

## STANOVENIE VLHKOSTI SMREKOVÉHO DREVA V PROCESE VYSOKOTEPLTNÉHO SUŠENIA

### DETERMINATION OF MOISTURE CONTENT IN SPRUCE WOOD DURING HIGH TEMPERATURE DRYING PROCESS

Matej Kivader – Ivan Klement

#### ABSTRAKT

The knowledge of instantaneous moisture content of wood in the process of its drying is one of important preconditions to economy drying process and to preserve the quality of dried wood. High temperature drying of wood is characterized by using of temperatures exceeding 100°C, which are currently in practice used methods of measuring moisture content of wood unusable or insufficiently precise. The aim of this study was to verify the possibility of determining moisture in the wood drying process from the temperature measured in his cross sections. Were used spruce samples of thickness 25 and 32 mm, slightly modified two-stage drying process with a temperature in the second phase of 150°C. Temperature of the cross-section of dried wood was measured by thermocouples, wood moisture content was determined after machining of samples gravimetrically. Analysis of the coefficients referred to diffusion and thermal conductivity was pointed out to 28-fold change between coefficients and therefore the impossibility of determining the moisture content of wood by this method. However, analysis of the linear sections of the wood temperature in the second phase of drying process was found a correlation between temperature and moisture content of wood and was influenced also by the thickness of dried wood

**Keywords:** high-temperature drying, moisture-temperature dependency of wood, measurement method.

#### ÚVOD

Vysokoteplotné sušenie dreva je definované ako spôsob sušenia, pri ktorom je teplota sušiaceho prostredia vyššia ako 100 °C (STN 49 0007, SÁNDOR 2006, OBATAYA 2006, TREBULA – KLEMENT 2005). Dochádza k intenzifikácii sušiaceho procesu a skráteniu celkového času sušenia v porovnaní s teplovzdušným komorovým sušením (PERRÉ 1999, KEYLWERTH 1952). Z ďalších výhod je možné spomenúť pokles rovnovážnej vlhkosti dreva či vyššiu odolnosť voči biotickým degradačným činiteľom (SÁNDOR 2006, FRÜHWALD 2007, KÄLLANDER 2007, BORREGA 2009, SEHLSTEDT – PERSON 2010). Nevýhodami sú pokles mechanických vlastností (STAMM 1956, KINIMONTH 1976, KÄLLANDER 2004 a 2007, FRÜHWALD 2007, MARKO 2008) i špecifické riadenie sušiaceho procesu.

Na rozdiel od krajín ako USA a Nový Zéland sa tento spôsob sušenia u nás prakticky nepoužíva. Uplatňuje sa len v spojitosti s technológiou termického zušľachtovania dreva, kde tvorí jednu z fáz samotného procesu jeho úpravy.

Z hľadiska rozvoja priemyslu a technológií sa kladie veľký dôraz na dosahovanie maximálnych kapacít a teda využitia technológií a zariadení. Kapacita sušiarne je daná jej rozmermi a teda je ju možné ovplyvniť pri kúpe. Ročnú kapacita sušiarne je následne možné ovplyvňovať už len časom samotného procesu sušenia, ktorý vysokoteplotný spôsob sušenia

významne skrakuje (KEYLWERTH 1952, PERRÉ 1999), čo vytvára predpoklad na jeho budúce uplatnenie.

Z pohľadu riadenia samotného sušiacieho procesu je podstatným problémom meranie vlhkosti prostredia ale najmä samotného sušeného dreva, čo je spôsobené špecifickými vlastnosťami sušiacieho prostredia v oblasti nad bodom varu vody a varom vody v sušenom dreve. Dnes známe metódy merania vlhkosti dreva preto nie je možné použiť, resp. ich presnosť nie je vyhovujúca. Samotný proces sušenia je tak riadený podľa časového režimu, kde zo skúsenosti z predošlých sušení je zvolený taký čas sušenia, pri ktorom sa očakáva dosiahnutie požadovanej konečnej vlhkosti. Často však dochádza k presušeniu či nedosušeniu dreva.

Cieľom tejto práce je stanoviť vlhkosť dreva počas sušiacieho procesu na základe zmeny teploty po jeho priereze vo fáze, kedy teplota sušiacieho prostredia je vyššia ako 100°C a potvrdiť tak predpoklad závislosti medzi teplotou a vlhkosťou dreva, ktorú vo svojich prácach popisujú ANANIN (1963), STANISH (1986), SHUSHENG (1995) a KÄLLANDER (2004). Ďalej stanoviť koeficienty teplotnej vodivosti a difúzie vlhkosti počas sušiacieho procesu, keďže predpokladom vyššie uvedenej závislosti zmeny teploty a vlhkosti je blízkosť hodnôt týchto koeficientov

## MATERIÁL A METODIKA

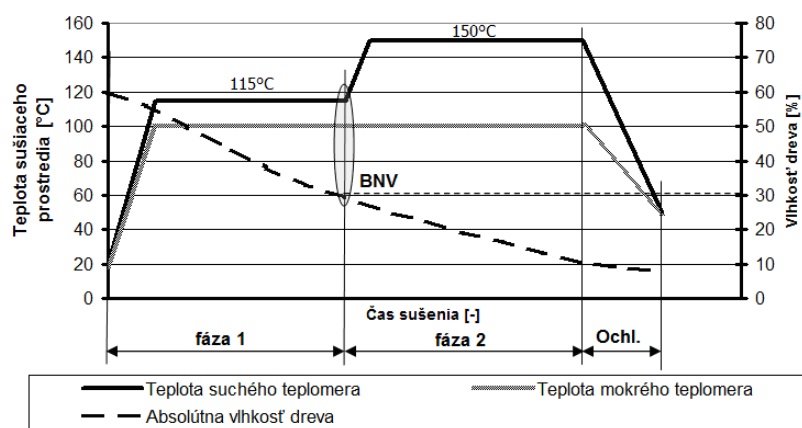
### Materiál

Materiálom použitým v experimente bolo smrekové drevo (*Picea abies* L.) pochádzajúce z poľsia Vysokoškolského lesníckeho podniku. Z výrezu o dĺžke 3 m a priemere cca. 45 cm boli vymanipulované vzorky s rozmermi 25 × 120 × 350 mm a 32 × 120 × 350 mm. Pre potreby samotného experimentu boli zvolené tangenciálne vzorky bez chýb. Ostatné vzorky boli využité na vyplnenie priestoru sušiarne.

Podľa STN 49 0108 bola stanovená priemerná hustota dreva v suchom stave 436 kg·m<sup>-3</sup>. Počiatočná vlhkosť dreva 70 až 73 % bola stanovená gravimetrickou metódou.

### Metóda

Sušenie prebiehalo v zariadení BINDER® FED240 podľa dvojfázového sušiacieho režimu (KÄLLANDER 2004), ktorý bol mierne modifikovaný v prvej fáze zvýšením teploty sušiacieho prostredia na 115 °C a bol zhodný s režimom, ktorý navrhol Viitaniemi (THERMOWOOD 2003) (obr. 1). Dôvodom modifikácie prvej fázy zvýšením teploty na 115°C bolo overiť existenciu javu, pri ktorom teplota v meranom mieste dreva neprekročí aj napriek vyššej teplote sušiacieho prostredia hodnotu bodu varu vody z dôvodu prítomnosti voľnej vody v tomto meranom mieste (NIJDAM *et al.* 2000, SHUSHENG 1995).

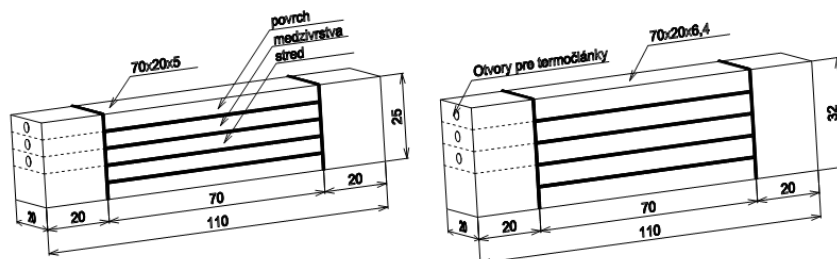


Obr. 1 Grafické znázornenie upraveného dvojfázového sušiacieho režimu.  
Fig. 1 Graphical representation of the modified two-stage drying schedule.

**Prvá fáza** sušenia bola založená na rýchlom ohreve vzoriek na teplotu 115 °C za intenzívneho vlhčenia, aby nedošlo k významnejšiemu úbytku vlhkosti dreva. Rýchlosť ohrevu bola prispôbena možnostiam vlhčenia tak, aby bol maximálny rozdiel medzi teplotou suchého a mokrého teplomeru v tejto fáze do 10 °C. Následne bola teplota udržiavaná na hodnote 115 °C až kým vlhkosť vzoriek dreva neklesla pod BNV. Následne sa v **druhej fáze** zvýšila teplota na 150 °C a sušiaci proces pokračoval až takmer do dosiahnutia požadovanej konečnej vlhkosti 8 %. Počas tejto fázy sušenia nebola zaznamenávaná teplota mokrého teplomeru, pretože jej samotné zaznamenávanie i interpretácia vo vzťahu k vlhkosti sušiaceho prostredia sú problematické. Pri **ochladzovaní** sušených vzoriek po procese sušenia bolo potrebné zohľadniť i mierne sušenie počas ochladzovania.

Boli vykonané dve série sušení, ktoré boli rozdielne iba hrúbkou sušeného dreva (25 a 32 mm).

Náplň sušiarne tvorilo 35 vzoriek, pričom k vlastnému experimentu boli použité 2 sušiacie vzorky, jedna vzorka v ktorej boli umiestnené termočlánky a približne 6 vzoriek, na ktorých sa určovalo rozloženie vlhkosti v jednotlivých vrstvách sušeného dreva (povrch, medzivrstva, stred) počas sušiaceho procesu. Vlhkosť jednotlivých vrstiev bola stanovovaná gravimetricky po rozmanipulovaní teliesok získaných zo vzoriek podľa obr. 2. Keďže sa predpokladá symetrické rozloženie vlhkosti a teploty od stredu k povrchu vzoriek, boli uvedené veličiny určované len na jednej strane symetrickej roviny.



**Obr. 2** Spôsob delenia vzoriek hrúbok 25 a 32 mm na určenie vlhkosti jednotlivých vrstiev a naznačenie pozície otvorov pre meranie teploty v ich priereze.

**Fig. 2** Partitioning of samples thicknesses 25 and 32 mm for the moisture content determination of the individual layers and an indication of holes position for temperature measurement in the cross section.

Na čelá všetkých vzoriek bol deň vopred nanesený silikónový tmel, aby sa zamedzilo unikaniu vlhkosti cez čelá a teda znížil vplyv malej dĺžky vzoriek.

Teplota v priereze vzoriek bola meraná termočlánkami typu T (meď – konštantán), ktoré boli umiestnené zodpovedajúco k stredom hrúbok jednotlivých vrstiev, na ktorých sa určovala vlhkosť. Termočlánky boli vložené do otvorov predvrtaných zboku vzorky do hĺbky približne 5 cm, pričom otvory boli utesnené silikónovým tmelom.

#### Stanovenie koeficientu difúzie vlhkosti a teplotnej vodivosti

Vzhľadom na nestacionárny proces vedenie tepla bol pre stanovenie **koeficientu teplotnej vodivosti** použitý vzťah (1) (BABIÁK *et al.* 1996)

$$\frac{\vartheta(x, \tau) - \vartheta_0}{\vartheta_\infty - \vartheta_0} = 1 - 2 \times \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \times \frac{2}{\pi} \times \exp\left[-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 a \tau}{4L^2}\right] \times \cos\frac{(2n+1)\pi x}{2L} \quad (1)$$

pri podmienkach konštantnej počiatočnej teploty dreva a okamžitej zmeny teploty povrchu po zmene teploty sušiaceho prostredia. V uvedenom vzťahu (1) je  $\vartheta_0$  počiatočná teplota vzorky [°C],  $\vartheta_\infty$  je teplota povrchov po zvýšení teploty,  $a$  je koeficient teplotnej vodivosti [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ],  $t$  je súradnica času [s] a  $L$  je polovica hrúbky telesa [m].

Iteračnou metódou bol nájdený taký koeficient teplotnej vodivosti, pri ktorom súčet štvorcov odchýlok medzi nameranými hodnotami a vypočítanými hodnotami teploty v danom

mieste a čase bol minimálny.

Výpočet **koefficientu difúzie** bol analogický koefficientu teplotnej vodivosti použitím vzťahu (2):

$$\frac{w(x, \tau) - w_0}{w_\infty - w_0} = 1 - 2 \times \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \times \frac{2}{\pi} \times \exp \left[ - \frac{(2n+1)^2 \pi^2 D \tau}{4L^2} \right] \times \cos \frac{(2n+1)\pi x}{2L} \quad (2)$$

kde  $w(x, \tau)$  je hodnota vlhkosti v meranom bode a čase,  $w_0$  je počiatočná vlhkosť vzorky a  $w_\infty$  je hodnota konečnej rovnovážnej vlhkosti dreva určená parametrami sušiaceho prostredia. Okrajovými podmienkami boli rovnaká počiatočná vlhkosť dreva a okamžité nadobudnutie rovnovážnej vlhkosti povrchovými vrstvami po zmene parametrov prostredia.

#### Regresná analýza

Bola použitá pre posúdenie relatívne lineárnych úsekov teplôt vrstiev a k nim prislúchajúcich vlhkosti po zvýšení teploty. Metódou najmenších štvorcov boli z jednotlivých párov údajov získané lineárne regresné funkcie.

## VÝSLEDKY

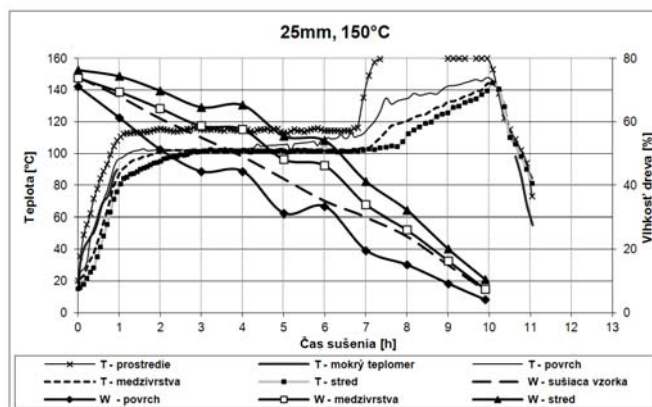
Základné charakteristiky samotného procesu sušenia sú uvedené v tab. 1. Skutočná teplota sušiaceho prostredia bola o 5 °C vyššia ako bola nastavená požadovaná teplota prostredia. Priemerná počiatočná vlhkosť vzoriek sa pohybovala v rozsahu 72 až 74 %. Dosažená konečná vlhkosť bola vyššia ako požadovaná (8 %), teda nepodarilo sa dostatočne odhadnúť koniec sušiaceho procesu a mieru vysušenia počas ochladzovania.

**Tab. 1 Základné charakteristiky sušiaceho procesu jednotlivých hrúbok.**

**Tab. 1 Basic characteristics of the drying process individual thicknesses.**

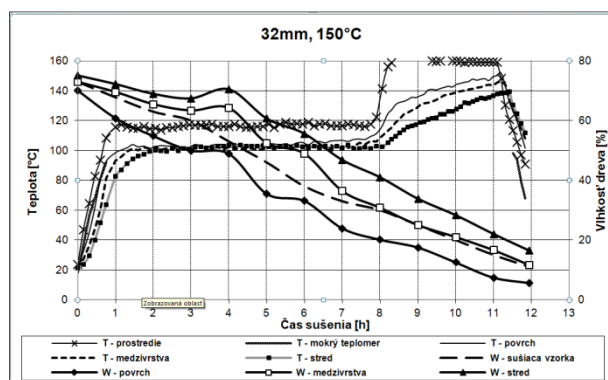
| Režim sušenia | Maximálna teplota sušiaceno prostredia [°C] | Priemerná vlhkosť materiálu [%] |         | Priemerná rýchlosť sušenia [kg·kg <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> ] | Čas sušenia [h] |
|---------------|---|---------------------------------|---------|--|-----------------|
|               |   | počiatočná                      | konečná |  |                 |
| 25 mm, 150 °C | 155   | 72                              | 7       | 0,066  | 9,9             |
| 32 mm, 150 °C | 155   | 74                              | 11      | 0,054  | 11,0            |

Na obr. 3 a obr. 4 sú uvedené priebehy teplôt (T) prostredia, priebeh teplôt v jednotlivých vrstvách dreva, teploty mokrého teplomeru, priebeh vlhkosti (W) sušiacej vzorky a priebehy vlhkostí jednotlivých vrstiev dreva. Priebehy teplôt a vlhkostí jednotlivých vrstiev boli následne použité pri stanovovaní koefficientov difúzie vlhkosti a teplotnej vodivosti, relatívne lineárne úseky teplôt vrstiev a k nim prislúchajúce vlhkosti po zvýšení teploty boli použité pre regresnú analýzu.



**Obr. 3 Priebeh teplôt a vlhkostí vo vrstvách v procese sušenia u hrúbky 25 mm.**

**Fig. 3 The course of temperatures and moisture in layers in the drying process of thickness 25 mm.**



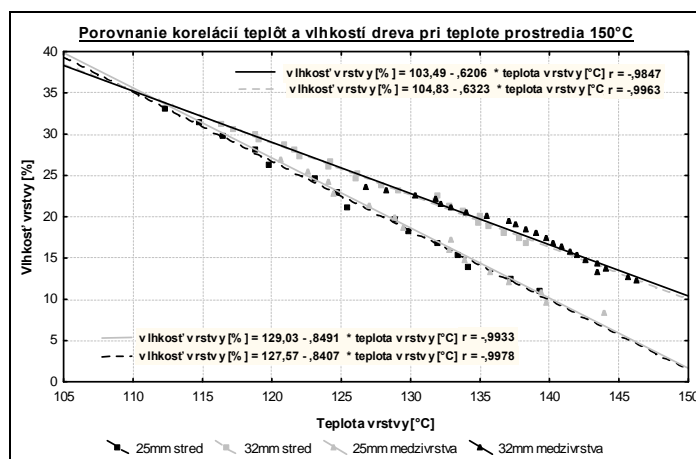
Obr. 4 Pribeh teplôt a vlhkostí vo vrstvách v procese sušenia u hrúbky 32 mm.  
 Fig. 4 The course of temperatures and moisture in layers in the drying process of thickness 32 mm.

Sumarizácia stanovených koeficientov difúzie vlhkosti a teploty a ich samotné porovnanie je uvedené v tab. 2. Zistený rozdiel medzi nimi je približne 28-násobný.

Tab. 2 Koeficienty difúzie vlhkosti a teplotnej difúzie oboch sérií a ich porovnanie.  
 Tab. 2 The coefficients of moisture diffusion and thermal diffusivity of both series and their comparison.

| Séria                           | Pozícia     | Hodnota koef. difúzie vlhkosti $\times 10^{-9}$<br>[ $m^2 \cdot s^{-1}$ ] | Hodnota koef. difúzie teploty $\times 10^{-9}$<br>[ $m^2 \cdot s^{-1}$ ] |
|---------------------------------|-------------|---|--|
| 25 mm,<br>150 °C                | Stred       | 2,40  | 80,0   |
|                                 | Medzivrstva | 1,70  | 68,0   |
|                                 | Povrch      | 1,90  | -  |
| 32 mm,<br>150 °C                | Stred       | 3,20  | 85,0   |
|                                 | Medzivrstva | 3,30  | 57,0   |
|                                 | Povrch      | 2,90  | -  |
| Priemerná hodnota               |             | 2,60  | 72,5   |
| Násobnosť rozdielu medzi koef.: |             | 28  |  |

Regresná analýza medzi vlhkosťou a teplotou jednotlivých vrstiev vrátane uvedenia regresných funkcií je zobrazená na obr. 5.



Obr. 5 Regresná analýza medzi teplotami vrstiev dreva a ich vlhkosťami.  
 Fig. 5 Regression analysis between temperatures of wood layers and their moistures.

## DISKUSIA

Sušiaci proces prebiehal podľa parametrov stanovených v metodike s mierne vyššou teplotou sušiaceho prostredia (155 °C). Ako je možné vidieť na obr. 3 a obr. 4, je v druhom úseku sušenia, teda po zvýšení teploty na hodnotu 150 °C, naznačená teplota vlhkého teplomera prerušovanou čiarou a to z dôvodu zachovania čitateľnosti grafu, pretože vplyvom teploty sa nepodarilo zachovať kontinuitu vlhčenia vlhkého teplomera a namerané hodnoty mali značný rozptyl a teda nízku výpovednú hodnotu.

Čas sušenia pre hrúbku 25 mm bol 9,9 h, pre hrúbku 32 mm 11 h.

Ako je možné vidieť z priebehu teplôt a vlhkostí vo vrstvách počas samotného procesu sušenia (obr. 3 a obr. 4), teplota príslušných vrstiev sa pohybovala okolo hodnoty 100 °C (bodu varu vody) až do okamihu, keď vlhkosť v danej vrstve neklesla pod oblasť BNV. Toto zistenie je v zhode so závermi a zisteniami KALLANDER (2004), SEHLSTEDT-PERSON (2010), NIJDAM (2000) a PANG-SHUSHENG (1995). Sledovaním teploty dreva v prvej fáze je možné zabrániť predčasnému spusteniu druhej fázy sušiaceho režimu, kedy vplyvom voľnej vody dochádza k nadmernému výskytu sušiacich chýb, resp. neskorému spusteniu tejto fázy, čím dôjde k predĺženiu času sušenia, zvýšeniu energetických nákladov a teda k zníženiu kapacity zariadenia a hospodárnosti sušiaceho procesu.

Zvýšením teploty na hodnotu 150 °C nastal (v prípade, že vlhkosť danej vrstvy bola pod oblasťou BNV) prudší nárast teploty danej vrstvy, avšak táto teplota nedosiahla hodnotu 150 °C, ale po určitom čase sa jej nárast ustálil a nadobudol relatívne lineárny charakter, čo súvisí s nadobúdaním termodynamickej rovnováhy. Údaje z týchto oblastí relatívne lineárneho priebehu teplôt vrstiev a im zodpovedajúceho priebehu vlhkostí boli použité na korelačnú analýzu. Oblasť s prudším nárastom bola použitá na stanovenie koeficientu teplotnej vodivosti.

Zo vzájomného priebehu vlhkostí sušiacich vzoriek a zmeny priebehu teplôt jednotlivých vrstiev dreva (obr. 3, obr. 4) v okamihu po zvýšení teploty prostredia na 150 °C je možné skonštatovať, že došlo k výraznej zmene teploty, avšak nedošlo k zmene priebehu vlhkosti skúmaných vrstiev ani sušiacej vzorky. Tento fakt hovorí v neprospech metódy merania vlhkosti dreva na základe zmeny jeho teploty.

Samotné porovnanie koeficientov difúzie vlhkosti a teplotnej vodivosti taktiež poukazuje v neprospech tejto metódy merania vlhkosti. Koeficient difúzie teploty má v priemere 28-násobne väčšiu hodnotu ako koeficient difúzie vlhkosti. Drevo má teda difúziu teploty nepomerne vyššiu a teda aj dynamika týchto procesov je rozdielna.

Zaujímavá je však oblasť relatívne lineárneho priebehu po jej náraste. Z údajov z týchto úsekov bola vyhotovená korelačná analýza (obr. 5), ktorá poukázala na významnú závislosť veličín. Je možné pozorovať takmer zhodné korelácie medzi stredom a medzivrstvou v rámci tej istej hrúbky. S narastaním hrúbky však dochádza k javu, kedy pri tej istej nameranej teplote je pri väčšej hrúbke vyššia vlhkosť v meranom bode. Teda pri konkrétnom druhu dreva je možné očakávať závislosť vlhkosti  $w$  od hrúbky materiálu  $h$  a meranej teploty  $\vartheta$  (3). Samozrejme je možné predpokladať i závislosť od ďalších parametrov sušiaceho prostredia (teplota, vlhkosť, ...) i vlastností sušeného dreva.

$$w = f(h, \vartheta) \quad (3)$$

Samotný jav „relatívne lineárneho zvyšovania teploty“ je možné objasniť procesmi prebiehajúcimi v dreve počas sušenia. Tok tepla je v smere od povrchu k stredu dreva, tok vlhkosti má však opačný smer. Vodná para je transportovaná k povrchu vplyvom rozdielu parciálneho tlaku pary medzi drevom a sušiacim prostredím, prípadne i vplyvom pretlaku ďalších plynov vo vnútorných vrstvách dreva. Pri tomto transporte pary k povrchu dochádza k odoberaniu tepla privádzaného „protismerne“ z vyšších vrstiev dreva, teda odchádzajúca para zvyšuje svoju teplotu na úkor tepla privádzaného v smere k stredu dreva, ktoré je spotrebované na zmenu skupenstva vody a ako sorpčné teplo. S klesajúcou vlhkosťou zároveň klesá súčiniteľ tepelnej vodivosti dreva  $\lambda$ , čo taktiež obmedzuje tok tepla. Teplota v dreve teda stúpa

pozvoľnejšie ako bez vplyvu pary a hodnotu teploty sušiaceho prostredia dosiahne vtedy, keď je množstvo odchádzajúcej pary malé, aby ovplyvnilo množstvo privádzaného tepla.

Dosiahnuté výsledky sú podnetom na ďalší výskum tejto metódy stanovovania vlhkosti dreva, najmä z pohľadu faktorov, ktoré ju ovplyvňujú.

## ZÁVER

Výsledky experimentu je možné zhrnúť nasledovne:

- existuje závislosť medzi stúpaním teploty dreva a klesaním jeho vlhkosti v meranom bode,
- závislosť je možné aplikovať pri vlhkosti dreva nižšej ako je bod nasýtenia vláken, a teplotu sušiaceho prostredia vyššej ako bod varu vody, teda v druhej fáze uvedeného režimu sušenia,
- závislosť nie je možné aplikovať okamžite po zvýšení teploty ale až po termodynamickom ustálení sústavy drevo – sušiace prostredie, prejavom čoho je pokles rýchlosti zvyšovania teploty dreva,
- faktorom ovplyvňujúcim túto závislosť v tomto experimente bola hrúbka dreva, ale predpokladá sa závislosť aj od ďalších vlastností dreva a parametrov sušiaceho prostredia,
- z hľadiska riadenia sušiaceho procesu je významný i jav udržiavania teploty dreva v oblasti 100 °C až do poklesu vlhkosti pod BNV.

## LITERATÚRA

- ANANIN, P. I., PETRI, V. N. 1963. Vysokotemperaturnaja suška drevesiny. Moskva: Goslesbumozdat. 1963, 127 s.
- BABIAK, M., KOMORA, F., JAVORSKÝ, F. 1996. Temperature profiles in wood. Drevársky výskum. 1996, 41(1): 3–14.
- BORREGA, M., KÄRENLAMPI, P. P. 2009. Hygroscopicity of heat-treated Norway spruce (*Picea abies*) wood. European Journal of Wood and Wood Products, 2010, 68(2): 233–235.
- FRÜHWALD, E. 2007. Effect of high-temperature drying on properties of Norway spruce and Larch. Holz Roh und Werkstoff. 2007, 65: 411–418.
- KALLANDER, B., BENGTSSON, CH. 2004. High Temperature drying of Norway Spruce: effects of elevated temperature on wood properties. [online] In COST E15 Conference, Athens, N.A.G.R.E.F., 22-24 April 2004. [cit. 2010.02.15]. Dostupné na internete: <<http://www1.uni-hamburg.de/cost/e15/papers/athens/19Kallander%20Bengtsson.pdf>>
- KALLANDER, B., LANDEL, P. 2007. Effects of treatment of small clearwood samples on equilibrium moisture content and deformation. [online] In COST E53 Conference – Quality Control for Wood and Wood Products, 15th – 17th October 2007, Warsaw, Poland. [cit. 2010.03.08]. Dostupné na internete: <http://www.coste53.net/downloads/Warsaw/Warsaw-presentation/COSTE53-ConferenceWarsaw-Presentation-Kallande.pdf>.
- KEYLWERTH, R. 1952. Hochtemperatur-Trockenanlagen. European Journal of Wood and Wood Products, 1952, 10(4): 134–138.
- KININMONTH, J. A. 1976. Effect of timber drying temperatures on subsequent moisture and dimensional changes. New Zealand Journal of Forest Science. 1976, č. 6.
- MARKO, P. 2008. Optimalizácia procesov vysokoteplotného sušenia bukového dreva. Doktorandská práca. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2008. 99 s.
- NIJAM, J. J., LANGRISH, T. A. G., KEEY, R. B. 2000. A high-temperature drying model for softwood timber. Chemical Engineering Science. 2000. 55: 3585–3598.
- OBATAYA, E *et al.* 2006. Effects of high temperature kiln drying on practical performance of japan cedar wood (*Cryptomeria japonica*) I: changes in hygroscopicity due to heating. Journal of Wood Science. 2006. 52(1): 33–38
- PERRÉ, P. 1999. How to Get a Relevant Material Model for Wood Drying Simulation?. [online]. In: COST ACTION E15 – Advances in drying of Wood, 1st Workgroup in Edingurgh. 13./14<sup>th</sup>, Oct 1999. [cit. 2010.03.10]. Dostupné na internete: < <http://www1.uni-hamburg.de/cost/e15/papers/edinburgh/edinburgh-paper0202.pdf>>.

- SÁNDOR, P *et al.* 2006. Effect of high temperature treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*). Wood Science Technologie, 2006. 40: 647–663.
- SEHLSTEDT-PERSSON, M. 2010. Wood drying process: impact on Scots pine lumber durability. Journal of Wood Science. 2010. 56(1): 25–32.
- SHUSHENG PANG, KEYEY R. B., LANGRISH T. A. G. 1995. Modelling the temperature profiles within boards during the high-temperature drying of *Pinus radiata* timber: the influence of airflow reversals. Journal Heat Mass Transfer. 1995. 38(2): 189–205.
- STANISH, M. A. *et al.* 1986. A mathematical model of drying for hygroscopic porous media. In: AIChE Journal. 1986. 32(8): 1301–1311.
- STAMM, A. J. 1956. Thermal Degradation of Wood and Cellulose. Forest Product Laboratory. 1956. 48(3): 413–417.
- THERMOWOOD, 2003. Thermowood Handbook. 8.4.2003. 66 s. [cit. 12.1.2012]. Dostupné na internete: [http://www.thermowood.fi/data.php/200312/795460200312311156\\_tw\\_handbook.pdf](http://www.thermowood.fi/data.php/200312/795460200312311156_tw_handbook.pdf).
- TREBULA, P., KLEMENT, I. 2005. Sušenie a hydrotermická úprava dreva. 2. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2005. 449 s. ISBN 80-228-1421-0.
- STN 49 0007. 1979. Názvoslovie v drevospracujúcom priemysle. Sušenie dreva. 1979

### **Pod'akovanie**

Autori ďakujú agentúre VEGA MŠVVŠ SR za finančnú podporu pri riešení projektu 1/0266/11, v rámci ktorého vznikol prezentovaný príspevok.

### **Adresa autorov**

Ing. Matej Kivader  
doc. Ing. Ivan Klement, CSc.  
Katedra mechanickej technológie dreva  
Drevárska fakulta technickej univerzity vo Zvolene  
T.G. Masaryka 24  
960 53 Zvolen  
Slovenská republika  
kivader@vsld.tuzvo.sk  
klement@vsld.tuzvo.sk