

VPLYV SUŠENIA NA VLASTNOSTI A KVALITU SMREKOVÉHO REZIVA S OBSAHOM REAKČNÉHO DREVA

THE INFLUENCE OF DRYING CHARACTERISTICS AND QUALITY OF SPRUCE TIMBER WITH CONTENT OF REACTION WOOD

Ivan Klement – Tatiana Huráková

ABSTRACT

The presented article is focused on comparison of the reaction and normal wood in the artificial drying process. The article monitors losses of moisture, moisture gradients, stress creation, cross warping and physical properties of selected samples. On the basis of measurements we can say that the difference between the reaction and normal wood is variable depending on different moisture content. In the content of free water area the reaction wood dries faster than normal wood. But with moisture lower than the fibre saturation point the reaction wood dried similar to normal wood. The selected physical properties confirmed that there is less swelling in radial and tangential direction and more in longitudinal direction in reaction wood. Lower values of shrinkage of the reaction wood in longitudinal direction had very favourable impact on the intensity of cross warping. Right knowledge of these properties can help us to improve the quality and to increase the efficiency of production and it also may bring significant financial savings.

Key words: compression wood, normal wood, cross warping, moisture gradient.

ÚVOD

Reakčné drevo sa považuje za chybu štruktúry dreva, ktorá má negatívny dopad na rezivo s obsahom reakčného dreva v procese. Tvorí sa v ihličnatých a listnatých drevinách ako reakcia na vychýlenie kmeňa pri jeho zaťažení (TARMIAN *et al.* 2009). Tlakové reakčné drevo je typické pre ihličnaté dreviny. Jeho makroskopickým znakom je na priečnom reze tmavo sfarbená zóna tvaru polmesiaca. (POŽGAJ *et al.* 1993, TARMIAN *et al.* 2012). Mikroskopickým znakom reakčného dreva je kruhový až oválny prierez tracheid. Tracheidy kruhového prierezu sa navzájom nedotýkajú po celom obvode, čím sa vytvárajú tzv. medzibunkové priestory (GRYC 2006, POŽGAJ *et al.* 1993). Submikroskopická štruktúra reakčného dreva je výrazne odlišná od nereakčného dreva a to hlavne sklonom fibril v dominantnej vrstve S2 (30–40°), ktorý je príčinou odlišných fyzikálnych a mechanických vlastností. Chemické zloženie dreva sa pri tvorbe reakčného dreva mení, dôkazom čoho je väčší obsah lignínu a menší obsah celulózy v porovnaní s nereakčným drevom (POŽGAJ *et al.* 1993, TARMIAN *et al.* 2009, YAMASHITA *et al.* 2009). Problematikou rozdielnej intenzity sušenia reakčného a nereakčného dreva sa vo svojej práci zaoberal (TARMIAN *et al.* 2009). Dospel k záverom, že pri vyššej počiatkovej vlhkosti nereakčného dreva a nižšej počiatkovej vlhkosti reakčného dreva bola konečná vlhkosť

rovnaká pri totožnom čase sušenia oboch vzoriek. SIAU (1984) vo svojej práci uvádza, že rozdiel v priepustnosti je podmienený obsahom vody v dreve. Pri obsahu vody nad BNV je sušenie vzoriek rýchlejšie. Reakčné drevo sa pri obsahu vody pod BNV suší porovnateľne rýchlo s nereakčným drevom.

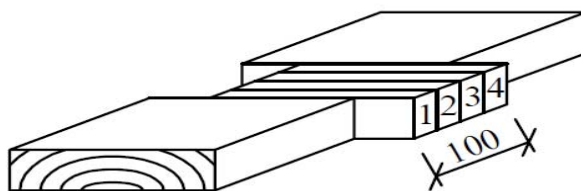
Cieľom práce bolo porovnať reakčné a nereakčné drevo v procese sušenia s konštantnými parametrami sušiaceho prostredia. Sledovali sa úbytky vlhkosti vzoriek, vlhkosťné spády, tvorba napätí a veľkosť priečného šúverenia, ako aj vybrané fyzikálne vlastnosti.

MATERIÁL A METODIKA

Pre experimentálnu prácu bol vybraný smrekový výrez s obsahom reakčného dreva o priemere 43 cm a dĺžke 3 m z poľsia Vysokoškolského lesného podniku Technickej univerzity vo Zvolene.

Príprava vzoriek

Z výrezu boli vypílené dve skupiny vzoriek. Jednu skupinu tvorili vzorky, ktoré obsahovali reakčné drevo a druhú, porovnávaciu skupinu, vzorky bez podielu reakčného dreva. Vzhľadom na to, že reakčné drevo bolo na obvode výrezu, skúšobné vzorky boli tangenciálne so sklonom ročných kruhov 14–19°. Hrúbka reziva bola 25 a 50 mm, šírka 180 mm a dĺžka 3000 mm. Z reziva sa vymanipulovali vzorky na experimentálne meranie zisťovaných vlastností (obr. 1).



Obr. 1 Vymanipulovanie vzoriek. 1 – vzorka na meranie vlhkosti, 2 – vzorka vlhkosťného spádu, 3 – vzorka na meranie skôrnatenia (vidličková skúška), 4 – vzorka na meranie skôrnatenia (rez-test).

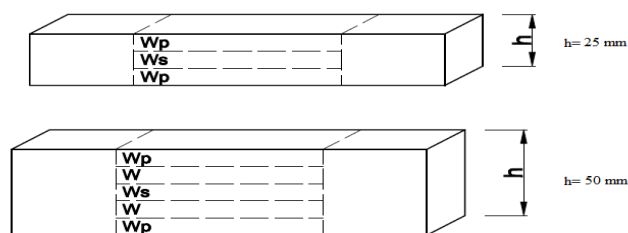
Fig. 1 Select Samples. 1 – sample of measure moisture, 2 – sample of measure moisture gradient, 3 – samples of measure covering – (fork samples), 4 – sample of measure covering (rez-test).

Proces sušenia

Sušenie prebiehalo v malokapacitnej teplovzdušnej sušiarňi Vzduchotechnika MINI. Náplň sušiarne tvorili vzorky s reakčným aj nereakčným drevom. Bol zvolený režim sušenia, ktorý sa používa na predsušenie reziva rôznych hrúbok. Je to sušenie pri konštantných parametroch sušiaceho prostredia, kde teplota sušenia je $t_s = 40\text{ }^\circ\text{C}$, psychrometrická diferenciacia $\Delta t = 5\text{ }^\circ\text{C}$ a rýchlosť prúdenia $v = 2,5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Uložené vzorky boli počas sušenia zaťažované, aby bol eliminovaný vplyv polohy vzoriek v kletke na veľkosť priečného šúverenia.

Hustota, vlhkosť a vlhkosťný spád

Hustota v absolútne suchom stave jednotlivých skupín vzoriek bola meraná podľa STN 49 0108. Počiatočné a konečné vlhkosti vzoriek boli stanovené váhovou metódou podľa STN 49 0103. Rozloženie vlhkosti vlhkosťného spádu sme zisťovali po hrúbke vzoriek, ktorý bol meraný na začiatku a po skončení procesu sušenia. Vyrezané vzorky boli v závislosti na hrúbke rozdelené na 3, resp. 5 vrstiev tak, ako je to znázornené na obr. 2. Vlhkosti jednotlivých vrstiev boli stanovené váhovou metódou.



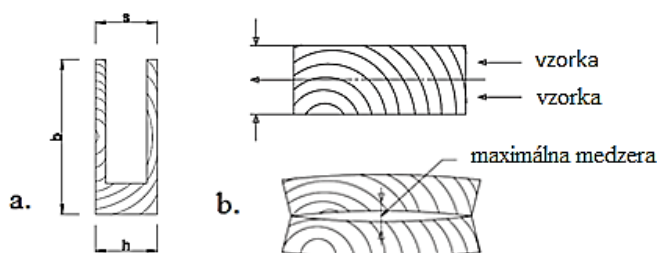
Obr. 2 Vzorky na meranie vlhkovného spádu.
Fig. 2 Samples of moisture gradient.

Zosychanie, napučanie, nasiakanie

Pri všetkých skúšobných vzorkách sa merali maximálne hodnoty zoschnutia a napučania podľa STN 49 0126 a nasiakania podľa STN 49 0104. Z nameraných hodnôt fyzikálnych vlastností boli vyhodnotené základné štatistické charakteristiky. Na porovnanie významnosti jednotlivých rozdielov bol použitý t-test.

Skôrnatenie

Vzorky na meranie skôrnatenia boli pripravované podľa STN 49 0645. Boli použité dve metódy merania prostredníctvom vidličkovej skúšky a rez-testu. Meranie bolo vykonané na začiatku a po procese sušenia. Spôsob prípravy a merania skôrnatenia je na obr. 3.



Obr. 3 Vzorky na meranie skôrnatenia - vidličková skúška (a) rez - test (b).
Fig. 3 Samples of measure covering – fork samples.

Výsledné hodnoty skôrnatenia k boli vypočítané podľa rovnice:

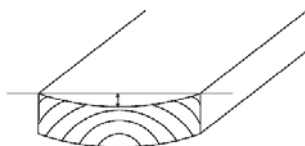
$$k = \frac{(h-s) \cdot 100}{h \cdot b} \cdot 100 \quad (1)$$

kde: k – skôrnatenie [%], h – hrúbka reziva [mm], s – vonkajšia vzdialenosť bokov vidličky [mm], b – dĺžka vidličky [mm].

Pri meraní skôrnatenia prostredníctvom rez-testu bola meraná maximálna medzera medzi jednotlivými vrstvami (obr. 3b).

Priečne šúverenie

Po vysušení bolo na vybraných vzorkách robené meranie priečného šúverenia (deformácií). Priečne šúverenie bolo merané vždy v strede dĺžky (obr. 4). Meralo sa absolútne šúverenie, lebo šírka bola rovnaká. Na meranie bol použitý odchýlkomer s presnosťou merania na 0,01 mm. Na tých istých vzorkách bol meraný uhol sklonu ročných kruhov.



Obr. 4 Vzorka merania priečného šuverenia.
Fig. 4 Sample of measure cross warping.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

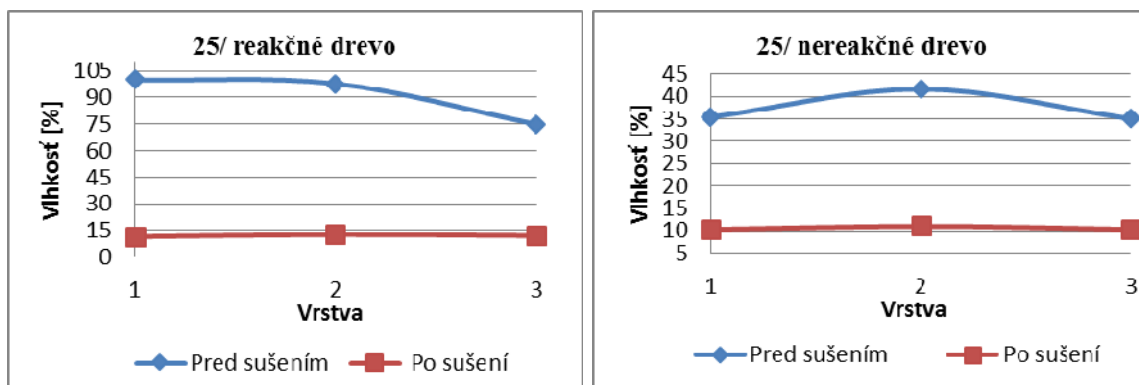
Hustota, vlhkosť a vlhkosťný spád

Variabilita vlastností porovnávaného dreva sa prejavila v hustote. Hustota reakčného dreva bola vyššia ako hustota nereakčného dreva (tab. 1). To je zapríčinené samotným zhrubnutím bunkových stien reakčného dreva, ktoré potvrdzujú aj práce autorov (TARMIAN, PERRÉ 2009, TARMIAN *et al.* 2012). Hodnoty počiatočných a konečných vlhkostí, hustoty a čas sušenia pre reakčné a nereakčné vzorky sú uvedené v tabuľke 1. Počiatočné vlhkosti vzoriek s reakčným drevom boli výrazne vyššie ako pri vzorkách z nereakčného dreva. Výrazné rozdiely môžu byť spôsobené stavbou dreva a polohou vzorky v kmeni. Konečné vlhkosti pri všetkých vzorkách boli takmer totožné. U vzoriek hrúbky 50 mm bola, pri rovnakom čase sušenia, konečná vlhkosť vyššia ako pri hrúbke 25 mm. Nebol nameraný významný rozdiel medzi konečnými vlhkosťami reakčného a nereakčného dreva.

Tab. 1 Vlhkosti, hustota dreva a čas sušenia .
Tab. 1 Moisture content, density of wood and drying time.

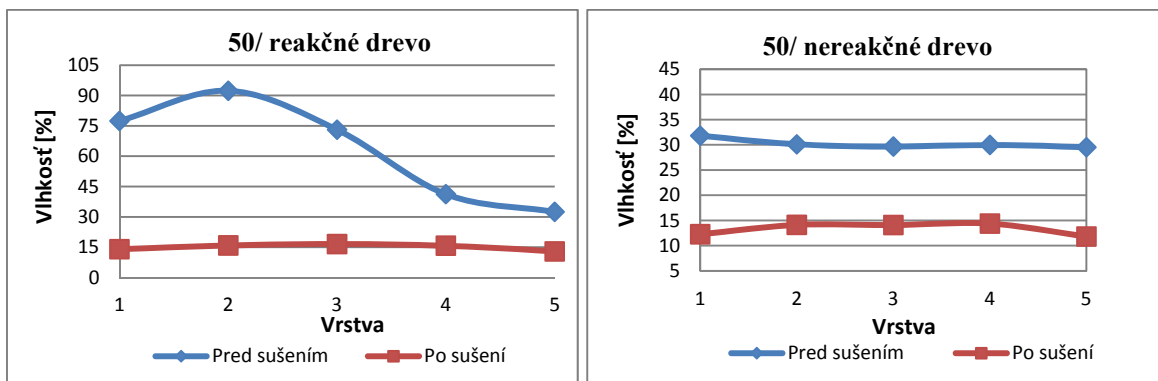
Hrúbka vzorky [mm]	Drevo	Vlhkosť [%]		Hustota ρ_0 [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Čas sušenia [deň]
		počiatočná	konečná		
25	reakčné	95,47	11,39	527	13
	nereakčné	43,5	11,49	441	
50	reakčné	62,2	14,5	560	
	nereakčné	35,58	13,36	469	

Na obrázkoch 5 a 6 je znázornené rozloženie vlhkosti po priereze pred a po sušení. Pri obidvoch hrúbkach boli hodnoty vlhkosťných spádov pred sušením u vzoriek s reakčným drevom podstatne vyššie. Po sušení bola vlhkosť po priereze sušených vzoriek pri reakčnom aj nereakčnom dreve vyrovnaná.



Obr. 5 Rozloženia vlhkosti na priereze vzoriek hrúbky 25 mm.
Fig. 5 Moisture gradient to cross section samples 25 mm.

Pri vzorkách hrúbky 50 mm bol vlhkosťný spád pred sušením väčší (obr. 6). Pri reakčnom dreve je možné vidieť v 1 až 3 vrstve vysokú počiatočnú vlhkosť. Vo vrstvách 4 a 5 bola hodnota vlhkosti nižšia. Podľa rozloženia vlhkosti po priereze vzoriek je možné predpokladať, kde končí zóna reakčného dreva. Na rozptyl konečných vlhkostí to nemalo významný vplyv, keďže reakčné drevo sa sušilo rýchlejšie ako nereakčné drevo. Pri všetkých vzorkách boli hodnoty vlhkosťných spádov po sušení minimálne.



Obr. 6 Rozloženia vlhkosti na priereze vzoriek hrúbky 50 mm.
Fig. 6 Moisture gradient to cross section samples 50 mm.

Zosychanie a napučanie

V tabuľke 2 sú uvedené základné štatistické charakteristiky a výsledky t-testov pre zosychanie a napučanie reakčného a nereakčného dreva v jednotlivých smeroch testovania. Vzorky s reakčným drevom majú štatisticky signifikantne nižšie hodnoty zosychania a napučania v radiálnom a tangenciálnom smere ako porovnávacie vzorky s nereakčným drevom. V pozdĺžnom smere pri reakčnom dreve je štatisticky výrazne vyššia hodnota zosychania a napučania ako pri nereakčnom dreve. Podľa GRZYCA (2006), POŽGAJA *et al.* (1993) sa prejavuje výraznejšie zosychanie a napučanie pri reakčnom dreve v pozdĺžnom smere vzhľadom na veľký sklon mikrofibríl vo vrstve S2. Autori pritom udávajú sklon mikrofibríl pri reakčnom dreve 30–40° a pri nereakčnom dreve výrazne menší 5–20°.

Tab. 2 Zosychanie a napučanie - základné štatistické charakteristiky.
Tab. 2 Shrinkage and swelling - the basic statistical characteristics.

Zosychanie						
Charakteristika	smer radiálny		smer tangenciálny		smer pozdĺžny	
	Drevo					
	reakčné	nereakčné	reakčné	nereakčné	reakčné	nereakčné
Priemerná hodnota zosychania [%]	3,35	5,7	6,71	10,99	1,26	0,59
Smerodajná odchylka [%]	0,688	0,405	0,656	1,071	0,266	0,173
Počet meraní	30		30		30	
Hodnota t-testu	16,12		18,7		-11,62	
Napučanie						
Charakteristika	smer radiálny		smer tangenciálny		smer pozdĺžny	
	Drevo					
	reakčné	nereakčné	reakčné	nereakčné	reakčné	nereakčné
Priemerná hodnota zosychania [%]	3,25	5,4	7,23	11,06	1,18	0,66
Smerodajná odchylka [%]	0,704	0,534	1,124	0,706	0,233	0,291
Počet meraní	30		30		30	
Hodnota t-testu	1,8		15,8		-7,6	

Nasiakanie

Hodnoty nasiakania boli merané v časových intervaloch 7, 14, 28 dní pričom nebolo dosiahnuté maximálne nasiaknutie buniek. Reakčné drevo malo nižšie hodnoty nasiakavosti (tab. 3). Rozdiel medzi reakčným a nereakčným drevom bol štatisticky významný.

Tab. 3 Nasiakanie - základné štatistické charakteristiky.

Tab. 3 Absorptivity of hhe basic statistical characteristics.

Chrarakteristika	Drevo	
	reakčné	nereakčné
Priemerná hodnota nasiakania (%)	72,79	91,02
Smerodajná odchýlka (%)	4,89	3,54
Počet meraní	30	
Hodnota t-testu	16,52	

Skôrnatenie

Hodnotenie skôrnatenia, teda ustrnutia dreva v ťahu alebo tlaku po sušení, bolo vykonané dvomi metódami (tab. 4). Pred procesom sušenia boli namerané veľmi malé hodnoty skôrnatenia pre vzorky hrúbky 25 mm. U vidličkovej skúšky boli vyššie hodnoty pri vzorkách s reakčným drevom. Podobne to bolo aj pri 50 mm vzorkách, ktoré pred procesom sušenia vykazovali veľmi nízke hodnoty. Meranie rez-testom nezaznamenalo rozdiel medzi vzorkami. Po sušení boli namerané podobné hodnoty skôrnatenia. Nebol nameraný významný rozdiel vo veľkosti skôrnatenia medzi vzorkami s reakčným a nereakčným drevom. To dokazuje priaznivý vplyv zníženého zosychania reakčného dreva v priečnom smere.

Tab. 4 Hodnoty skôrnatenia.

Tab. 4 The values of the covering.

Hrúbka vzorky (mm)	Drevo	Vidličková skúška (%)		Rez – test (mm)	
		pred sušením	po sušení	pred sušením	po sušení
25	reakčné	1,24	23,85	0,68	2,21
	nereakčné	0,13	22,76	0,69	2,20
50	reakčné	1,49	38,12	0,78	1,13
	nereakčné	3,86	39,04	0,62	2,15

Priečne šúverenie

Hodnoty priečného šúverenia (tab. 5) boli pri 25 mm vzorkách v oboch prípadoch veľmi nízke. Pri vzorkách hrúbky 50 mm väčšie hodnoty priečného šúverenia boli namerané pri nereakčnom dreve. Nižšie hodnoty je možné zdôvodniť tým, že u reakčného dreva sú hodnoty zosychania v priečných smeroch nižšie, čo priaznivo ovplyvňuje tvorbu a veľkosť priečného šúverenia počas procesu sušenia. V tabuľke je uvedený aj sklon ročných kruhov pri jednotlivých vzorkách.

Tab. 5 Hodnoty priečného šúverenia.

Tab. 5 The values of the cross warping.

Hrúbka vzorky (mm)	Drevo	Priečne šúverenie (mm)	Sklon ročných kruhov (°)
25	reakčné	0,83	14
	nereakčné	0,70	19
50	Reakčné	0,19	16
	nereakčné	2,05	17

Anomália vzniknutá v procese sušenia na povrchu reakčného dreva

Po sušiacom procese sa na povrchu smrekového dreva, ktoré obsahovalo reakčné drevo boli pozorované škvrny. Podľa mikroskopických skúmaní (pomocou stereo mikroskopu) sa zistilo, že sa jedná o živicové kanáliky tkz. traumatické kanáliky. Podľa (JOSÉ, PEZO 2007) je výron živice podmienený teplotou vyššou ako 65 °C. V našom prípade bol použitý režim s teplotou 40 °C pri ktorom by sa nemalo stať, že živica sa objaví na povrchových vrstvách materiálu.

ZÁVER

Na základe vykonaných experimentálnych meraní môžeme konštatovať, že rozdielnosť sušenia reakčného a nereakčného dreva je variabilná pri rôznom obsahu vody v dreve. V oblasti vody voľnej sa reakčné drevo sušilo rýchlejšie v porovnaní s nereakčným. Pri vlhkosti nižšej ako BNV sa reakčné drevo sušilo porovnateľne s nereakčným. Pri rozdielnych počiatkových vlhkostiach bola konečná vlhkosť po priereze pri všetkých vzorkách po procese sušenia vyrovnaná. Vybrané fyzikálne vlastnosti nám potvrdili, že pri reakčnom dreve boli v radiálnom a tangenciálnom smere zistené menšie hodnoty napúčania ale v pozdĺžnom smere boli hodnoty napúčania vyššie ako pri nereakčnom dreve. Menšie hodnoty zosychania reakčného dreva v priečnom smere mali priaznivý vplyv na veľkosť priečného šúverenia. Hodnoty nasiakania boli nižšie pri reakčnom dreve ako pri nereakčnom. Pri meraní skôrnatenia nebol nameraný výrazný rozdiel vo veľkosti medzi vzorkami reakčného a nereakčného dreva. Veľkosť priečného šúverenia bola pri reakčných vzorkách takmer zanedbateľná. Tieto hodnoty závisia aj od rozloženia samotného reakčného dreva v materiáli, ktoré má výrazný vplyv na správanie sa dreva pri procese sušenia, ale aj v ďalšom technologickom spracovaní.

LITERATÚRA

- GRYC, V. VAVRČÍK, H. 2006. Effect of the position in a stem on the variability of tracheids in spruce with the occurrence the compression wood. In Wood Structure and Properties '06. Zvolen : Arbora Publishers, 2006 s. 43–49.
- JOSÉ, A., PEZO, P. 2007. Mahild drying technologies (secado de maderas), 1 vyd. Nürtingen : Mahild. 2007. p. 542.
- ORMARSSON, S. 1999. Numerical analysis of moisture-related distortions in sawn timber. Doctoral thesis. Göteborg : Chalmers University of Technology, 1999. ISBN 91-7197-834-8
- POŽGAJ, A., KURJATKO, S., CHOVANEC, D., BABIAK, M. 1993. Štruktúra a vlastnosti dreva. 1 vydanie. Bratislava : Príroda a. s. 1993. 483 p. ISBN 80-07-00600-1.
- SIAU, J. F. 1984. Transport processes in wood. Berlin; Heidelberg; New York; Tokio: Springer-Verlag, 245 p.
- STN 490 103: 1993 Zisťovanie vlhkosti pri fyzikálnych a mechanických skúškach.
- STN 490 108: 1993 Zisťovanie hustoty.
- STN 490 126: 1993 Skúšky vlastností rastlého dreva. Metóda zisťovania napúčavosti.
- STN 490 645: 1993 Skúšanie kvality sušeného dreva (skúška skôrnatenia dreva).
- STN 490 104: 1993 Skúšky vlastností rasteného dreva. Metóda zisťovania nasiakavosti.
- STN P ENV 14464: 2003 Rezivo, Metóda zisťovania skôrnatenia.
- TARMIAN A, REMOND R, DASHTI H, PERRÉ P. 2012. Moisture diffusion coefficient of reaction woods: Compression wood of *Picea abies* L. and tension wood of *Fagus sylvatica* L. Wood Sci Technol. 2012; 46(1): 405–417.

TARMIAN A, REMOND R, FAEZIPOUR M, KARIMI A, PERRÉ P. 2009. Reaction wood drying kinetics: Tension wood in *Fagus sylvatica* and compression wood in *Picea abies*. Wood Sci. Technol. 2009, 43(1): 113–130.

TARMIAN A, PERRE P. 2009. Air permeability in longitudinal and radial directions of compression wood of *Picea abies* L. and tension wood of *Fagus sylvatica* L. Holzforschung. 2009, 63(3): 352–356.

YAMASHITA, S. – YOSHIDA, M. – YAMAMOTO, H. 2009. Relationship between development of compression wood and gene expression. Plant Sci. 2009, s. 729–735.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-0200-12.

Adresa autorov

Ivan Klement
Tatiana Huráková
Technická univerzita vo Zvolene
Drevárska fakulta
Katedra mechanickej technológie dreva
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
klement@tuzvo.sk
xhurakova@tuzvo.sk