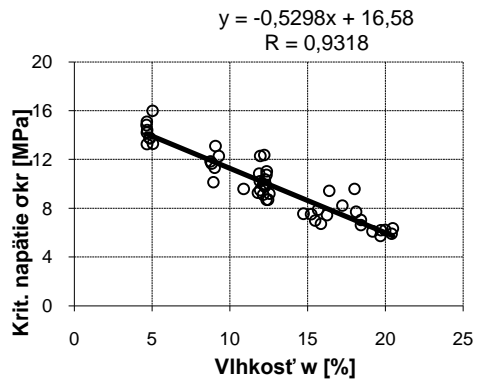
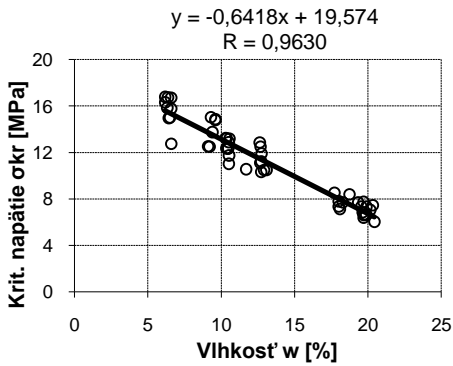
Výsledky potvrdili (obr. 2–6), že v danom rozsahu vlhkosti najvyššie hodnoty kritického napätia sa vo všetkých prípadoch dosahovali pri najnižšej vlhkosti ( $w \cong 5\%$ ). S rastúcou vlhkosťou kritické napätie úmerne klesalo až po konečnú vlhkosť, ktorá bola 20–25 %.

Pri popise závislosti kritického napätia na vlhkosti sme vychádzali z analýzy celého radu už existujúcich fyzikálno-matematických modelov aplikovaných na prírodné drevo, ktoré sú zosumarizované v práci KÚDELU (2001). Pri výbere vhodnej rovnice sme brali tiež do úvahy aj skutočnosť, že zmena napäťových charakteristík DTD v závislosti od vlhkosti sa čiastočne líši v porovnaní s prírodným drevom (SAITO *et al.*, 1978, POŽGAJ 1979, KÚDELA a KÚDELOVÁ 1989). Ako vyplýva z posledne citovanej práce, na popis závislosti napäťových charakteristík na vlhkosti sa v prípade dreva najlepšie osvedčila rovnica

$$\sigma_w = \sigma_{MN} + A(w_{MN} - w)^n, \quad (2)$$

kde  $A$ ,  $n$  sú konštanty,  $w_{MN}$  je vlhkosť na medzi nasýtenia bunkových stien,  $w$  skutočná vlhkosť,  $\sigma_{MN}$  je napätie na medzi nasýtenia bunkových stien.

Táto rovnica bola tiež úspešne aplikovaná pri popise závislosti kritického napätia na vlhkosti pre smrekové drevo (SLANINKA 2001).

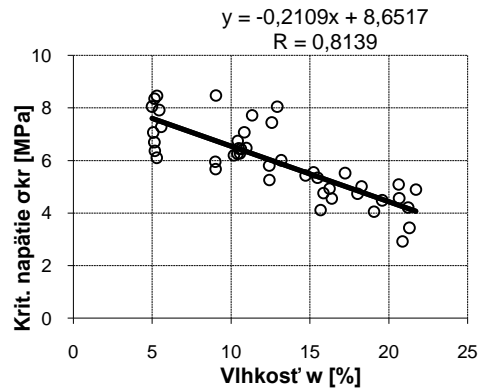
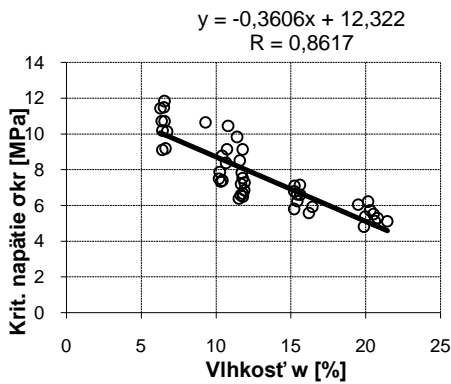


a)

b)

Obr. 2 Závislosť kritického napätia na vlhkosti. Krátke prúty: a) DTD 8 mm, b) DTD 16 mm.

Fig. 2 Dependence of critical stress on moisture content. Short columns: a) board thickness 8 mm, b) board thickness 16 mm.

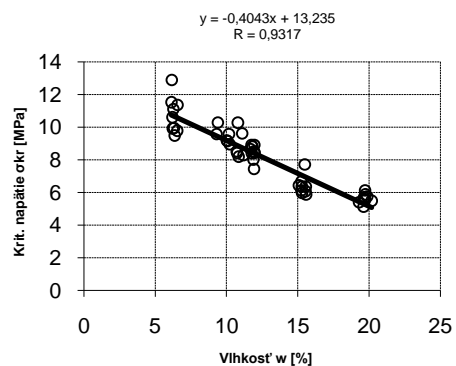
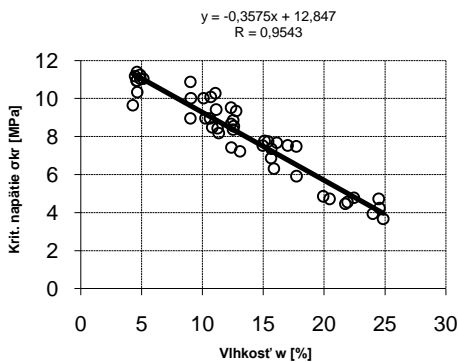


a)

b)

Obr. 3 Závislosť kritického napätia na vlhkosti. Stredne dlhé prúty s kĺbovým uložením koncov a) DTD 8 mm, b) DTD 16 mm.

Fig. 3 Dependence of critical stress on moisture content. Medium long columns, pinned ending: a) board thickness 8 mm, b) board thickness 16 mm.

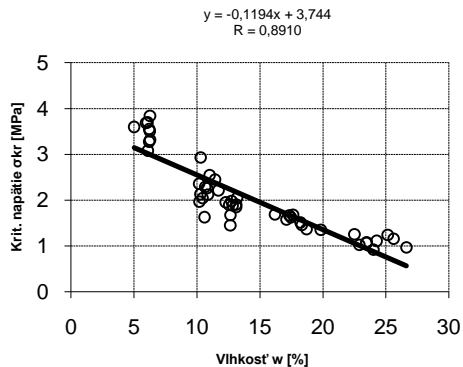
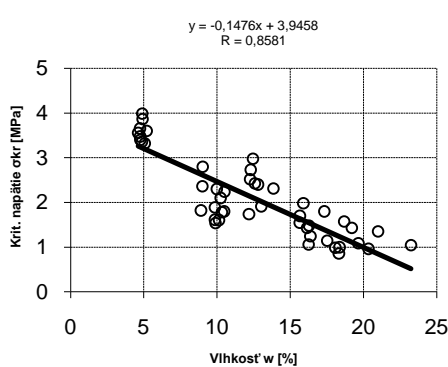


a)

b)

Obr. 4 Závislosť kritického napätia na vlhkosti. Stredne dlhé prúty s votknutým uložením koncov: DTD 8 mm, b) DTD 16 mm.

Fig. 4 Dependence of critical stress on moisture content. Medium long columns, fixed ending: a) board thickness 8 mm, b) board thickness 16 mm.

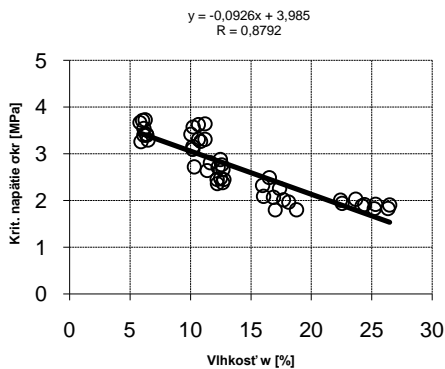
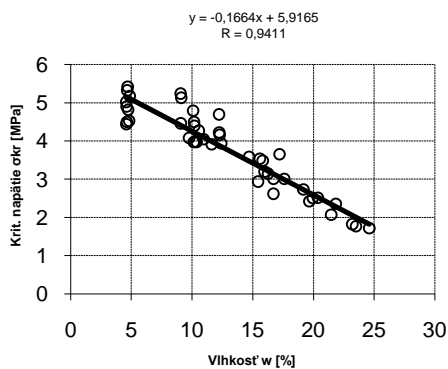


a)

b)

**Obr. 5** Závislosť kritického napätia na vlhkosti. Dlhé prúty s kĺbovým uložením koncov: a) DTD 8 mm, b) DTD 16 mm.

**Fig. 5** Dependence of critical stress on moisture content. Long columns, pinned ending: a) board thickness 8 mm, b) board thickness 16 mm.



a)

b)

**Obr. 6** Závislosť kritického napätia na vlhkosti. Dlhé prúty s votknutým uložením koncov: a) DTD 8 mm, b) DTD 16 mm.

**Fig. 6** Dependence of critical stress on moisture content. Longs columns, fixed ending: a) board thickness 8 mm, b) board thickness 16 mm.

Priebeh zmeny pevnosti krátkych prútov z DTD možno charakterizovať tromi fázami (POŽGAJ 1979). Prvá fáza, od 0 % vlhkosti do 5–10 % vlhkosti, sa nevyznačuje výrazným poklesom pevnosti s rastúcou vlhkosťou. V druhej fáze, v rozsahu od 5–10 % do 22–28 %, sa prejavuje typický rýchly pokles pevnosti. Od vlhkosti 22 až 28 % (podľa druhu použitého lepidla) takmer po 50 % vlhkosť pevnosť rovnomerne klesá. Preto zmenu pevnosti DTD v celom vlhkosťnom rozsahu je ťažko popísať jednou funkciou.

Vzhľadom na to, že náš zvolený rozsah vlhkosti spadal iba do druhej časti vlhkosťného intervalu, stanovenie závislosti kritického napätia od vlhkosti sa zjednodušilo. S vyššou vlhkosťou sme neuvažovali, pretože DTD by sa nemali v žiadnom prípade použiť v takom prostredí, kde by prišli do priameho kontaktu s kvapalnou vodou.

Pri výbere funkcie na popis vplyvu vlhkosti sme brali do úvahy aj rovnice

$$\sigma_{12} = \sigma_w + \alpha(w - 12), \quad (3)$$

$$\sigma_{12} = \sigma_w [1 - \alpha'(w - 12)], \quad (4)$$

ktoré sa používajú na prepočet pevnosti dreva a drevných materiálov na 12% vlhkosť. Rovnice (3) a (4) sa tiež používajú na prepočet pevnosti z vlhkosti  $w_1$  na vlhkosť  $w_2$ , práve prepočtom cez 12 % vlhkosť. Normou stanovený vlhkosťový rozsah, v ktorom možno aplikovať rov. (3) a (4), je v prípade prírodného dreva 8–18 % (POŽGAJ 1987; DUBOVSKÝ *a kol.* 1991). V prípade drevných materiálov POŽGAJ (1979), KÚDELA a KÚDELOVÁ (1989) pripúšťajú platnosť rovníc (3) a (4) v rozsahu vlhkosti od 5 do 28 %.

Rovnica (3) predpokladá v danom vlhkosťovom rozsahu lineárnu a rovnica (4) hyperbolickú závislosť kritického napätia na vlhkosti. Preto sme pre oblasť krátkych, stredne dlhých a dlhých prútov testovali lineárnu rovnicu

$$\sigma_{kr} = a.w + b. \quad (5)$$

a hyperbolickú rovnicu

$$\sigma_{kr} = \frac{a}{1 + b.w}. \quad (6)$$

Pri výbere funkcie na popis vplyvu vlhkosti sme brali do úvahy tesnosť korelácie a jednoduchosť rovnice.

Pri zisťovaní závislosti  $\sigma_{kr}(w)$  sa ukázalo, že rovnicu (2) sme v našom prípade nemohli použiť, pretože sme nemali jednoznačne stanovenú vlhkosť na medzi nasýtenia bunkových stien a ani kritické napätie pri tejto vlhkosti. Na základe výsledkov sa dá predpokladať, že kritické napätie testovaných drevných materiálov bude navyše klesať s rastúcou vlhkosťou aj za medzou nasýtenia (POŽGAJ 1979, KÚDELA a KÚDELOVÁ 1989).

Výsledky regresnej analýzy ďalej ukázali, že rovnice (5) a (6) sú rovnocenné z pohľadu tesnosti korelácie. Keďže hyperbolická závislosť nevykazovala tesnejšiu koreláciu, dali sme prednosť lineárnej závislosti kritického napätia na vlhkosti. Lineárna závislosť sa v danom vlhkosťovom rozsahu potvrdila vo všetkých sledovaných prípadoch.

Výsledky testovania lineárnej závislosti sú znázornené na obr. 2 až 6. Ako vidieť z uvedených obrázkov, vo všetkých prípadoch sa dosiahli vysoké korelačné koeficienty.

Najtesnejšia korelácia bola pozorovaná v prípade krátkych prútov. V prípade stredne dlhých a dlhých prútov možno pozorovať mierny pokles korelačných koeficientov vďaka narastajúcej variabilite hodnôt sledovanej veličiny. Na zvýšenej variabilite kritického napätia sa hlavnou mierou podieľa heterogenita štruktúry materiálu, ale čiastočný vplyv na zvýšenie variability má aj spôsob uloženia koncov prúta, čo potvrdzuje vyššia pozorovaná variabilita pri kĺbovom uložení.

Hodnoty kritického napätia krátkych, stredne dlhých a dlhých prútov testovaných DTD sa významne líšili. Druh DTD a spôsob ukotvenia koncov prúta sa tiež potvrdili ako významné faktory. Z tohto dôvodu sme porovnávali relatívnu zmenu kritického napätia s vlhkosťou, pričom za základ 100 % sme vzali kritické napätie pri 5% vlhkosti. Takto spracované výsledky sú uvedené v tab. 2.

Pokles kritického napätia v prípade krátkych prútov testovaných DTD pri zmene vlhkosti z 5 % na 20 predstavoval 57 až 59 % (tab. 2). V prípade stredne dlhých prútov relatívna zmena kritického napätia v danom vlhkosťovom rozsahu bola menšia (42–54 %), ale variabilita zmeny kritického napätia sa zväčšila. Pri votknutom uložení koncov prútov sa vplyv vlhkosti prejavil výraznejšie ako pri kĺbovom uložení (tab. 2). Relatívna zmena kritického napätia v prípade dlhých prútov sa vyznačovala najvyššou variabilitou. Významne vyšší pokles kritického napätia bol pozorovaný v prípade kĺbového uloženia koncov prútov. Ukázalo sa, že čím je väčší

štíhlostný pomer prútov, tak tieto sú pri navlhnutí vystavené väčšiemu riziku šúverenia v smere dĺžky prúta. Ako vyplýva z prác DUTKA *et al.* (1976), GERE a TIMOSHENKO (1984), KÚDELU a SLANINKU (2004), už aj malý priehyb prútov spôsobuje odlišné správanie sa prútov pri zaťažení na vzper. To môže byť príčinou výraznejšieho poklesu kritického napätia s rastúcou vlhkosťou ako aj zvýšenej variability medzi jednotlivými druhmi DTD.

**Tab. 2** Relatívna zmena kritického napätia testovaných drevných materiálov z 5 % vlhkosti na 20 % vlhkosť (základ 100 % je vzperná pevnosť pri 5 % vlhkosti)

**Tab. 2** Relative change in critical stress of tested wood materials corresponding to the moisture content change from 5 % to 20 % (basic, 100 % value of buckling strength is considered at 5 % moisture content)

Oblasť vzperu	Spôsob uloženia	Zmena vzpernej pevnosti DTD [%] (z 5 % vlhkosti na 20 % vlhkosť)	
		DTD 8 mm	DTD 16 mm
Krátke prúty	–	–59	–57
Stredne dlhé prúty	kĺb	–51	–42
	votknutie	–54	–49
Dlhé prúty	kĺb	–69	–57
	votknutie	–49	–40

Keďže zmenu kritického napätia na vlhkosti v danom vlhkosťovom rozsahu môžeme s dobrou presnosťou považovať za lineárnu, pre prepočet kritického napätia na menovitú vlhkosť odporúčame rovnicu (3). Pri lineárnej závislosti je opravný vlhkosťový koeficient smernicou priamky a vyjadruje zmenu vzpernej pevnosti pri zmene vlhkosti o 1 %. Hodnoty opravných vlhkosťových koeficientov sú zosumarizované v tab. 3.

**Tab. 3** Hodnoty opravných vlhkosťových koeficientov pre všetky oblasti vzperu.

**Tab. 3** Values of conversion moisture coefficients for all three column length ranges.

Materiál	Krátke prúty		Stredne dlhé prúty				Dlhé prúty			
			Kĺb		Votknutie		Kĺb		Votknutie	
	$\alpha_1$	$\lambda_1$	$\alpha_2$	$\lambda_2$	$\alpha_2$	$\lambda_2$	$\alpha_3$	$\lambda_3$	$\alpha_3$	$\lambda_3$
DTD 8 mm	0,64	22	0,36	87	0,40	66	0,12	169	0,09	145
DTD 16 mm	0,53	11	0,21	76	0,36	67	0,15	139	0,17	128

Ako vyplýva z tab. 3, hodnoty opravných vlhkosťových koeficientov sú významne ovplyvnené štíhlostným pomerom. Vplyv spôsobu ukotvenia koncov prúta sa nepotvrdil. Zistené opravné koeficienty platia teda len pre konkrétny štíhlostný pomer konkrétneho prúta v danej oblasti vzperu. Preto bolo potrebné zistiť závislosť opravných vlhkosťových koeficientov na štíhlostnom pomere (Obr. 7).

Jednoznačne sa potvrdila lineárna závislosť opravných vlhkosťových koeficientov na štíhlostnom pomere. Keďže opravný vlhkosťový koeficient  $\alpha$  lineárne úmerne klesá so štíhlostným pomerom, rovnicu (3) sme upravili na tvar

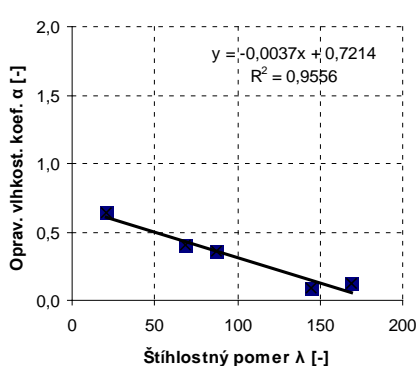
$$\sigma_{12} = \sigma_w + [\alpha' - a(\lambda - \lambda_M)](w - 12), \quad (7)$$

kde  $\alpha'$  je opravný vlhkosťový koeficient pre krátke prúty daného materiálu, ktorého hodnoty sa nachádzajú v tab. 3,  $a$  je smernica priamky a  $\lambda_M$  je štíhlostný pomer na rozhraní krátkych a stredne dlhých prútov pri danom spôsobe uloženia koncov prúta. Po dosadení konkrétnych parametrov, rovnica (7) pre 8 mm DTD bude mať tvar

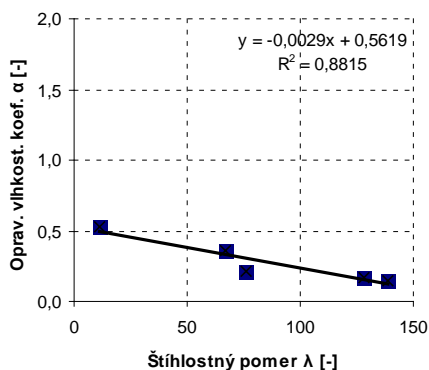
$$\sigma_{12} = \sigma_w + [0,64 - 0,0037(\lambda - 22)](w - 12) \quad (8)$$

a pre DTD 16 mm

$$\sigma_{12} = \sigma_w + [0,53 - 0,0029(\lambda - 11)](w - 12) . \quad (9)$$



a)



b)

**Obr. 7 Závislosť opravných vlhkostných koeficientov na štíhlostnom pomere: a) DTD 8 mm, b) DTD 16 mm.**

**Fig. 7 Dependence of conversion moisture coefficients on slenderness ratio: a) board thickness 8 mm, b) board thickness 16 mm.**

Pomocou rovníc (8) a (9) je možné robiť prepočet kritického napätia z vlhkosti  $w_1$  na vlhkosť  $w_2$  pri akomkoľvek štíhlostnom pomere, a to bez rozdielu spôsobu uchytenia koncov prúta.

## ZÁVER

Na základe experimentálnych výsledkov a ich analýzy možno konštatovať, že vzperná pevnosť prútov z DTD v rozsahu vlhkosti 5–25 % lineárne úmerne klesá s rastúcou vlhkosťou. Platí to pre krátke, stredne dlhé i dlhé prúty.

Na základe zistenej závislosti boli navrhnuté rovnice na prepočet kritického napätia z vlhkosti  $w_1$  na vlhkosť  $w_2$  vo vlhkostnom rozsahu 5–25 %.

Opravné vlhkostné koeficienty boli stanovené ako funkcie štíhlostného pomeru  $\lambda$ , čo umožňuje prepočet kritického napätia z vlhkosti  $w_1$  na vlhkosť  $w_2$  pre ľubovoľný štíhlostný pomer.

## LITERATÚRA

- DUBOVSKÝ, J., BABIAK, M., ČUNDERLÍK, I. 1992. *Textúra, štruktúra a úžitkové vlastnosti dreva*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 102 s.
- DUTKO, P., LEDERER, F., FERJENČÍK, P., ČÍŽEK, L. 1976. *Drevené konštrukcie*. 2. vyd. Bratislava: ALFA, 460 s.
- GERE, J. M., TIMOSHENKO, S. P. 1984. *Mechanics of materials*. Boston – Massachusetts: PWS Engineering, 762 s.
- HOVORKOVÁ, J. 2009: Namáhanie vybraných drevných materiálov na vzper. [Dizertačná práca.], Zvolen: Drevárska fakulta Technickej univerzity vo Zvolene, 101 s.
- HOVORKOVÁ, J., KÚDELA, J. 2008. Namáhanie prútov z drevných materiálov na vzper pri rôznych spôsoboch uloženia ich koncov. *Acta Facultatis Xylogiae*, 50(1): 35–45.
- KOLLMANN, F., CÔTÉ, W. A. 1968. *Principles of Wood Science and Technology*. I. Solid Wood, Berlin; Heidelberg; New York: Springer – Verlag, 592 s.



- KÚDELA, J. 2001. Zhodnotenie vplyvu vlhkosti na pevnosť dreva. In *Drevo – štruktúra a vlastnosti*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, s. 41–54.
- KÚDELA, J. 2006. Stability of wood columns loaded in buckling. Part 4. Influence of moisture content. In *Wood Research*, 51(3): 25–36.
- KÚDELA, J., HOVORKOVÁ, J. 2007. Stability of columns made of OSB boards loaded in buckling at different moisture contents. In *Ann. WULS – SGGW, For. and Wood Technol.*, 61: 409–416.
- KÚDELA, J., HOVORKOVÁ, J. 2008. Vplyv vybraných faktorov na stabilitu prútov z DTD namáhaných na vzper. Časť 1. Vplyv štihlostného pomeru a spôsobu uloženia koncov prúta. In *Interaction of wood with various forms of energy*. (Eds.: Dubovský, J. and Kúdela, J.), Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, s. 197–203.
- KÚDELA, J., KÚDELOVÁ, D. 1989. Zmena pevnosti trieskových dosák v tlaku v závislosti od vlhkosti. In *Zborník vedeckých prác Drevárskej fakulty*, Zvolen: VŠLD Zvolen, 30(2): 151–157.
- KÚDELA, J., SLANINKA, R. 1999. Buckling of spruce wood columns. III. Influence of moisture content. In XIII. International Conference of Wood Technology Faculty. Wood material of comprehensive appropriation and application: zborník referátov. Warsaw: Rozwój SGGW, s. 274–279.
- KÚDELA, J., SLANINKA, R. 2005. Stability of wood columns loaded in buckling. Part 3. Buckling of columns with initial deflection. *Wood Research*, 50(4): 17–28.
- KÚDELA, J., ŠTEFKA, V. 2009. Vplyv vybraných faktorov na stabilitu prútov z DTD namáhaných na vzper. Časť 2. Profil hustoty. *Acta Facultatis Xylogiae*, 51(2): 27–38.
- POŽGAJ, A. 1979. Moisture content as a significant factor in evaluating particleboard strength. I. Bending strength. *Drevársky výskum*, 24(4): 23–45.
- POŽGAJ, A. 1987. Metódy zisťovania mechanických vlastností dreva a drevených veľkoplášnych kompozitných materiálov. 3. vyd., Zvolen: TU vo Zvolene, 170 s.
- POŽGAJ, A., KURJATKO, S., CHOVANEC, D., BABIAK, M. 1997. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2. vyd., Bratislava: Príroda, 1997, 487 s.
- SAITO, F., HASHIMOTO, F., HAYAKAWA, T. 1987. Mechanical Properties of Particleboards. III The effects of moisture content on mechanical properties of particleboards. *J. Jap. Wood Res. Soc.*, 24(10): 714–719.
- SLANINKA, R. 2001: Namáhanie drevených prútov na vzper. [Dizertačná práca.], Zvolen: Drevárska fakulta Technickej univerzity vo Zvolene, 113 s.

#### **Pod'akovanie**

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

#### **Adresa autorov**

Prof. Ing. Jozef Kúdela, CSc.  
 Technická univerzita vo Zvolene  
 Drevárska fakulta  
 Katedra náuky o dreve  
 T. G. Masaryka 24  
 960 53 Zvolen  
 Slovenská republika  
 kudela@vsl.d.tuzvo.sk

