

ZMENY VYBRANÝCH MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ SMREKOVÉHO DREVA PRI VYSOKOTEPLTNOM SUŠENÍ

CHANGES OF SELECTED MECHANICAL PROPERTIES OF SPRUCE WOOD DURING THE HIGH-TEMPERATURE DRYING

Ivan Klement – Michaela Matušková

ABSTRACT

High-temperature drying of wood often causes the changes of properties during wood drying. It is necessary to characterize and to evaluate these changes by the considering of the next dried wood utilization. This article deals with the selected changes of mechanical properties of wood – strength of wood in bending, impact strength, static hardness and strength of wood in shearing after high-temperature drying process. Spruce was used as the testing sample. The main aim of this work was to analyze the influence of high temperatures (130 °C and 170 °C) as well as to analyze the influence of thickness of dried wood (30 mm a 50 mm) to the changes of selected mechanical properties. Results were evaluated by two-factor analysis of variance and they were compared with values mentioned in literature.

Key words: high-temperature drying, spruce, mechanical properties, moisture, temperature.

ÚVOD

Striedavé sušenie a vlhčenie (obzvlášť pri zvýšených teplotách) a periodický ohrev a ochladzovanie znižujú mechanické vlastnosti dreva. Zvýšenie teploty má za následok buď prechodné zmeny vlastností, čo je zapríčinené zmenou vnútorných energetických hladín, alebo zanecháva trvalé účinky, čo je spôsobené trvalou zmenou štruktúry dreva [10]. Je dôležité vedieť či vysušené drevo bude spĺňať požiadavky na jeho ďalšie využitie, preto je nutné zisťovať zmeny jeho mechanických vlastností po sušení.

Zisťovaním vplyvu teploty na mechanické vlastnosti sa zaoberali viacerí autori. Teischinger [12] porovnával tri druhy sušenia smreka (prírodné sušenie, nízкотеплотné a vysokотеплотné sušenie – 110 °C), vplyv na modul pevnosti v ohybe a húževnatosť, ktoré ukázali zníženie týchto vlastností so zvýšenou teplotou sušenia.

Bekhta a Nientz [2] uvádzajú redukciu pevnosti v ohybe do 50 % pre tepelne spracovaný smrek pri teplote 200 °C, oproti smreku sušenom pri teplote 100 °C.

Källander [4] uvádza zníženie pevnosti v ohybe a ťahu pre smrek sušený pri teplote 125 °C oproti smreku sušenom pri teplote 70 °C.

Schneider [9] ukázal, že najväčšia pevnosť v tlaku borovice sušenej medzi 130 °C a 180 °C bola znížená asi o 5 % a že najväčšia pevnosť v ohybe bola prevažne ovplyvnená vysúšaním, obzvlášť pri hrubšom rezive.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Pre experimentálne merania boli použité dve hrúbky smrekových skúšobných vzoriek 30 mm a 50 mm. Dĺžka vzoriek bola 350 mm a šírka 120 mm. Vzorky boli vyrezané z jedného smrekového výrezu dĺžky 3 metre tak, aby bol dodržaný rovnaký priebeh ročných kruhov a po sušení bolo možné vykonať skúšky mechanických vlastností podľa príslušných STN EN.

Z každej vzorky bola určená počiatočná vlhkosť a hustota. Následne boli vzorky zaradené do súborov tak, aby nebol veľký rozptyl uvedených vlastností. Priemerná hustota vzoriek bola 412 kg.m⁻³. Z dôvodu vyrovnania počiatočnej vlhkosti boli súbory vzoriek obidvoch hrúbok predsušené prirodzeným spôsobom. Priemerná počiatočná vlhkosť vzoriek pred samotným vysokoteplotným sušením bola 31 %.

Samotný proces vysokoteplotného sušenia prebiehal v laboratórnej sušiarňi APT: Line Serie FED s R3.1-regulátorom od firmy BINDER GmbH. Režim sušenia bol navrhnutý tak, aby bolo možné čo najpresnejšie analyzovať vplyv teploty sušenia a hrúbky sušeného dreva na zmenu sledovaných mechanických vlastností. Zároveň však bolo dôležité, aby nedošlo k neprimeranému poškodeniu sušených vzoriek vplyvom veľmi tvrdých podmienok sušenia. Preto na začiatku sušenia prebiehalo v sušiarňi intenzívne vlhčenie nasýtenou parou. Intenzita ohrevu v sušiarňi bolo rovnaká pri všetkých experimentoch, len teplota sušenia pri jednej skupine vzoriek bola 130 °C a pri druhej 170 °C. Nameraná konečná vlhkosť bola 8 %.

Po sušení a vychladnutí boli skúšobné vzorky klimatizované na 12 % vlhkosť a podľa príslušných noriem na nich boli vykonané skúšky na stanovenie mechanických vlastností.

Pevnosť dreva v ohybe kolmo na vlákna v tangenciálnom smere

Príprava skúšobných vzoriek a skúška pevnosti dreva v ohybe *kolmo na vlákna v tangenciálnom smere* bola zisťovaná podľa STN EN [11]. Ak otáčavý moment pôsobí na teleso kolmo k prierezu, vznikajú v dreve normálové a tangenciálne napätia spôsobujúce jeho zaťaženie buď pootočením prierezu, alebo ohybom. Keď sa dosiahne medza pevnosti, drevo sa zlomí. Ohybová pevnosť dreva závisí od rozmerov zaťažovaného telesa [6]. Skúšanie ohybových vlastností je dôležité najmä pre stavebné konštrukcie.

Rázová húževnatosť v ohybe

Na skúšanie *rázovej húževnatosti v ohybe* podľa STN EN [10] bolo použité Charpyho kladivo. Ak drevo rázovej sile vzdoruje, hovoríme, že je húževnaté. Také drevo je schopné absorbovať určitú prácu pri rázovom zaťažení. Vysoko húževnaté drevo vytvára vláknitý „strapatý“ zlom. Drevo s priemernými vlastnosťami vytvára najmä na ľahovej strane kratší vláknitý zlom. Krehké drevo má typický tupý, nevláknitý schodovitý zlom, ktorý vzniká náhle [6].

Statická tvrdosť podľa Janka

Tvrdosťou rozumieme schopnosť dreva klásť odpor proti vnikaniu iného telesa do jeho štruktúry. Tvrdosť dreva má význam pri opracúvaní reznými nástrojmi (pílenie, frézovanie, lúpanie atď.) a v tých prípadoch, keď sa drevo odiera (podlahy, drevené

mostnice a pod.). Pretože druh zaťaženia pri tvrdosti vyvoláva zložité stavy napätia, radíme ju do odvodených vlastností dreva [6].

Pevnosť dreva v šmyku

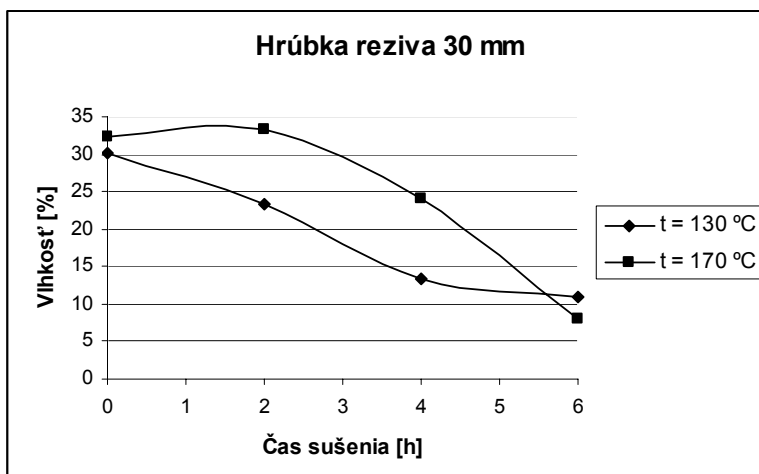
Na skúšobné teleso pôsobili dve rovnako veľké sily vyvolávajúce vzájomné posunutie dvoch susedných prierezov. Prierez sa posúva, drevo sa poruší šmyknutím [7].

VÝSLEDKY A DISKUSIA

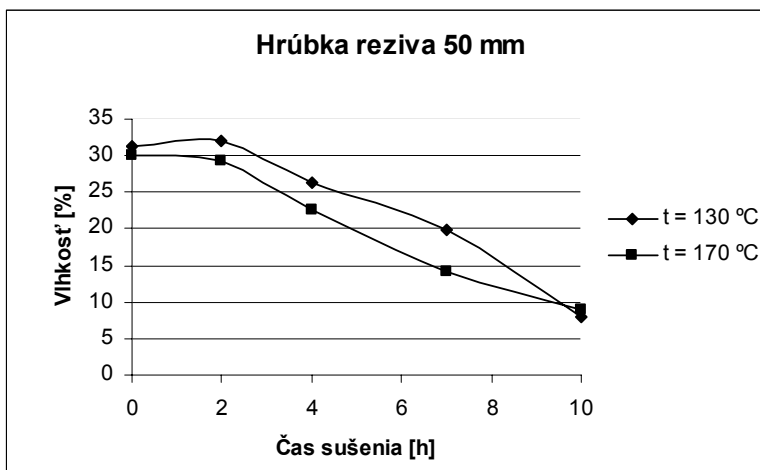
Krivky sušenia a čas sušenia

Na obrázkoch 1 a 2 sú znázornené krivky sušenia pre jednotlivé hrúbky a teploty sušenia. Je všeobecne známe, že použitie vyššej teploty skracuje čas sušenia. Pri porovnaní obr. 1 a obr. 2 vidíme, že pri $h = 30$ mm je čas sušenia kratší – 6 hod a so zväčšovaním hrúbky ($h = 50$ mm) sa čas sušenia predlžuje ($\tau = 10$ hod).

Z pohľadu jednej hrúbky reziva (obr. 1) boli pri priebehu vlhkosti pri vyššej teplote 170 °C zaznamenané vyššie hodnoty vlhkosti v začiatkoch sušenia, čo bol dôsledok intenzívneho procesu vlhčenia parou. V ďalšom úseku hodnoty klesali. Z obr. 2 pri hrúbke 50 mm je vidieť mierny nárast vlhkosti v prvom úseku sušenia pri obidvoch teplotách a následný pokles na konečnú hodnotu vlhkosti. Z priebehu kriviek sušenia je možné konštatovať, že priebeh úbytku vlhkosti pri teplotách 130 aj 170 °C bol veľmi podobný a nemal reálny vplyv na konečný čas sušenia pri rovnakej hrúbke vzoriek. Významný vplyv na čas sušenia mala hrúbka vzoriek.



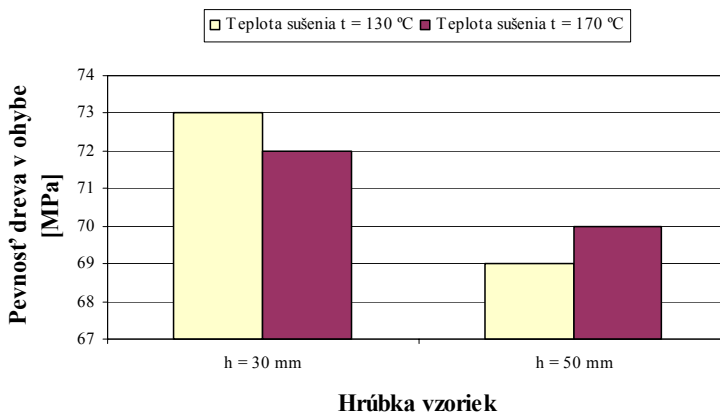
Obr. 1 Krivky sušenia pre hrúbku 30 mm
Fig. 1 Drying curves for thickness of 30 mm



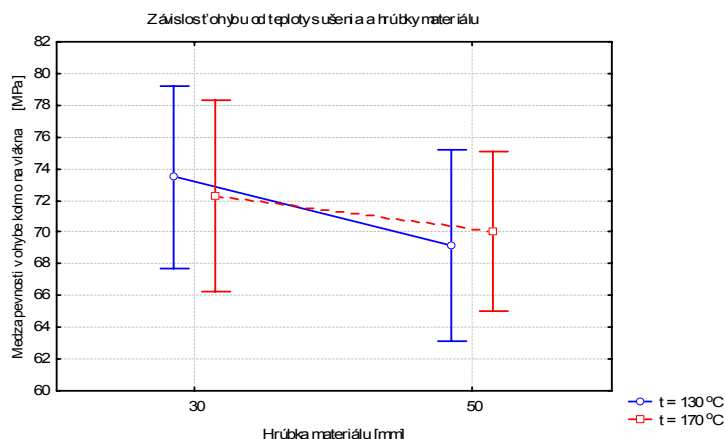
Obr. 2 Krivky sušenia pre hrúbku 50 mm
Fig. 2 Drying curves for thickness of 50 mm

Pevnosť dreva v ohybe kolmo na vlákna v tangenciálnom smere

Na obr. 3 sú znázornené namerané hodnoty pevnosti v ohybe kolmo na vlákna v tangenciálnom smere pre jednotlivé hrúbky vzoriek a teploty sušenia. Namerané hodnoty sú rôzne. Naznačujú, že vplyv vyššej teploty na zníženie pevnosti v ohybe sa potvrdil len pri hrúbke 30 mm a pri hrúbke vzoriek 50 mm to bolo opačné. Pri hodnotení významnosti pomocou dvojfaktorovej analýzy rozptylu vid'. obr. 4 sa však nepotvrdil štatisticky významný vplyv hrúbky vzorky ani použitej teploty na sledovanú vlastnosť. Ak porovnáme namerané hodnoty s hodnotami uvádzanými v literatúre (tab. 1), môžeme konštatovať, že vplyvom vysokoteplotného sušenia nedošlo k významnej zmene pevnosti ohybu kolmo na vlákna v tangenciálnom smere.



Obr. 3 Pevnosť dreva v ohybe kolmo na vlákna v tangenciálnom smere
Fig. 3 Strength of wood in bending perpendicular to the grains – tangential direction



Obr. 4 Dvojfaktorová analýza rozptylu – pevnosť dreva v ohybe
Fig. 4 Two-factor analysis of variance – strength of wood in bending

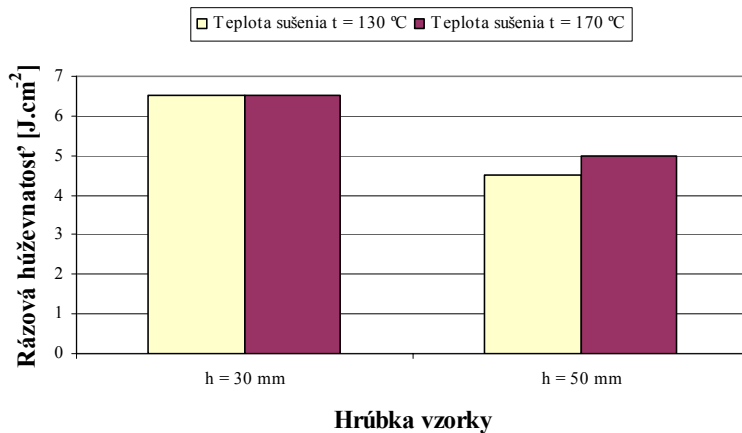
Tab. 1 Porovnanie vlastnosti

Tab. 1 Comparison of the property

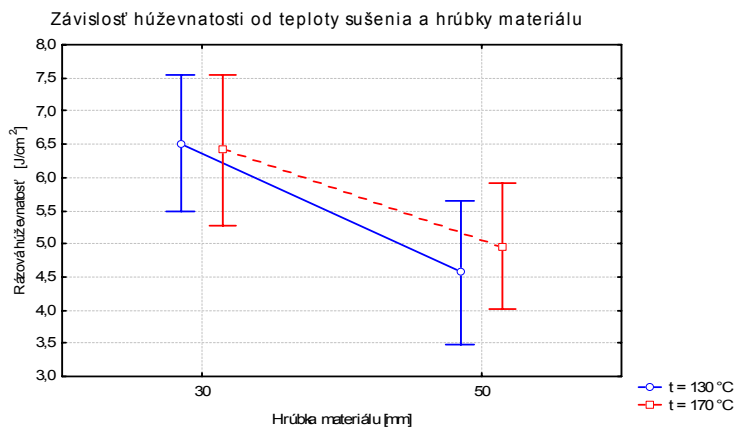
<i>Autor</i>	<i>Pevnosť dreva v ohybe kolmo na vlákna v tangenciálnom smere [MPa]</i>
<i>Lexa et al. (1952)</i>	66
<i>Požgaj et al. (1997)</i>	72,9
<i>Johansson (2005)</i>	79
<i>Nameraná priemerná hodnota</i>	71

Rázová húževnosť v ohybe

Hodnoty rázovej húževnatosti boli pri hrúbke 30 mm a teplotách 130 °C a 170 °C vyššie ako pri hrúbke 50 mm (obr. 5). Nami nameranú hodnotu môžeme porovnávať s hodnotami v literatúre (tab. 2), ktoré sú podobné. Obr. 6 ukazuje, že teplota bola pre rázovú húževnosť v ohybe štatisticky nevýznamná a hrúbka čiastočne ovplyvňuje húževnosť (je stredne štatisticky významná). Zlom telies bol po vykonaní skúšky ostrý a schodovitý čo značí, že materiál sa stal sušením krehký. Krehkosť mohol zapríčiniť sklon uhla vlákien k hranám telesa a čiastočné narušenie štruktúry teplotou.



Obr. 5 Rázová húževnatosť v ohybe
Fig. 5 Impact strength in bending



Obr. 6 Dvojfaktorová analýza rozptylu – rázová húževnatosť
Fig. 6 Two-factor analysis of variance – impact strength

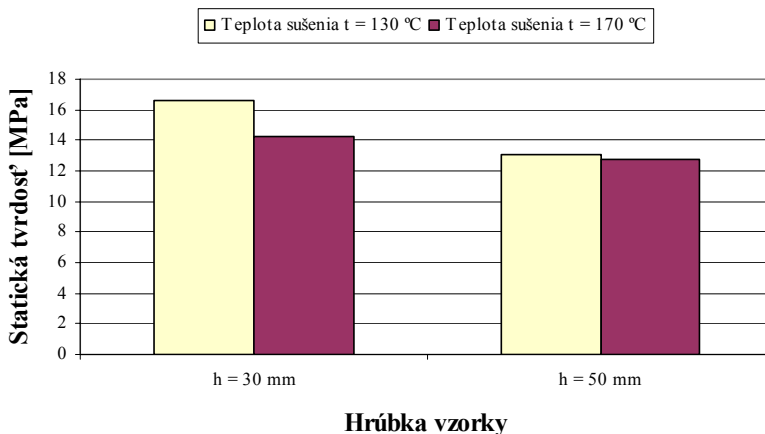
Tab. 2 Porovnanie vlastnosti

Tab. 2 Comparison of the property

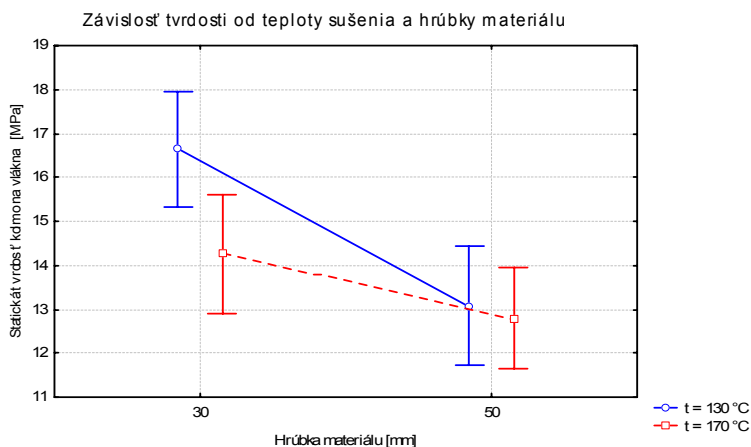
<i>Autor</i>	<i>Rázová húževnatosť [J/cm²]</i>
<i>Lexa et al. (1952)</i>	5
<i>Požgaj et al. (1997)</i>	5,8
<i>Nameraná priemerná hodnota</i>	5,6

Statická tvrdosť podľa J a n k a

Najvyššia tvrdosť bola nameraná pri $h = 30$ mm teplotách 130 °C a 170 °C (obr. 7). Vidíme, že hrúbka má významný vplyv na tvrdosť sušeného dreva. Hodnoty z literatúry (tab. 3) sú o niečo vyššie ako nameraná hodnota tvrdosti. Teplota má štatisticky málo významný vplyv, hrúbka má štatisticky veľmi významný vplyv na tvrdosť sušeného materiálu (obr. 8). Vplyv hrúbky na hodnotu tvrdosti môžeme vysvetliť zhusťovaním štruktúry počas sušenia, ktoré je väčšie pri tenších vzorkách.



Obr. 7 Statická tvrdosť
Fig. 7 Static hardness



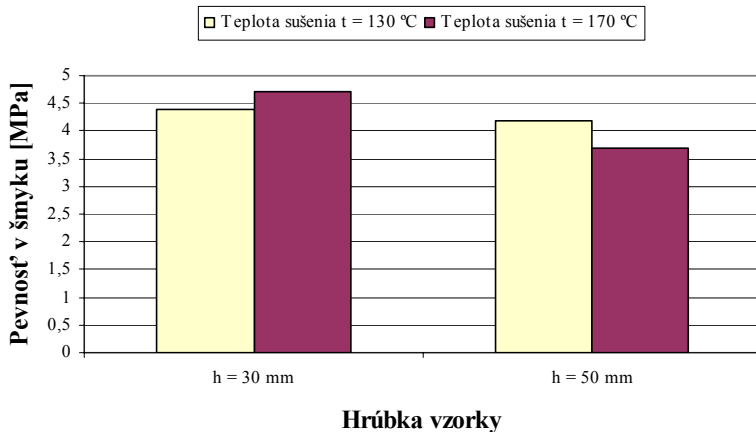
Obr. 8 Dvojfaktorová analýza rozptylu – tvrdosť
Fig. 8 Two-factor analysis of variance – hardness

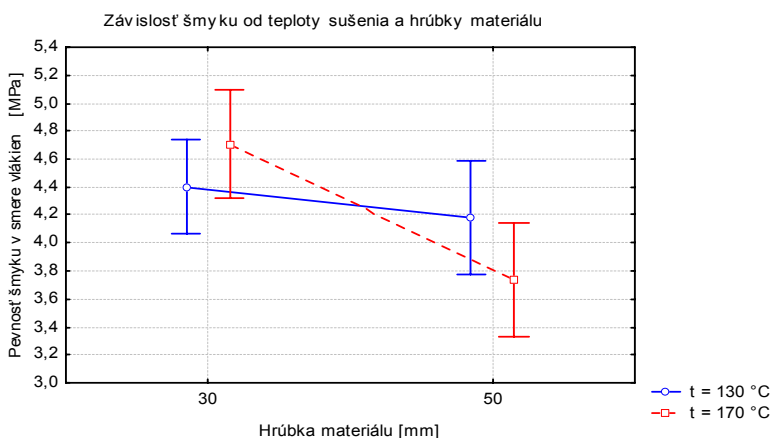
Tab. 3 Porovnanie vlastnosti**Tab. 3 Comparison of the property**

<i>Autor</i>	<i>Statická tvrdosť [MPa]</i>
<i>Požgaj et al. (1997)</i>	14,7
<i>Lexa et al. (1952)</i>	16
<i>Galewski – Korzeniowski (1958)</i>	16
<i>Nameraná priemerná hodnota</i>	14,2

Pevnosť dreva v šmyku pozdĺž vlákien

Skúmaná vlastnosť so stúpajúcou hrúbkou mierne klesá (obr. 9). Porušenie materiálu sa prejavilo len miernym posunutím vrstiev, no napriek tomu v porovnaní s literatúrou (tab. 4) šmyková pevnosť sušeného materiálu jednoznačne klesla. Vplyv teploty na hodnotu pevnosti v šmyku pozdĺž vlákien je štatisticky nevýznamný, hrúbka čiastočne ovplyvňuje hodnotu šmykovej pevnosti, t. j. je stredne štatisticky významná (obr. 10). Vzhľadom na relatívne krátky čas pôsobenia teploty na sušené vzorky môžeme predpokladať, že nedošlo k významnej degradácii dreva. To potvrdzuje aj to, že nenastalo oddelenie jednotlivých vrstiev dreva.

**Obr. 9 Pevnosť v šmyku****Fig. 9 Shearing strength**



Obr. 10 Dvojfaktorová analýza rozptylu – šmyk
Fig. 10 Two-factor analysis of variance – shearing

Tab. 4 Porovnanie vlastnosti

Tab. 4 Comparison of the property

<i>Autor</i>	<i>Pevnosť v šmyku [MPa]</i>
<i>Nemec (1939)</i>	5
<i>Požgaj et al. (1997)</i>	6,7
<i>Lexa et al. (1952)</i>	6,7
<i>Nameraná priemerná hodnota</i>	4,3

ZÁVER

Zistené výsledky ukázali, že pri pevnosti dreva v ohybe kolmo na vlákna v tangenciálnom smere nedošlo k štatisticky významnej zmene medzi použitými teplotami sušenia ani vplyvom rozdielnych hrúbok vzoriek. Obdobné výsledky boli namerané aj pri rázovej húževnatosti. Štatisticky významný rozdiel sa potvrdil pri statickej tvrdości, kde u hrubších vzoriek bol zaznamenaný pokles tvrdości. Významný rozdiel medzi použitými teplotami sušenia bol zistený pri pevnosti v šmyku pozdĺž vlákien, kde pri teplote 170 °C došlo k zníženiu tejto vlastnosti v porovnaní s teplotou 130 °C.

Celkove však možno povedať, že nenastala významná zmena sledovaných mechanických vlastností smrekového dreva medzi použitými teplotami sušenia a v porovnaní s hodnotami uvádzanými v literatúre. Dá sa to odôvodniť relatívne krátkym časom pôsobenia zvýšených teplôt pri sušení. Preto nedošlo k významnému porušeniu štruktúry dreva.

LITERATÚRA

1. GALEWSKI, W. – KORZENIOWSKI, A.: Atlas najwazniejszych gatunków drewna. Warszawa: Panstwowe wydawnictwo rolnicze i lesne, 1958. s. 28.
2. BEKHTA, P. – NIEMZ, P.: Effect of High Temperature on the Change in Color, Dimensional Stability and Mechanical Properties of Spruce Wood. 2003. *Holzforschung* Vol.57:539–546.
3. JOHANSSON, D.: DRYING AND HEAT TREATMENT OF WOOD: INFLUENCES ON INTERNAL CHECKING. 3RD NORDIC DRYING CONFERENCE, KARLSTAD, SWEDEN, 2005.
4. KÄLLANDER, B. – BENGTESSON, C. – DAHLBERG, J.: Reduction of strength but not stiffness of Norway spruce planks dried at 125°C as compared to 70°C. Proceedings 3rd Workshop on SOFTWOOD DRYING TO SPECIFIC END-USES, Helsinki, 11–13 June, 2001.
5. LEXA, J. et al.: Mechanické a fyzikálne vlastnosti dreva. I.zv. Tab. 4. *Technologie dreva*, ROH Bratislava, 1952. 355 s.
6. POŽGAJ, A. et al.: Štruktúra a vlastnosti dreva. 2 vyd. Bratislava: Príroda, 1997. 488 s. ISBN 80-07-00960-4
7. POŽGAJ, A.: Metódy zisťovania mechanických vlastností dreva a drevných veľkoplošných kompozitných materiálov. Zvolen: VŠLD, 1987. 167 s.
8. SEHLSTEDT – PERSSON, M.: The effect of extractive content on moisture diffusion properties for Scots pine and Norway spruce. COST Action E15 Advances in the drying of wood (1999–2003). Proceedings 3rd Workshop on SOFTWOOD DRYING TO SPECIFIC END-USES, Helsinki, 11-13 June, 2001.
9. SCHNEIDER, A.: Investigations on the convection drying of lumber at extremely high temperatures. Part II: Drying degrade, changes in sorption, colour and strength of pine sapwood and beechwood at drying temperatures from 110 to 180°C. *Holz als Roh- und Werkstoff* 31, 1973. 198–206.
10. STN 49 0103. Drevo. Zisťovanie vlhkosti pri fyzikálnych a mechanických skúškach.
11. STN 49 0115. Drevo. Zisťovanie medze pevnosti v statickom ohybe. 1979.
12. TEISCHINGER, A.: Effect of different drying temperatures on selected physical wood properties. Proceedings 3rd IUFRO international wood drying conference, Vienna, Austria, Aug., 1992. 18–21.
13. TREBULA, P. – KLEMENT, I.: Sušenie a hydrotermická úprava dreva. II. vyd. Zvolen: TU vo Zvolene, 2005. 449 s. ISBN 80-228-1421-0

SUMMARY

Measured values showed that no significant difference was found between used drying temperatures at different thickness of samples in bending strength of wood perpendicularly to the grain at tangential direction. The same results were obtained for impact toughness. Statistically significant difference was confirmed for static hardness. It was noticed the reduction of hardness in samples of higher thickness. Significant difference was determined between used drying temperatures in shear strength measured along the grain direction. Results indicate a decrease in shear strength at temperature 170 °C in comparison with temperature 130 °C.

To sum up we can say that no significant difference of monitored mechanical properties of spruce wood was found between used drying temperatures and values mentioned in literature. The reason is relatively short time of the effect of risen temperatures during drying. For that reason the structure of wood was not damaged significantly.

Pod'akovanie

Autori ďakujú agentúre VEGA MŠ SR za finančnú podporu pri riešení projektu číslo 1/0231/08, v rámci ktorého vznikol prezentovaný príspevok.

Adresa autorov:

Doc. Ing. Ivan Klement, CSc.
Ing. Michaela Matušková
Katedra mechanickej technológie dreva
Drevárska fakulta Technickej univerzity vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
Slovensko
klement@vsld.tuzvo.sk
matuskovam@centrum.sk