

VPLYV TEPLoty NA PROCES KONTAKTNÉHO SUŠENIA BUKOVÉHO REZIVA

TEMPERATURE INFLUENCE ON THE PROCESS OF CONTACT DRYING BEECH LUMBER

Ivan Klement – Igor Balkovský – Pavol Smilek

ABSTRACT

Contact drying is one of special methods of drying wood, when material is embedded between two heated plates and on this plates effect pressure. In this kind of drying the transfer of heat is with conduction from heated plates to the samples and it is very quickly. In this article we were focus on contact drying of beech wood near the thickness of 32 mm and uniform time of drying. Four suggested temperatures showed different course of humidity and temperatures. Used temperatures of 130 °C, 140 °C and 150 °C showed us that there wasn't sufficient overheating of middle parts of samples, which caused rised moisture gradient at the end of drying. The result showed that the time of drying, the 90 minutes, wasn't adequate for these temperatures. Near the temerature of 160 °C were middle part overheated enough and final moisture gradient was acceptable.

Keywords: contact drying, beech, temperature of wood, moisture gradient, color.

ÚVOD

Kontaktné sušenie je spôsob sušenia, pri ktorom je sušený materiál uložený medzi dvomi vyhrievanými platňami lisu a za súčasného pôsobenia tepla a tlaku sa materiál suší. Vzhľadom na to, že ide o prestup tepla kundukciou na rozdiel od teplovzdušných spôsobov sušenia, kde je prestup tepla zabezpečený konvekciou, je vplyv teploty na znižovanie vlhkosti významnejší.

Prvé skúšky sa vykonali v Dánsku. Tu bol vydaný patent v roku 1966 na kontaktné sušenie (Patentný výpis č. 247590). Realizovala ho firma A/S Junckers Saaverk v Koge (Patent Koga-Dánsko, č. 247590. A/S JUNCKERS SAAVERK 1966). Tento patent uvádza ako vhodný tlak pre sušenie listnatých drevín 0,4 až 2,5 MPa, pre ihličnaté dreviny 0,2 až 1,2 MPa v rozpätí teplôt 110 až 200 °C. Tlak závisí od hrúbky dreviny.

Pokračovaním výskumu kontaktného sušenia bola práca SCHMIDTA (1967) s vysúšaním bukových vlysov (*Fagus sylvatica* L.) v 20-etážovom lise. Autor uviedol, že použitý tlak počas sušenia má základný význam a závisí od dreviny. Stanovil optimálne podmienky pre buk: tlak 1,2 až 1,4 MPa a teplotu 165 až 170 °C. Bukové vlysy mali počiatočnú vlhkosť 80 až 88 %, konečnú vlhkosť 1 až 3 %. Čas sušenia bol 2 hodiny. Ďalej uvádza výhody kontaktného sušenia ako napr. že doska je stabilnejšia, hrúbka dosky je rovnaká, plocha je väčšia o 15 % (zlisovaním), hustota sa zvyšuje o viac ako 10 %, pevnosť dreva stúpne o 10 až 15 %, bukové drevo získava teplejší odtieň a ročné kruhy sa zvýraznia. Je nižšia nasiakavosť. Využitie dreva je vyššie o 19 až 20 %.

Kontaktné sušenie zaraďujeme medzi špeciálne spôsoby sušenia reziva. Jednou z výhod je skrátenie času sušenia oproti klasickému teplovzdušnému sušeniu (TREBULA, KLEMENT 2000). Ďalšou z výhod je zmena jeho mechanických a fyzikálnych vlastností. Za nevýhodu môže byť považovaná vysoká cena technológie potrebnej k takémuto spôsobu sušenia. Kontaktné sušenie

šetrí čas aj energiu (CHEN, BILTONEN 1979). Podľa autorov KOBERLE a TREBULA (1981), TREBULA a KLEMENT (1997, 2002), DZURENDA a DELIISKI (2009) je spotreba tepla 2900 až 4850 kJ/kg odparenej vody.

Tento príspevok sa zaoberá vplyvom teploty vyhrievacích platní na konečnú vlhkosť a samotné rozloženie vlhkosti po priereze sušených vzoriek.

Cieľom príspevku je zhodnotiť vplyv zmeny teploty lisovacích platní pri kontaktnom sušení bukového reziva hrúbky 32 mm na proces sušenia.

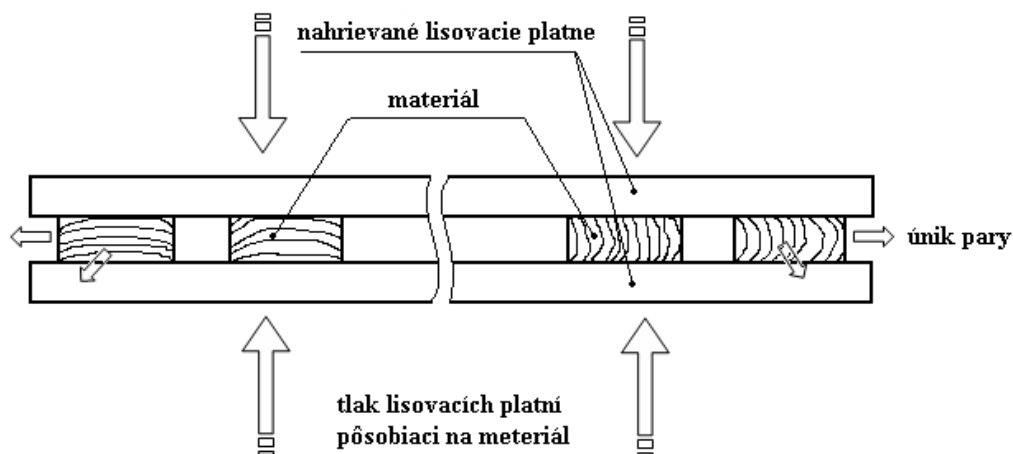
EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Materiál

Pre experimentálne sledovanie bola zvolená drevina buk (*Fagus silvatica* L). Je to drevina, ktorej sušenie v klasickej teplotovzdušnej sušiarňi je zdĺhavé a je náchylná na šúverenie. Rozmery skúšobných vzoriek boli 32 mm × 120 mm × 700 mm. Priemerná počiatočná vlhkosť vzoriek bola 23,25 %.

Metóda

Sušenie uvedených vzoriek bolo robené v jedno etážovom hydraulickom lise CBJ 500. Špecifický tlak, ktorým sme pôsobili na vzorky bol 1 MPa. Zo špecifického tlaku bol pomocou vzťahu odvodený manometrický tlak, ktorý sa na lise nastavil a samotným zariadením bol automaticky udržiavaný na požadovanej hodnote počas celej doby sušenia. Boli použité hladké neperforované lisovacie hliníkové plechy o hrúbke 4 mm, ktoré sa obojstranne vkladali medzi materiál a platne lisu (Obr. 1).

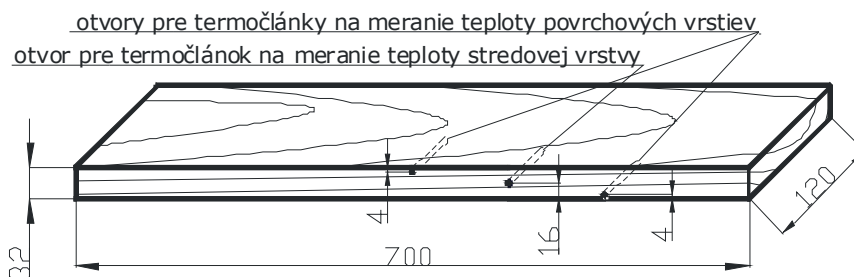


Obr. 1 Kontaktné sušenie vzoriek.

Fig. 1 Contact drying of samples.

Jednotlivé sušenia boli robené pri konštantnom tlaku lisovacích platní 1 MPa a čas sušenia bol vždy rovnaký (90 minút). Pre jednotlivé série sušení boli použité teploty 130, 140, 150 a 160 °C. Pri stanovení času sušenia 90 minút sme vychádzali z predpokladu, že sa jedná o prenos tepla vedením, na ktorého popis je možné aplikovať druhý Furierov zákon. Ako okrajovú podmienku sme zvolili podmienku pre tok tepla cez styčnú plochu telesa a platní. Keď hrúbka sušenej vzorky je h a os x je kolmá na platne, $x = 0$ bol bod na jednej platni, $x = h$ bol bod na druhej platni a $x = h/2$ bol bod v strede vzorky. Predpokladali sme, že tok tepla v strede je nulový (TREBULA, DEKRÉT 1998).

Zmena teploty na priereze vzoriek bola meraná pomocou termočlánkov Cu-Ko, ktoré boli umiestnené v povrchových a v stredovej vrstve vzoriek (Obr. 2).



Obr. 2 Miesta merania teplôt v priereze vzorky.
Fig. 2 Positions of temperature measuring in cross-section.

Pri všetkých vzorkách bola váhovou metódou zistená počiatočná vlhkosť, vlhkosťný spád a bola zisťovaná zmena farby. Tieto skúšky boli robené pred sušením a po procese sušenia. Vzhľadom na krátky čas sušenia, neboli vykonávané priebežné merania.

Vlhkosťný spád bol stanovený pomocou vzorca:

$$\Delta w = w_c - w_{pov} \quad (\%) \quad (1)$$

kde: Δw je vlhkosťný spád (%), w_c je vlhkosť stredovej vrstvy (%), w_{pov} je priemerná vlhkosť povrchových vrstiev (%).

Farebné zmeny na povrchu vzoriek sme zaznamenávali pomocou prístroja Color Reader CR-10, ktorý zaznamenáva zmenu v $L^*a^*b^*$ súradniciach a číselne sa vyjadria pomocou vzorca na výpočet Euklidovskej vzdialenosti (HUNTER 1948):

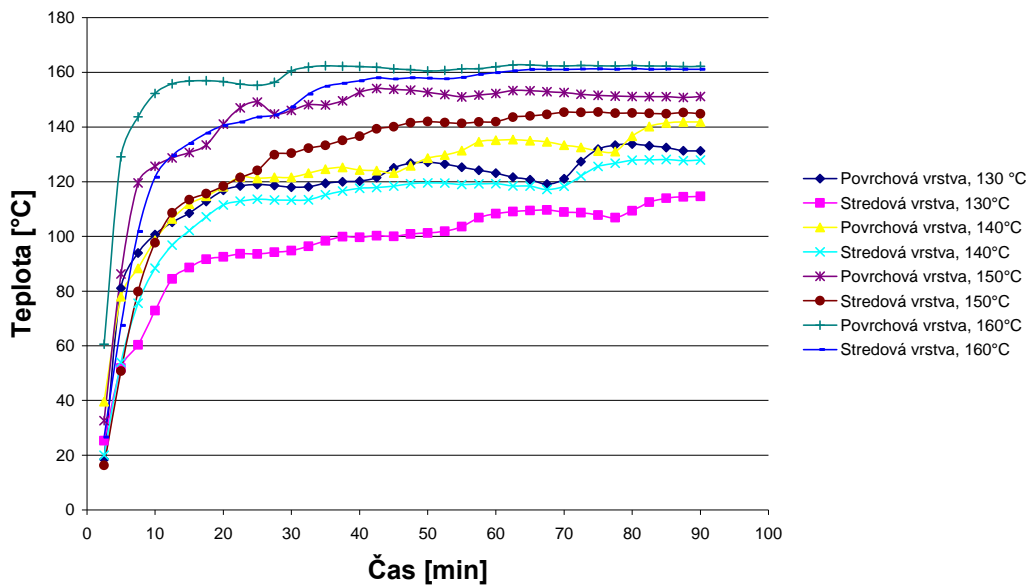
$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (2)$$

kde: L^* je jas alebo svetlosť farby v rozsahu -100 (čierna) do $+100$ (biela), a^* je súradnica s odtieňom medzi červenou ($+60$) a zelenou (-60), b^* je súradnica s odtieňom medzi žltou ($+60$) a modrou (-60).

VÝSLEDKY

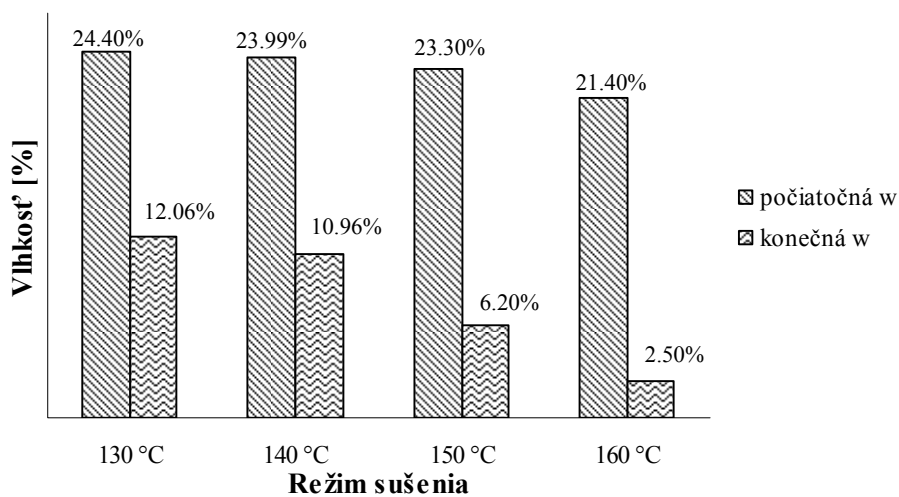
Kontaktné sušenie bolo robené pri teplotách lisovacích platní $130\text{ }^\circ\text{C}$, $140\text{ }^\circ\text{C}$, $150\text{ }^\circ\text{C}$ a $160\text{ }^\circ\text{C}$. Ostatné parametre, ako špecifický tlak lisovacích platní 1 MPa a čas sušenia 90 min boli nemenné.

Zmena teploty v priereze materiálu bola ovplyvnená použitou teplotou lisovacích platní (Obr. 3). Z obrázku 3 vidíme ako vplyva teplota platní na prechodové charakteristiky teploty. Teploty povrchových vrstiev sú priemerné hodnoty z dvoch termočlánkov merajúcich teplotu povrchov. Vid' obr. 2.



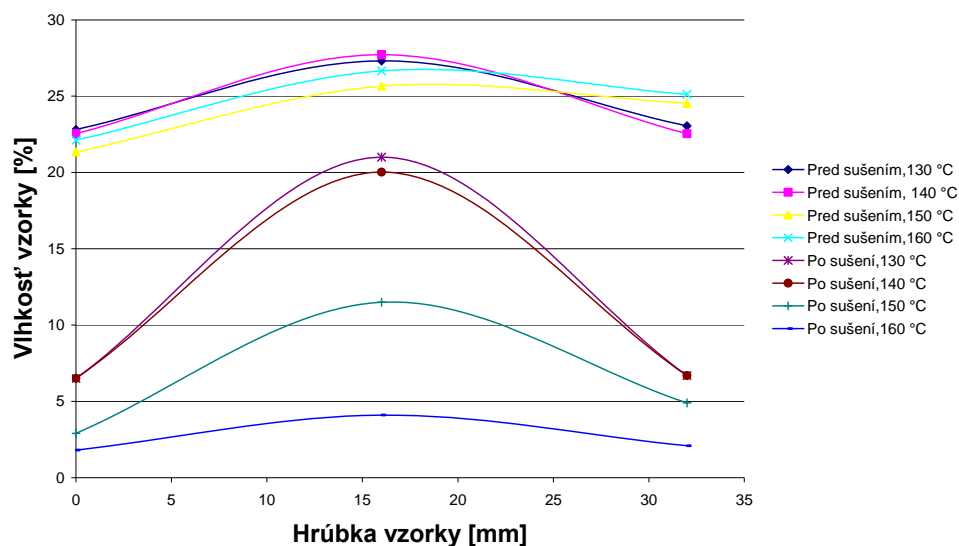
Obr. 3 Priebeh teploty v povrchových a v stredovej vrstve vzoriek.
 Fig. 3 Course of temperature on the surface and in the middle of samples.

Vplyv teploty na konečnú vlhkosť je možné vidieť na obrázku 4, kde konečná vlhkosť vysušených vzoriek klesá so stúpajúcou hodnotou použitej teploty.



Obr. 4 Počiatočná a konečná vlhkosť sušených vzoriek (čas sušenia 90 minút).
 Fig. 4 Initial and final moisture of dried samples (drying time 90 minutes).

Na obrázku 5 je zobrazený priebeh vlhkovného spádu vzorky pred procesom sušenia a po procese sušenia.



Obr. 5 Priebeh vlhkostí v priereze vzoriek pre jednotlivé teploty sušenia.
Fig. 5 Course of moistures in cross-section of samples for particular drying temperatures.

Hodnoty vlhkovných spádov vypočítané z vlhkostí povrchových a stredových vrstiev sú v tabuľkách číslo 1 a 2.

Tab. 1 Vlhkovný spád sušenej vzorky pred procesom sušenia.

Tab. 1 Moisture gradient of dried sample before process of drying.

Teplota [°C]	Vlhkosti povrchových a stredových vrstiev vzoriek [%]			Vlhkovný spád Δw [%]
	Povrchová vrstva p_1	Stredová vrstva s	Povrchová vrstva p_2	
130	22,80	27,31	23,05	4,40
140	22,54	27,72	22,54	5,18
150	21,34	25,65	24,52	2,70
160	22,11	26,65	25,11	3,00

Tab. 2 Vlhkovný spád sušenej vzorky po procese sušenia.

Tab. 2 Moisture gradient of dried sample after process of drying.

Teplota [°C]	Vlhkosti povrchových a stredových vrstiev vzoriek [%]			Vlhkovný spád Δw [%]
	Povrchová vrstva p_1	Stredová vrstva s	Povrchová vrstva p_2	
130	6,52	21,11	6,77	14,40
140	6,51	20,02	6,69	13,42
150	2,90	11,54	4,94	7,60
160	1,81	4,10	2,17	2,15

Euklidovská vzdialenosť ΔE získaná z porovnania farby vzorky pred sušením a po sušení pri každej teplote nepresiahla hodnotu 6,4.

Farebné súradnice nesušených vzoriek $L = 68,98$; $a = 11,54$; $b = 29,68$. Hodnoty Euklidovských vzdialeností sú v tabuľke 3.

Tab. 3 Súradnice L*a*b a Euklidovské vzdialenosti.
Tab. 3 Coordinates L*a*b and Euclidean distances.

Teplota (°C)	Farebné súradnice			ΔE
	L	a	b	
130 °C	67,83	8,83	24,00	6,40
140 °C	69,26	8,43	25,46	5,20
150 °C	70,26	7,66	24,80	6,40
160 °C	66,93	8,90	27,90	3,80

DISKUSIA

Pri popise teplotných a vlhkostných pomerov je možné sušenú vzorku rozdeliť na vrstvy. Pre každú vrstvu môžeme rozlišovať dve etapy. Etapu ohrevu na 100 °C a etapu ohrevu vrstvy na teplotu lisovacích platní. Celý proces je zložitý, čo potvrdzujú aj namerané hodnoty.

Ohrev povrchových vrstiev materiálu bol najintenzívnejší pri teplote 160 °C. Pri teplote 130 °C bol prechod teploty z povrchu sušenej vzorky do stredu najpomalší (Obr. 3).

Je možné vidieť, že len pri teplote 160 °C teplota stredovej vrstvy vzorky takmer dosiahla teplotu povrchu vzorky. Rozdiel teplôt sa ustálil približne po 70 minútach na 1 °C až 2 °C. Toto teplotné vyrovnanie môžeme považovať za úplné a z hľadiska teploty môže byť režim sušenia ukončený. Iné to bolo pri nižších teplotách, kedy sa teploty stredu a povrchu nevyrovnali. Pri teplote 150 °C bol po 90 minútach rozdiel 6 °C, pri teplote 140 °C bol rozdiel 14 °C a pri 130 °C bol rozdiel až 17 °C. Z tohto pohľadu je neúčelné sušiť bukové rezivo hrúbky 32 mm kontaktným spôsobom sušenia teplotou nižšou ako 160 °C. Použitie nižších teplôt by bolo možné len na úkor predĺženia časov sušenia.

Počiatočná vlhkosť vzoriek bola približne rovnaká a nepresiahla bod nasýtenia vlákien. Ide teda o odstraňovanie vody viazanej. Pri použití najnižšej teploty 130 °C bolo rezivo vysušené na konečnú vlhkosť 12,06 %. Pri teplote 140 °C sa konečná vlhkosť ustálila na hodnote 10,96 %. Zvyšovaním teploty boli podľa našich predpokladov konečné vlhkosti ešte nižšie. Teplota 150 °C spôsobila vysušenie na hodnotu 6,20 % a pri najvyššej použitej teplote 160 °C bola konečná vlhkosť až 2,5 % (Obr. 4).

Pomocou kontaktného spôsobu sušenia je možné dosiahnuť veľmi nízke hodnoty konečnej vlhkosti, dokonca aj také hodnoty, ktoré pomocou iných známych priemyselne používaných spôsobov dosiahnuť je komplikované.

Napriek vysušeniu materiálu na nízku priemernú konečnú vlhkosť nemôžeme pri tak rýchlom sušení hovoriť o rovnomernom rozložení vlhkosti po priereze sušených vzoriek. Z údajov vlhkosti v strede a na povrchu vzoriek (Tab. 1 a 2) je zrejme, že pri teplotách nižších ako 160 °C nedošlo k významnému znižovaniu vlhkosti v strede sušených vzoriek. To svedčí o tom, že nenastalo dostatočné nahriatie vzoriek v ich strede. Hustota toku tepla z platní do sušených vzoriek nebola dostatočná. Je preto otáznne či je možné pri výpočte predpokladaného času sušenia použiť Furierovú metódu, resp. či súčinitele prestupu tepla sú správne.

Rôzna vlhkosť na priereze materiálu sa môže nepriaznivo prejaviť na konečnej kvalite reziva. So zvyšujúcou sa teplotou vlhkostný spád po sušení klesal, kvalita posudzovaná na základe vlhkostného spádu stúpala. Z tohto dôvodu len pri teplote 160 °C bola hodnota vlhkostného spádu prijateľná. Hodnoty vlhkostných spádov pri teplotách 130, 140 a 150 °C sú veľké (Obr. 5 a Tab. 2) a ukazujú, že čas sušenia pre uvedené teploty je krátky.

Zmena farby dreva pri pôsobení vysokej teploty je závislá od samotného zloženia drevnej hmoty a ako z výsledkov vyplýva aj od okamžitého podielu vody v dreve. Keďže v počiatkových fázach sušenia bol obsah vody v dreve nízky, farebná zmena zaznamenaná

pomocou color readera bola minimálna. Euklidovská vzdialenosť ΔE získaná z porovnania farby vzorky pred sušením a po sušení bola nízka (Tab. 3).

To znamená, že nízka počiatková vlhkosť sušených vzoriek spôsobila minimálnu zmenu farby jednotlivých vrstiev sušených vzoriek pri použití teplôt 130, 140, 150 a 160 °C.

ZÁVER

V tomto príspevku je analyzovaný vplyv teploty na proces kontaktného sušenia bukového dreva o hrúbke 32 mm pri konštantnom čase sušenia. Pri každej použitej teplote bol priebeh vlhkosti a teploty v dreve odlišný. Pri použití teplôt 130, 140 a 150 °C nedošlo k dostatočnému prehriatiu v strede vzoriek, čo malo za následok vznik veľkého vlhkového spádu na konci sušenia.

Ukázalo sa, že použitý čas sušenia 90 minút je pre tieto teploty nedostatočný. Pri teplote 160 °C nastalo dostatočné prehriatie stredu vzoriek a aj konečný vlhkovný spád je prijateľný. Priaznivá bola aj farebná zmena povrchu dreva pri tejto teplote v porovnaní s kontrolnou vzorkou. Dosiahnutá konečná vlhkosť pre jednotlivé teploty sušenia bola: 130 °C – 12.06 %, 140 °C – 10.96 %, 150 °C – 6.2 % a 160 °C – 2.5 %.

LITERATÚRA

- PATENT A/S JUNCKERS SAAVERK Koga-Dánsko. 1966. Kontaktné sušenie. Patentný spis č. 247590, vydaný dňa 10.06.1966.
- DZURENDA, L., DELIISKI, N. 2009. Matematický model výpočtu technicky zdôvodniteľnej normy spotreby tepla na sušenie reziva v komorovej sušiarňi. *Acta Facultatis Xylologiae Zvolen*, 51(2): 49–62 s. ISSN 1336-3824.
- HUNTER, R. S. 1948. Photoelectric Color Difference Meter. In *Proceedings of the Winter Meeting of the Optical Society of America, JOSA*. 1948, vol. 38, issue 7, pp. 651–651.
- CHEN, P. Y. S., BILTONEN, F. E. 1979. Effect of Prefreezing on Press-Drying of Black Walnut Heartwood. *Forest Product Journal*, 1979. 29(2): 48–51.
- KOBERLE, M., TREBULA, P. 1981. Merná spotreba energie pri sušení reziva a možnosti jej úspor. *Drevo*. 36(2): 31–33.
- SCHMIDT, J. 1967. Press Drying of Beechwood. *Forest Product Journal*, 1967. 17(9): 107–113.
- TREBULA, P. 1989. Kontaktné sušenie hrabového dreva. In *Zborník vedeckých prác drevárskej fakulty*. Zvolen: VŠLD, 1989/1. s. 175–183.
- TREBULA, P., KLEMENT, I. 2002. Sušenie a hydrotermická úprava dreva. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2002. 255 s. ISBN 80-228-1182-3.
- TREBULA, P., KLEMENT, I. 2000. Aplikácia kontaktného sušenia reziva v praxi. In *Súčasný stav a smery vývoja drevárskej vedy, technológie a ekonomiky*. Trenčín. 2000. s. 75–81. ISBN 80-228-0946-2.
- TREBULA, P., DEKRÉT, A. 1998. K niektorým problémom kontaktného sušenia dreva. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 1998. 56 s. ISBN 80-228-0804-2.

PodĎakovanie

Výsledky tejto práce boli dosiahnuté v rámci riešenia projektu VEGA 1/0231/08.

Adresa autorov

doc. Ing. Ivan Klement, CSc., Ing. Igor Balkovský, PhD., Ing. Pavol Smilek
Technická univerzita vo Zvolene
Drevárska fakulta
Katedra mechanickej technológie dreva
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
klement@vsld.tuzvo.sk

