PROPUSTNOST MIKROVLNNĚ MODIFIKOVANÉHO SMRKOVÉHO DŘEVA PRO DESTILOVANOU VODU

L. Merenda, J. Holan

Došlo: 14. srpna 2007

Abstract

MERENDA, L., HOLAN, J.: *The permeability of microwave treated wood for distilled water*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2008, LVI, No. 1, pp. 137–142

Permeability of wood is a wood property which strongly affects a process of drying wood, as well as steaming, boiling and wood impregnation. The low permeability of the most industry treated wood causes investigating the ways which increase the permeability of wood. The one of the considered methods is drying of wood with the aid microwave radiation which causes rotation and friction of water molecules, thus the temperature and the pressure inside the wood are growing up. As a result of raised pressure are cracked cell walls which makes the wood structure more permeable in transverse direction, but in longitudinal direction the wood specimens treated with microwave radiation don't analyse differences in the permeability in comparison with unmodified wood.

Picea abies L., permeability of wood, microwave radiation, microwave heating

Propustnost dřeva je velmi variabilní veličinou v závislosti na struktuře dřeva, především na počtu a velikosti vodivých elementů. Pro jehličnaté dřeviny je propustnost dána počtem a poloměrem dvojteček (Požgaj a kol., 1993). Velmi nízká propustnost jehličnatých dřevin způsobuje problémy během procesů, jakými jsou prodloužení sušicího času, prodražení sušících procesů, problémy s pařením, vařením a potíže s impregnací ochranných látek do dřeva (Kurjatko a kol., 1998).

Ohřev dřeva pomocí mikrovln je speciálním případem dielektrického ohřevu. V poli mikrovlnného záření se ohřívají pouze polární molekuly, tzn. molekuly s asymetrickým rozložením elektrických nábojů. Takovými molekulami jsou především molekuly vody, které dřevo obsahuje ve formě vody vázané a volné. Ostatní molekuly na mikrovlny nereagují. Ve střídavém elektromagnetickém poli se molekuly vody natáčejí ve směru vektoru intenzity elektrického pole (Torgovnikov, 1993). Rotací molekul dochází k mezimolekulárnímu tření a ke vzniku hystereze mezi působícím vnějším polem a odezvou indukované elektrické energie vlivem setrvačnosti (Merenda, 2006). Tímto se molekuly vody zahřívají.

Intenzivní ohřev molekul vody má za následek vypařování vody a nárůst tlaku páry uvnitř

dřeva. Vzhledem k tomu, že pevnost dřeva v tahu je o 10–50 % nižší v tangenciálním směru než ve směru radiálním (Šlezingerová a kol., 1998) a tloušťka buněčných stěn parenchymatických buněk je nejmenší ze všech elementů dřeva, dochází k destrukci a popraskání stěn těchto elementů. Tím se zvyšuje propustnost dřeva v radiálním směru. Při zvýšení tlaku uvnitř vláknitých elementů smrkového dřeva také dochází k vychýlení torusů a uzavření vodivých cest ve formě dvojteček, navíc dochází ke změkčení pryskyřice a jejímu pohybu uvnitř struktury dřeva. Jak tyto děje ovlivňují propustnost dřeva pro kapaliny ve směru rovnoběžném se směrem vláken, je předmětem předkládané práce.

MATERIÁL A METODIKA

Zkušební vzorky byly zhotoveny ze smrkového dřeva (*Picea abies* L.) o rozměrech 20×20×150 mm s rovnoběžným průběhem vláken. Úhel odklonu vláken od podélné osy vzorků byl volen do 10°. Procentické zastoupení jarního a letního dřeva v jednotlivých letokruzích bylo přibližně shodné. 24 vzorků bylo rozděleno do čtyř skupin. První skupina sloužila jako referenční, která se dále nemodifikovala. Druhá skupina se klimatizovala na vlhkost

9 %, třetí skupina na vlhkost odpovídající bodu nasycení vláken buněčných stěn (33 %) a čtvrtá skupina se klimatizovala na vlhkost 95 %. Vlhkosti 9 % bylo dosaženo v neklimatizované místnosti, kdy se vlhkost vzorků zjišťovala gravimetrickou metodou. Vlhkosti 33 % bylo dosaženo umístěním vzorků nad hladinu vody do vzduchotěsného exikátoru, kde při relativní vlhkosti vzduchu 100 % a teplotě prostředí 21 °C bylo dosaženo vlhkosti odpovídající bodu nasycení buněčných stěn. Konečné vlhkosti čtvrté skupiny vzorků bylo dosaženo jejich máčením ve vodě. Tato vlhkost odpovídala 95 % vlhkosti.

Druhá, třetí a čtvrtá skupina byly vysušeny pomocí elektromagnetického záření mikrovlnného pásma. K tomuto účelu byla použita mikrovlnná trouba Sencor SMW 7223. Elektromagnetické záření o výkonu 900 W, 2450 MHz bylo aplikováno periodicky. Po dobu 15 s byly vzorky vystaveny mikrovlnnému záření, následujících 15 s byl magnetron mikrovlnné trouby vyřazen z provozu, v činnosti byl ponechán pouze ventilátor vytvářející nucené proudění vzduchu uvnitř komory mikrovlnné trouby a otočný talíř. Celý tento proces se opakoval 180 s. Každá skupina vzorků byla uložena na 2 cm vysoké distanční podložky umístěné na otočném stole. Stůl rotoval po celou dobu sušícího procesu, aby se co nejvíce eliminovala nerovnoměrnost rozložení výkonové hustoty v pracovním prostoru mikrovlnné trouby.

Po vysušení byly vzorky klimatizovány na rovnoměrnou vlhkost odpovídající relativní vlhkosti vzduchu (65 %) při pokojové teplotě (21 °C).

Ze vzorků byla odřezána čela v délce 10 mm (vzhledem k eliminaci čelních trhlin). Následně byly jednotlivé vzorky rozděleny na osm stejných částí. Po rozdělení vznikly zkušební vzorky o velikosti 20×20×10 mm. Na několika vzorcích se vyskytly defekty ve formě trhlinek a barevných změn. Tyto vzorky byly z následných zkoušek vyloučeny.

Vzorky bez vad číslo 2, 3 a 6, 7 (číslováno postupně po délce vzorku) byly použity pro měření propust-

nosti na speciálním zařízení tak, aby v každé ze čtyř skupin bylo 30 vzorků.

ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ

Provoz speciálního zkušebního zařízení vytvořeného pro účely měření propustnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva je následující.

Zkušební vzorky se upnou mezi výškově stavitelný pracovní stůl (9) a trysku (7), přes kterou se následně pustí destilovaná voda protékající zkušebním vzorkem do odměrného válce (10; Obr.1). Ten je umístěn pod pracovním stolem.

Tlak destilované vody se vyvozuje kompresorem (1; Obr.1). Při měření propustnosti dřeva smrku byla velikost tlaku zvolena 160 kPa, stopky byly spuštěny při průtoku první kapky přes zkušební vzorek do odměrného válce. Čas průtoku byl měřen do doby průtoku 10 ml destilované vody přes vzorek.

Hodnota specifického koeficientu propustnosti K [m²] byla pro každý vzorek determinována pomocí rovnice (Požgaj a kol., 1993) ve tvaru:

$$K = \frac{V \times \eta \times L}{t \times S \times \Delta p},$$

kde:

K = specifický koeficient propustnosti pro kapaliny [m²]

V = objem protečené kapaliny [m³]

η = dynamická viskozita kapaliny [10⁻³ Pa.s]

L = délka vzorku [m]

t = čas průtoku stanoveného množství kapaliny [s]

S = plocha trysky (plocha toku) [m²]

Δp = rozdíl tlaků mezi konci zkušebního tělesa [Pa].

VÝSLEDKY

Hodnoty specifických koeficientů propustnosti pro všechny čtyři skupiny zkušebních vzorků byly statisticky vyhodnoceny. Popisná statistika uvedená v Tab. I poskytuje základní představu o výběrových souborech dat.

I: Popisná statistika výběrových souborů koeficientů propustnosti SM dřeva

SM	Počet vzorků	Střední hodnota [m ²]	Medián [m ²]	Min. [m ²]	Max. [m ²]	25 % Kvantil [m ²]	75 % Kvantil [m ²]	Směr. odchylka [m ²]
1. Referenční skupina	30	2,93E-14	2,86E-14	7,25E-15	6,40E-14	1,94E-14	3,79E-14	1,41E-14
2. skupina, vlhkost 9 %	30	2,02E-14	1,46E-14	2,95E-15	5,01E-14	1,11E-14	2,68E-14	1,37E-14
3. skupina, vlhkost 33 %	30	2,58E-14	1,94E-14	2,33E-15	6,71E-14	1,18E-14	3,70E-14	1,91E-14
4. skupina, vlhkost 95 %	30	2,03E-14	1,92E-14	2,54E-15	5,32E-14	9,95E-15	2,70E-14	1,19E-14

Medián uvedený v Tab. I a graficky znázorněn na Obr. 2 ukazuje rozdílné hodnoty pro všechny čtyři skupiny zkušebních vzorků. Medián specifického koeficientu propustnosti K referenční skupiny vzorků smrkového dřeva je $2,86 \cdot 10^{-14}$ m². Je patrné,

že medián skupiny mikrovlnně nemodifikovaných vzorků je vyšší než u ostatních třech skupin vzorků upravených pomocí elektromagnetického záření mikrovlnného pásma. Medián specifického koeficientu propustnosti K mikrovlnně upravených vzorků

1: Schematické znázornění zkušebního zařízení

smrkového dřeva o vlhkosti 9 % je $1,46 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$. Hodnota mediánu K mikrovlnně upravených vzorků smrkového dřeva o vlhkosti na bodu nasycení vláken (33 %) je $1,94 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$ a medián specifického koeficientu K pro čtvrtou skupinu mikrovlnně modifikovaných vzorků smrkového dřeva o vlhkosti 95 % je $1,92 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$. Variabilita souborů vyjádřena směrodatnou odchylkou (Tab. I) a rozptyl hodnot výběrových souborů (Obr. 2) vykazují podobnou charakteristiku všech čtyř posuzovaných skupin vzorků. Obsah vlhkosti nezpůsobil znatelné změny v propustnosti smrkového dřeva ve směru podél vláken.

DISKUSE

Umístěním vzorků dřeva do pole mikrovlnného záření nastává polarizace dipólových molekul v něm obsažených. V závislosti na obsahu vody volné a vázané se mění i velikost polarizace molekul ve dřevě. Mikrovlnné záření produkované většinou průmyslově vyráběných mikrovlnných trub má frekvenci 2450 MHz. Při této frekvenci molekuly vody nejvíce absorbují mikrovlnného záření. Čím větší je zmiňovaný obsah vody ve dřevě, tím více dochází k absorpci elektromagnetické energie mikrovlnného pásma, zvyšuje se ztrátový činitel dřeva. Tímto dochází k intenzivnějšímu vývinu tepla uvnitř dřeva. Dá se předpokládat, že na obsahu vlhkosti závisí hodnota specifického koeficientu propustnosti. V našem případě aplikace 15 s ohřevu a 15 s přeru-

šeného ohřevu, kde jsme eliminovali nehomogenitu ohřevu v průřezu materiálu a rozdíly vlivu směru vektoru intenzity elektrického pole na směr vláken, došlo ke snížení vlivu obsahu vlhkosti na výslednou velikost propustnosti jehličnatého dřeva. Minimální rozdíly mezi jednotlivými skupinami zkušebních vzorků jsou dány nejednotnou mikrostrukturou a složením jednotlivých vzorků.

Stavba dřeva je dalším limitujícím faktorem ovlivňující specifický koeficient propustnosti pro kapalinu. Vodivost jehličnatého dřeva ve směru podél vláken je dána průchodností dvůrkatých ztenčenin tracheid. Prudký nárůst teploty vody volné v lumenech tracheid a vody vázané v buněčných stěnách způsobí nárůst jejich objemu, tvorbu páry a zvýšení jejího tlaku, jejichž následkem dochází k vychýlení torusů a trvalému uzavření porusů.

Ve směru napříč vláken zvýšení tlaku vody vázané v buněčných stěnách parenchymatických buněk způsobí překročení hodnot jejich mezí pevnosti a následně popraskání buněk a tím dochází k několikanásobně větší propustnosti jehličnatého dřeva ve směru napříč vláken. Naproti tomu, uzavření dvojteček způsobí snížení propustnosti ve směru podél vláken. Listnaté dřeviny mají odlišnou stavbu a nárůst teploty a objemu vody uvnitř parenchymatických buněk způsobí jejich popraskání, čímž se sníží rozsah zathylování cév a zvýší se tím propustnost ve směru podél vláken.

2: Krabicové grafy specifického koeficientu propustnosti nemodifikovaných a mikrovlnně modifikovaných skupin vzorků SM dřeva

SOUHRN

Závěrem lze konstatovat, že ohřevem dřeva pomocí mikrovlnného záření se mnohonásobně zvýší propustnost ve směru napříč vlákny. Dojde ke zvýšení propustnosti pro kapaliny u smrků ztepilého (*Picea Abies* L.) ve směru napříč vlákny. Ve směru podél vláken dojde ke snížení propustnosti. Avšak tento pokles není nijak významný k širšímu využití v průmyslu. Aplikace diskontinuálního mikrovlnného záření na dřevo za účelem dosažení rovnoměrnosti ohřevu celého objemu dřeva nemá zásadní vliv na změnu propustnosti s ohledem na různý obsah vlhkosti materiálu.

propustnost dřeva, mikrovlnné záření, mikrovlnný ohřev

SUMMARY

Heating of wood with the aid of microwave energy causes multiple rising of wood permeability in transversal direction. The microwave energy causes rising of permeability of Spruce wood (*Picea Abies* L.) in transversal direction. Despite this the microwave heating of spruce wood leads to decrease of permeability in longitudinal direction, but this change is not significant for utilization in industry. Application of discontinuous microwave radiation for the reason of wood heating in its whole volume considerably doesn't affect the wood permeability in transversal direction regarding different moisture content of the wood.

Práce byla podporována ze zdrojů výzkumného záměru MSM 6215648902. Děkujeme Katedře nauky o dreve Technickej univerzity vo Zvolene za možnost využití jejich přístroje na měření propustnosti dřeva pro kapaliny.

LITERATURA

- BABIAK, M., HUDEC, J., 1998: The permeability of horn-beam wood evaluated by different methods. Wood structure and properties, Arbora publishers, Zvolen, s. 71–75. ISBN 80-967088-4-8
- KURJATKO, S., ČUNDERLÍK, I., HUDEC, J., 1998: The morphometric characteristic of wood structure in relation to its permeability. Wood structure and properties, Arbora publishers, Zvolen, s. 75–79. ISBN 80-967088-4-8
- MAKOVINY, I., 1998: Dielectric properties of some hardwood. Wood structure and properties. Arbora publishers, Zvolen, s. 139–145. ISBN 80-967088-4-8
- MERENDA, L., 2006: Varianty využití multifunkčního experimentálního autoklávu. Diplomová práce, MZLU Brno, s. 16–19
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M., 1993: Štruktúra a vlastnosti dřeva. Příroda a. s., Bratislava, 488 s. ISBN 80-0700600-1
- SIAU, J. F., 1995: Wood: Influence of moisture content on physical properties. Virginia Polytechnic Institute and State University, New York. 230 s.
- ŠLEZINGEROVÁ, J., HORÁČEK, P., GANDELOVÁ, L., 1998: Nauka o dřevě. MZLU Brno. 184 s. ISBN 80-7157-194-6
- TORGOVNIKOV, G., 1993: Dielectric properties of wood and wood-based materials. Springer-Verlag, Berlín, 196 s. ISBN 3-540-55394-0
- TORGOVNIKOV, G., VINDEN, P., 2006: Microwave method for increasing the permeability of wood and its applications. Springer, Berlín, s. 303–311, ISBN 978-3-540-32944-2

Adresa

Ing. Lukáš Merenda, Ing. Jiří Holan, Ph.D., Ústav nauky o dřevě, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika