

IMPREGNOVATEĽNOSŤ SMREKOVÉHO DREVA PO ÚPRAVE MIKROVLNAMI

IMPREGNABILITY OF SPRUCE WOOD AFTER ITS TREATMENT WITH MICROWAVES

Ladislav Reinprecht – Marek Rešetka – Ivan Makovíny

ABSTRAKT

Microwave (MW) treatment of refractory wood species is an interesting method for improving of their impregnability due to development of cracks or small checks and destruction of bordered pits.

This work deals with testing of various parameters of MW treatments of green or additionally wetted Norway spruce (*Picea abies*) sapwood samples on their impregnability. Microwave irradiation (2.45 GHz, 500 W) performed in 1 or 2 cycles during 2–24 minutes dried the spruce samples from their high moistures 160–195 % (green samples) or 80–90 % (additionally wetted samples) to 171 % till 2 %. MW treated samples were then air-conditioned on 8 ± 1 % and subsequently impregnated with 0.1 % water solution of Safranin T during 60 minutes at 0.8 MPa.

Effect of MW treatments on the impregnability of Norway spruce sapwood was better for green samples, and at applying of 2 MW cycles.

Keywords: Norway spruce, microwave treatment, impregnability.

ÚVOD

Mikrovlnné (MW) úpravy dreva sa dnes bežne využívajú pri technológiách jeho sušenia (KLEMENT 1995, 1999, BANIČOVÁ a NOVOTNÝ 2004), plastifikácie (ZEMJAR *et al.* 2009), sterilizácie (BEECH-ANDERSEN a ANDERSEN 1992, SCHÁNĚL a TALSKÝ 1990, STRÄTLING *et al.* 2008), modifikačnej acetylácie (LARSSON BRELID a SIMONSON 1999) i furfurylácie (TREU *et al.* 2007), ale aj pri identifikácii hnilôb a iných defektov (MARČOK *et al.* 1996). Známe sú aj práce z oblasti MW úprav na zlepšenie impregnovateľnosti ťažko priepustných ihličnatých drevín, ako sú smrek, jedľa, jadro borovice alebo jadro smrekovca (CHOVANEC *et al.* 1994, MERENDA a HOLAN 2008, VINDEN *et al.* 2000, TORGOVNIKOV a VINDEN 2000, TREU *et al.* 2008, SUGIYANTO *et al.* 2009).

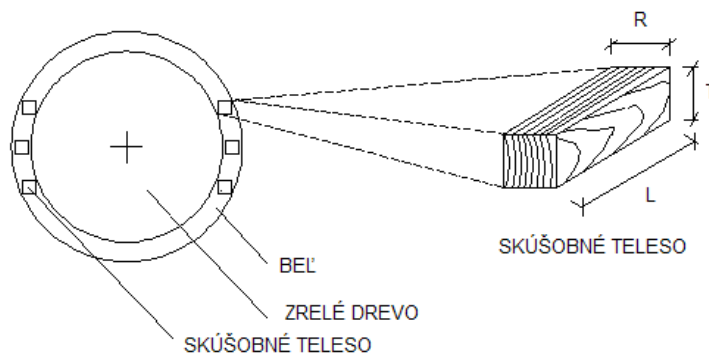
Smrekové drevo patrí podľa EN 351-1 k ťažko impregnovateľným (beľ = 3. trieda) až k extrémne ťažko impregnovateľným (zrelé drevo = 4. trieda) druhom dreva. Príčinou jeho zlej impregnovateľnosti je proces nevratného uzatvorenia dvojbodiek v tracheidách pri poklese vlhkosti pod BNV, najmä pod hranicu 25 % (BELLMANN 1987).

Cieľom tejto experimentálnej práce bolo otestovať vplyv rozdielnych MW úprav bele smreka na zlepšenie jeho impregnovateľnosti. MW úpravám sa podrobili skúšobné telesá pripravené z čerstvo zoťatého smreka i z prirodzene vysušeného a následne vodou nasýteného smreka. Zámerom bolo bližšie definovať efekt úniku vodných pár z buniek smrekového dreva v ktorých sú dvojbodky ešte otvorené (beľ čerstvého smreka), ako aj z buniek v ktorých sa už výraznejšie uzatvorili (beľ smreka vysušeného a dodatočne nasýteného vodou), na zmenu jeho impregnovateľnosti.

MATERIÁL A METODIKA

Smrekové drevo

Skúšobné telesá $20 \times 20 \times 50$ mm ($R \times T \times L$) sa vymanipulovali z beľovej zóny jedného smrekového výrezu (*Picea abies* Karst. L.) o strednom priemere 0,35 m a dĺžke 3 m (obr. 1). Výrez bol zdravý, t.j. bez hniloby, požerokov od hmyzu alebo iných defektov. Na kmeňovej pásovej pile sa z neho pripravili 25 mm hrubé dosky a z ich beľovej zóny s typicky vyšším podielom voľnej vody sa následne zhotovili skúšobné telesá bez hŕč a iných vád¹.



Obr. 1 Schéma výberu skúšobných telies zo smrekového výrezu.

Fig. 1 The scheme of samples selection from the spruce log.

Poznámka 1: Telesá z jednej dosky sa podľa zvoleného systému označovania zaradili rovnomerne do 1. a 2. experimentu, a to vždy takým spôsobom, aby sa v určitom pokuse s mikrovlnným ožarovaním nachádzali telesá z rôznych dosiek, s cieľom obmedziť vplyv výberu telies na výsledky ich impregnovateľnosti.

Ožarovanie smrekového dreva mikrovlnami

Skúšobné telesá z bele smreka sa podrobili vybraným mikrovlnným (MW) úpravám v rámci dvoch samostatných experimentov. MW úpravy sa vykonali v modifikovanom mikrovlnnom zariadení IGNIS AKL 520 so žiarením o frekvencii 2,45 GHz a výkone 500 Watt. Časy ožarovania boli 2, 4, 8, 12, 14, 16 alebo 24 minút. Počas ožarovania sa merala povrchová teplota vytvorených telies bezdotykovým teplomerom. Telesá sa vážili pred i po ožarovaní.

1. experiment: MW ožarovanie čerstvého a dodatočne vodou nasýteného smreka

Cieľ: Zistiť účinok MW žiarenia na čerstvú beľ smreka s ešte otvorenými dvojbodkami v tracheidách, ako aj na prvotne vysušenú a dodatočne vodou nasýtenú beľ smreka s už výraznejšie uzatvorenými dvojbodkami.

Hypotéza: Vodné pary vytvorené počas MW úpravy čerstvého smreka by mali nevratne narušiť štruktúru dvojbodiek, a tým zlepšiť aj jeho impregnovateľnosť. Vodné pary vytvorené pri MW úprave dodatočne vodou nasýteného smreka (t.j. smreka predtým vysušeného prirodzeným spôsobom) by už síce nemali zjavnejšie narušiť uzatvorené dvojbodky, ale tlak týchto pár by mohol narušiť bunkové steny mikrotrhlinkami, čo by tiež zlepšilo jeho impregnovateľnosť.

Realizácia: Jedna polovica čerstvých telies s vlhkosťou v intervale 160 až 195 % sa ihneď po príprave z výrezu podrobila MW úprave po dobu 2, 8 alebo 14 minút. Druhá polovica telies sa pred MW úpravou najskôr vysušila prirodzeným spôsobom na vlhkosť 8 ± 1 % a potom sa nasýtala destilovanou vodou v autokláve na vlhkosť cca 80–90 % (t.j. takto sa získali dodatočne vodou nasýtené telesá). V každej zo 6 sérii sa MW ožarovalo po 20 skúšobných telies.

2. experiment: MW ožarovanie čerstvého smreka v 1 a 2 cykloch

Cieľ: Zistiť účinok 2-cyklického MW ožarovania bele čerstvého smreka na zlepšenie jeho impregnovateľnosti, v prípade, že druhý cyklus ožarovania pôsobí na telesá s vlhkosťou už blízku bodu nasýtenia vlákien (BNV).

Hypotéza: Aj v 2. cykle MW ožarovania vzniknú v dreve vodné pary. Ich únik z buniek smrekového dreva, v ktorom je už menší alebo žiadny podiel voľnej vody, môže prispieť k ďalšiemu narušeniu otvorených dvojbodiek i k tvorbe mikrotrhliniek v bunkových stenách, čo by malo v komplexe ešte výraznejšie zlepšiť jeho impregnovateľnosť.

Realizácia: Jedna polovica čerstvých telies s vlhkosťou v intervale 160 až 195 % sa podrobila iba 1. cyklu MW ožarovania po dobu 2, 4, 8, 12, 16 alebo 24 minút. Druhá polovica čerstvých telies sa po 1. cykle ožarovania a po následnej 48 h klimatizácii opäť podrobila ožarovaniu, t.j. 2. cyklu MW ožarovania. Zámerom klimatizácie telies medzi 1. a 2. cyklom MW ožarovania bolo čiastočne vyrovnať ich vlhkosť v priereze po 1. cykle. V každej z 12 sérii sa MW ožarovalo po 8 skúšobných telies.

Impregnácia smrekového dreva vodným roztokom

Kontrolné a mikrovlnami ožiarené skúšobné telesá z bele smreka sa po klimatizovaní na 8 ± 1 % vlhkosť podrobili 60 minútovej impregnácii v autokláve typu Holland-Merten-KG. Impregnácia sa vykonala pri tlaku 0,8 MPa s 0,1 % vodným roztokom červeného farbiva Safranin T. Všetky telesá sa vážili s presnosťou 0,01 g pred impregnáciou i v priebehu impregnácie v časových intervaloch 5, 15 a 60 minút. Výpočet príjmu (R) vodného roztoku sa vykonával podľa vzťahu (1):

$$R = \frac{m_{imp} - m_{8\%}}{V} \text{ (kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{)} \quad (1)$$

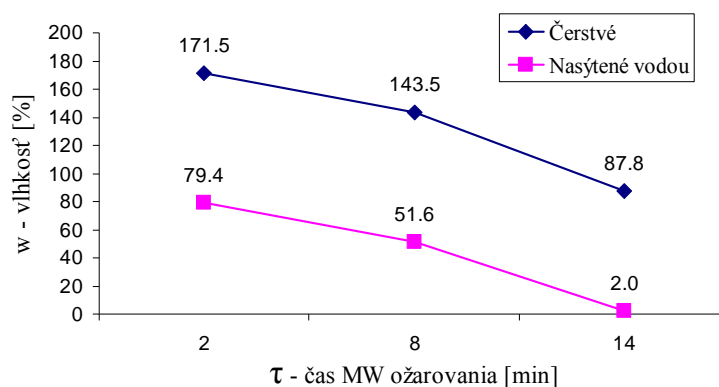
kde: m_{imp} – hmotnosť telesa v danom čase impregnácie (kg), $m_{8\%}$ – hmotnosť telesa pred impregnáciou (kg), V – objem telesa pred impregnáciou (m^3).

Telesá sa po impregnácii a následnom vysušení do absolútne suchého stavu zvažili. Vybrané telesá sa následne rozštiepili a na štiepných plochách sa sledoval prienik vodného roztoku pomocou vyfarbenej plochy od Safranínu T.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

1. experiment

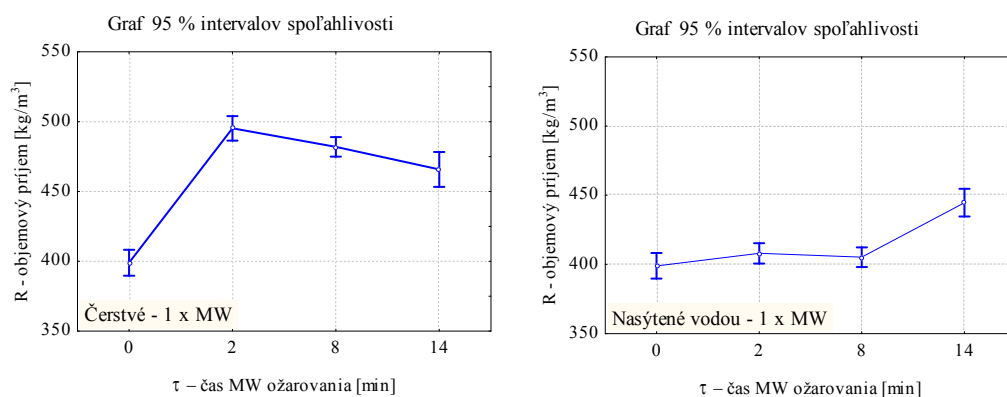
Vplyvom rôznych mikrovlnných (MW) úprav čerstvých telies i dodatočne vodou nasýtených telies smreka sa výrazne znižovala ich vlhkosť (obr. 2).



Obr. 2 Zmena vlhkosti telies smreka pri MW úpravách (priemery z 20 telies).
Fig. 2 Change of moisture of spruce samples at MW treatments (means of 20 samples).

Mikrovlhkami upravené a na 8 ± 1 % vlhkosť klimatizované telesá z bele smreka vykázali mierne lepšiu impregnovateľnosť v porovnaní s kontrolnými bez MW úpravy. Efekt MW úprav na zlepšenie impregnovateľnosti smreka bol výraznejší pri čerstvých telesách ako pri telesách vysušených a dodatočne nasýtených vodou. Vplyv predĺženého času ožarovania (2, 8 alebo 14 minút) na zlepšenie impregnovateľnosti smreka nebol jednoznačný (obr. 3). Iba telesá dodatočne nasýtené vodou mali po najdlhšej 14 minútovej MW úprave pomerne najlepšiu impregnovateľnosť z danej série telies (obr. 3b), čo možno zdôvodniť ich výrazným vysušením až na 2 % vlhkosť (obr. 2) v spojení s vytvorením mikrotrhliniek pozorovateľných aj voľným okom.

V sumáre možno konštatovať, že pozitívny vplyv MW úprav smreka na zlepšenie jeho impregnovateľnosti sa prejavil štatisticky významným pri úprave čerstvých telies a čiastočne aj pri úprave vodou nasýtených telies, ale tento vplyv bol v oboch prípadoch iba mierny (obr. 3, tab. 1). Vyplýva to aj z korelačných vzťahov, keď príjem impregnačnej kvapaliny (R) do smrekových telies narastal s predĺžením času ich MW úprav (τ), avšak smernice a indexy korelácie lineárnych závislostí boli pomerne malé (obr. 3).



a/ $R = 444,8 + 2,625\tau, r^2 = 0,117, n = 80$

b/ $R = 397,5 + 2,69\tau, r^2 = 0,357, n = 80$

Obr. 3 Príjem vody (R) do MW upravených telies smreka po 60 minútach impregnácie. a/ MW úpravy čerstvých telies; b/ MW úpravy dodatočne vodou nasýtených telies.

Fig. 3 Retention of water (R) into MW treated and conditioned ($w = 8 \pm 1$ %) sapwood spruce samples at their pressure impregnation ($p = 0.8$ MPa; $\tau = 60$ minutes). a/ MW treatments of green samples; b/ MW treatments of additionally wetted samples.

Tab. 1 Duncanov test ($p < 0,05$) pre príjem vody R ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) do MW upravených telies smreka po 60 minútach tlakovej impregnácie.

Tab. 1 Duncan's test ($p < 0,05$) for retention of water R ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) into MW treated spruce samples after 60 minutes of pressure impregnation.

a/ MW úpravy (po dobu 0, 2, 8 alebo 14 minút) čerstvých telies smreka.

a/ MW treatments (0, 2, 8 or 14 minutes) of green spruce samples.

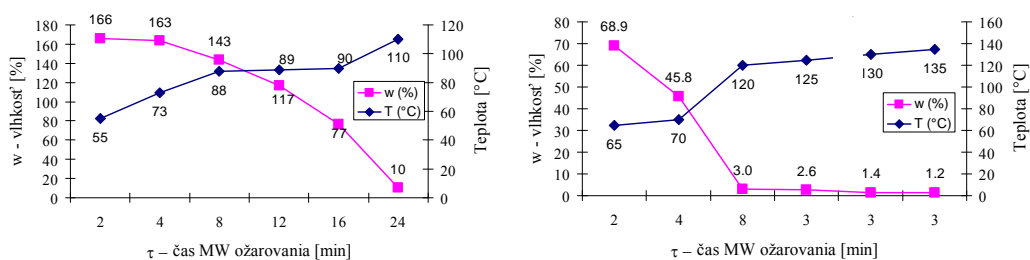
R ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	399,0	495,3	482,0	465,8
MW (min)	0	2	8	14
0		0,00005	0,00006	0,00011
2	0,00005		0,04451	0,00008
8	0,00006	0,04451		0,01443
14	0,00011	0,00008	0,01443	

b/ MW úpravy (po dobu 0, 2, 8 alebo 14 minút) vodou dodatočne nasýtených telies smreka.
 b/ MW treatments (0, 2, 8 or 14 minutes) of additionally wetted spruce samples.

R ($kg \cdot m^{-3}$)	399,0	408,0	405,3	444,7
MW (min)	0	2	8	14
0		0,13876	0,27446	0,00005
2	0,13876		0,62951	0,00012
8	0,27446	0,62951		0,00006
14	0,00005	0,00012	0,00006	

2. experiment

Zmena vlhkosti čerstvých telies smreka po jednom cykle MW úprav a po dvoch cykloch MW úprav je znázornená na obr. 4. Súčasne je tu znázornená aj ich povrchová teplota. Časy ožarovania v 2. cykle boli rovnaké ako v 1. cykle, a to až do 8 minút, no potom sme ich skrátili a trvali už iba 3 minúty (obr. 4b, 5b). Napriek tomu, pokles vlhkosti telies po 2. cykle ožarovania bol veľmi výrazný až k hranici 3 % i 1 %.



a/ 1. cyklus MW úpravy (n = 6 × 8 telies)

a/ 1st cycle of MW-T (n = 6 × 8 samples)

b/ 2. cyklus MW úpravy (n = 6 × 8 telies)

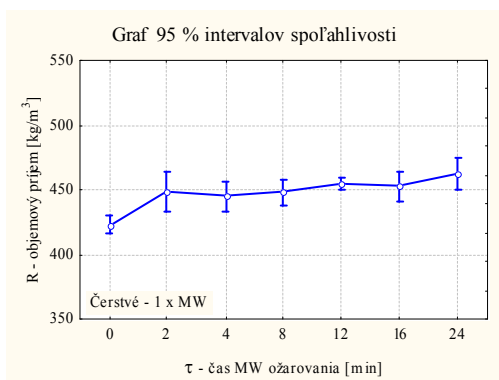
b/ 2nd cycle of MW-T (n = 6 × 8 samples)

Obr. 4 Zmena vlhkosti telies smreka pri 1. cykle a 2. cykle MW úprav a konečná povrchová teplota jedného z telies danej série.

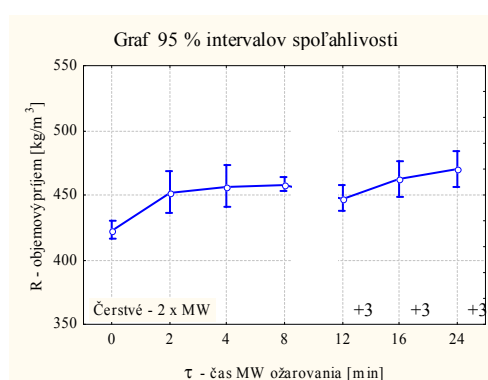
Fig. 4 Change of moisture of spruce samples at the 1st cycle and the 2nd cycle of MW treatments, and the final surface temperature of one sample from a given series.

Efekt MW úprav na zlepšenie impregnovateľnosti bele smreka bol výraznejší pri dvoch cykloch ožarovania ako pri jednom (obr. 5 a 6). Časová fáza MW úprav od 2 po 24 minút tu však nebola dominantná (obr. 5).

V sumáre možno konštatovať, že pozitívny vplyv použitých MW úprav čerstvého smreka na zlepšenie jeho impregnovateľnosti sa čiastočne prejavil už po jednom cykle ožarovania a výraznejšie po dvoch cykloch ožarovania. Príjem impregnačnej kvapaliny (R) do smrekových telies narastal s predĺžením času ich MW úprav (τ), avšak smernice a indexy korelácie príslušných lineárnych závislostí boli podobne ako pri 1. experimente pomerne malé (obr. 5). Čas mikrovlnnej úpravy nezohral teda ani v tomto 2. experimente očakávanú úlohu z hľadiska zjavnejšieho pozitívneho efektu na zlepšenie impregnovateľnosti smreka.



a/ $R = 444,5 + 0,676\tau$, $r^2 = 0,16$, $n = 56$

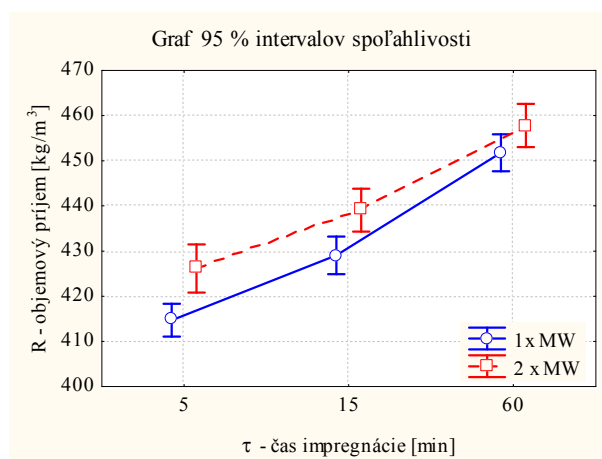


b/ $R = 434,15 + 3,787\tau$, $r^2 = 0,317$, $n = 32$
($\tau \rightarrow 0-8$ min)

Obr. 5 Príjem vody (R) do MW upravených telies smreka po 60 minútach impregnácie. a/ MW úpravy čerstvých telies v 1 cykle; b/ MW úpravy v 2 cykloch.

Fig. 5 Retention of water (R) into MW treated and conditioned ($w = 8 \pm 1$ %) sapwood spruce samples at their pressure impregnation ($p = 0.8$ MPa; $\tau = 60$ minutes). a/ MW treatments of green samples in 1 cycle; b/ MW treatments in 2 cycles.

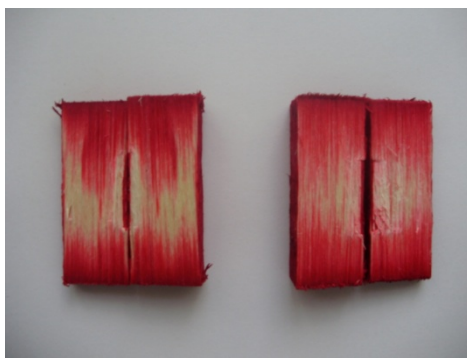
Pri 1. cykle MW úprav vnikal vodný impregnačný roztok do telies smreka výraznejšie už po 5 minútach impregnácie $\rightarrow 414,7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. S predĺžovaním času impregnácie na 15 minút $\rightarrow 429,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ až 60 minút $\rightarrow 451,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ bol ďalší nárast príjmu vody už len mierny (obr. 6). Obdobný trend, no s mierne vyššími príjmami (R), sa sledoval aj v prípade telies upravených MW v 2 cykloch (obr. 6). Tieto výsledky sú v zhode s exponenciálnym nárastom príjmu kvapalín počas impregnácie ihličnatých druhov dreva (REINPRECHT a HORSKÝ 1990).



Obr. 6 Sumárne príjmy vody (R) do MW upravených telies smreka hodnotené po 5, 15 a 60 minútach impregnácie. MW úpravy (sumár z 2, 4, 8, 12, 16 a 24 minút) sa vykonali buď 1 cyklom (1 x MW) alebo 2 cyklami (2 x MW).

Fig. 6 Summary retentions of water (R) into MW treated spruce samples valued after 5, 15 and 60 minutes of impregnation. MW treatments (summary from 2, 4, 8, 12, 16 and 24 minutes) were performed either in 1 cycle (1 x MW) or in 2 cycles (2 x MW).

Na štiepných plochách impregnovaných telies smreka sa dokumentoval predovšetkým pozdĺžny smer prieniku kvapaliny, nezávisle od typu MW úpravy (obr. 7).



Obr. 7 Prieniky 0,1 % vodného roztoku Safranínu T do bele smreka po 60 minútach tlakovej impregnácie.

Fig. 7 Penetrations of the 0.1 % water solution of Safranin T into sapwood of Norway spruce after 60 minutes of pressure impregnation.

Diskusia k 1. a 2. experimentu vo väzbe na známe literárne poznatky

CHOVANEK *et al.* (1994) pri MW úprave telies smreka (*Picea excelsa*) 40 × 60 × 110 mm s vlhkosťou 8 %, 15 % a 23 % použili žiarič s výkonom 300, 500, 700 alebo 900 Watt a časy ožarovania volili od 0,5 do 3 minút. Autori dokázali narušiť dvojbodky v tracheidách smreka zjavnejšie iba v prípade, ak ožarovali telesa s najvyššou 23 % vlhkosťou a pri použití najvyššieho výkonu 900 Watt. V našich experimentoch sme volili síce nižší 500 Watt výkon žiariča, ale ten pôsobil v dlhších časových fázach a bol nasmerovaný na mokré (čerstvé alebo dodatočne zvlhčené) drevo, v ktorom mohla byť tvorba vodných pár intenzívnejšia.

MERENDA a HOLAN (2008) mikrovlnami o výkone 900 Watt ožarovali telesá smreka (*Picea abies*) 20 × 20 × 150 mm, ktoré boli predtým vysušené a dodatočne klimatizované, resp. nasycované vodou na vlhkosť 9 %, 33 % a 95 %. Ožarovanie v trvaní 180 sekúnd realizovali v 6 striedavých cykloch, t.j. 1 cyklus = 15 sekúnd etapa ožarovania a 15 sekúnd etapa bez ožarovania na vyrovnanie vlhkosti vo vnútri telesa. Zistili, že koeficienty priepustnosti pozdĺž vlákien mikrovlnami ožiareného smrekového dreva boli dokonca nižšie ($K = 2,03 - 2,58 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$) ako referenčnéno neožiareného smreka ($K = 2,93 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$). Takýto neočakávaný „negatívny“ efekt MW ožarovania zdôvodnili hypotézou o uzatváraní dvojbodiek v tracheidách vplyvom unikajúcich vodných pár. S ich názorom možno buď polemizovať alebo dokonca nesúhlasiť, keďže k ožarovaniu použili drevo smreka prvotne vysušené, t.j. drevo s už výrazne uzatvorenými dvojbodkami.

TREU *et al.* (2008) MW upravovali zrelé smrekové drevo (*Picea abies*) a jadrové borovicové drevo (*Pinus sylvestris*) v rôznych stavoch vlhkosti, aplikujúc 1 až 7 krátkodobých max. 14 sekundových dávok žiarenia, ktoré malo podstatne vyšší výkon 6000 Watt. Týmito úpravami dosiahli mierne zlepšenie impregnovateľnosti dreva testovaných drevín, ale podobne ako v našom experimente bez zistenia zjavnejšej korelačnej väzby medzi zvyšovaním dávky ožarovania a zlepšením impregnovateľnosti.

SUGIYANTO *et al.* (2009) pri použití podstatne vyšších výkonov MW žiariča v oblasti 22 až 36 k-Watt dokumentovali pozitívny efekt nárastu mikrovlnnej energie od 55 do 90 kWh·m⁻³ na výrazné zlepšenie impregnovateľnosti borovicového dreva (*Pinus radiata*). Tieto poznatky naznačujú, že aj v našich ďalších experimentoch bude žiaduce zvýšiť výkon MW žiariča výraznejšie aj nad úroveň 10 k-Watt, s cieľom efektívnejšie narušiť štruktúru bunkových stien (torusy v dvojbodkách a prípadne aj samotné bunkové steny formou mikrotrhliniek), a tým trvalo zlepšiť ich priepustnosť pre kvapaliny.

ZÁVER

Výsledky experimentov vo väzbe aj na literárne poznatky naznačujú, že mikrovlnné (MW) úpravy sú zaujímavé pre zlepšenie impregnovateľnosti ťažko priepustných ihličnatých drevín vrátane smrekového dreva. MW ožarovanie sa javí výhodnejšie zrealizovať na čerstvom drevnom materiáli, ako na prvotne vysušenom a opätovne zvlhčenom dreve. Z pohľadu technologickej efektívnosti i zachovania kvality drevného materiálu bez prepálených miest a výraznejších trhlín sa javí výhodným aplikovať dva i viac kratších cyklov MW ožarovania.

V ďalších prácach plánujeme analyzovať vplyv zvýšeného výkonu MW žiariča v oblasti až 10 k-Watt z hľadiska účinnosti na narušenie stenčien i bunkových stien následkom parných nárazov a odozvu predpokladaných výraznejších štrukturálnych zmien na zlepšenie impregnovateľnosti smreka.

LITERATÚRA

- BANIČKOVÁ, D., NOVOTNÝ, M. 2004. Vysušování dřevěných prvku mikrovlnným zářením. *Materiály pro stavbu*, 7(3): 46–49.
- BEECH-ANDERSEN, J., ANDERSEN, C. 1992. Theoretical and practical experiments with eradication of the dry rot fungus by means of microwaves. The International Research Group on Wood Preservation, 23rd IRG Annual Meeting in Harrogate – England, IRG/WP 1577-92.
- BELLMANN, M. 1987. Zur Bedeutung der Holzfeuchte bei der Kesseldrucktränkung von Nadelholzern. *Holz Zbl.*, 1857–1858, 2201–2203
- CHOVANEC, D., ŠIMKOVÁ, G., OSVALD, A., PALKO, P. 1994. The influence of microwave heating on structural changes in spruce wood. In. *Wood Structure and Properties '94*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, s. 43–50.
- KLEMENT, I. 1995. Mikrovlnné sušenie dreva. In. *Nové poznatky konvekčného sušenia dreva*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, s. 77–87.
- KLEMENT, I. 1999. *Mikrowellentrocknung von Holz*. Buchverlag Gräfelfing, Munchen, 55 s.
- LARSSON BRELID, P., SIMONSON, R. 1999. Acetylation of solid wood using microwave heating, Part 2: Experiments in laboratory scale. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 57(4): 259–263.
- MARČOK, M., REINPRECHT, L., BENIČÁK, J., POLÁŠEK, M., DANKO, P. 1996. Detection of biodegradation processes in specimens from damaged spruce beam by means of ultrasonic and microwave methods. In. *Acoustics '96*, Zvolen: TU vo Zvolene, 1996, s. 5–13.
- MERENDA, L., HOLAN, J. 2008. Propustnosť mikrovlnne modifikovaného smrkového dreva pro destilovanou vodu. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 16(1): 137–141.
- REINPRECHT, L., HORSKÝ, D. 1990. Impregnability of tree species as a function of their shape. In. *Latest achievements in research of wood structure and physics*, Zvolen: TU vo Zvolene, s. 163–177.
- SCHÁNĚL, L., TALSKÝ, A. 1990. Účinok mikrovlnného žiarenia na huby. In. *Ochrana dreva*, Bratislava: DT, s. 80–82.
- STRÄTLING, M. M. A., UNGER, W., PETERSEN, K. 2008. Orientated investigation to kill the mycelia of the dry rot fungus *Serpula lacrymans* with microwaves. In. International conference on wood science for preservation of cultural heritage, Braga – Portugal, <http://www.woodculther.com/wp-content/uploads/2008/unger.pdf>.
- SUGIYANTO, K., TORGOVNIKOV, G., VINDEN, P. 2009. Microwave surface modification of *Radiata pine* peeler cores for preservative treatment. The International Research Group on Wood Protection, 40th IRG Annual Meeting in Beijing – China, IRG/WP 09-40453, 10 s.
- TREU, A., RIECHE, H., MILITZ, H. 2008. Spruce and pine heartwood treatment by means of microwave radiation. The International Research Group on Wood Protection, 39th IRG Annual Meeting in Istanbul – Turkey, IRG/WP 08-40411, 10 s.
- TORGOVNIKOV, G., VINDEN, P. 2000. Microwave modification of wood properties: Improvements in wood permeability. The International Research Group on Wood Preservation, 31st IRG Annual Meeting in Kona, Hawaii - USA, IRG/WP 00-40181, 10 s.
- TREU, A., LARNOY, E., MILITZ, H. 2007. Microwave curing of furfuryl alcohol modified wood. The International Research Group on Wood Protection, 38th IRG Annual Meeting in Jackson Lake Lodge, Wyoming – USA, IRG/WP 07-40371, 15 s.

VINDEN, P., TORGOVNIKOV, G., ROMERO, J. 2000. Microwave conditioning of *Pinus radiata* D. Don for preservative treatment. The International Research Group on Wood Preservation, 31st IRG Annual Meeting in Kona, Hawaii - USA, IRG/WP 00-40182, 7 s.

ZEMIAK, J., MAKOVÍNÝ, I., PALKO, M., GAŠPARÍK, M. 2009. Temperature and moisture profiles at microwave heating of wood. In. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forest and Wood Technology*, 67: 283–288.

Pod'akovanie

Autori vyjadrujú pod'akovanie grantovej agentúre Slovenskej republiky (Grant VEGA č. 1/0421/10) za finančnú podporu pri spracovaní tejto vedeckej práce. Súčasne ďakujú Ing. Milošovi Pánekovi, PhD. za technickú pomoc pri experimentálnych prácach.

Adresa autorov

Prof. Ing. Ladislav Reinprecht, CSc.
Technická univerzita vo Zvolene
Drevárska fakulta
Katedra mechanickej technológie dreva
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
Slovensko
reinpret@vsld.tuzvo.sk

Ing. Marek Rešetka
Technická univerzita vo Zvolene
Drevárska fakulta
Katedra náuky o dreve
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
Slovensko
resetka.marek@gmail.com

Prof. Ing. Ivan Makovíny, CSc.
Technická univerzita vo Zvolene
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky
Katedra drevárskych strojov a zariadení
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
Slovensko
makoviny@vsld.tuzvo.sk

