



TERMICKÉ ÚČINKY ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA NA DREVOCEMENTOVÉ KOMPOZITY

Ivan Makovíny

Abstract

There was laboratory produced woodcement boards from excelsior at different densities 400, 700 and 1100 (kg.m⁻³). There was tested the possibility woodcement boards drying in electromagnetic field at very high frequency. The drying was realized in microwave system with a resonator of 0,112 m³ volume and maximal specific volume heating power $p=0,0625 \text{ W.cm}^{-3}$. There was achieved a high velocity of drying 10 %.min⁻¹ at board density 400 kg.m⁻³, 3,5 %.min⁻¹, at density 700 kg.m⁻³ and 2 %.min⁻¹ at density 1100 kg.m⁻³. There wasn't observed any defects on board samples.

Woodcement composites (WCC) modified with different carbon contents we heated in working condensator of hf generator with frequency 27 MHz. The results of hf heating point out that hf energie absorption markedly depends on carbon contents, especially carbon concentration over 3 mass.%.

We perform the analogy trials with one – side vhf heating of WCC samples modified with carbon at maximal magnetron power 700 W, with frequency 2,45 GHz. Energy absorption of microwave energy witch increasing carbon contents was confirmed again.

Key words: *thermic effect, electromagnetic field, woodcement composites, carbon contents, microwave heating, high frequency heating*

ÚVOD

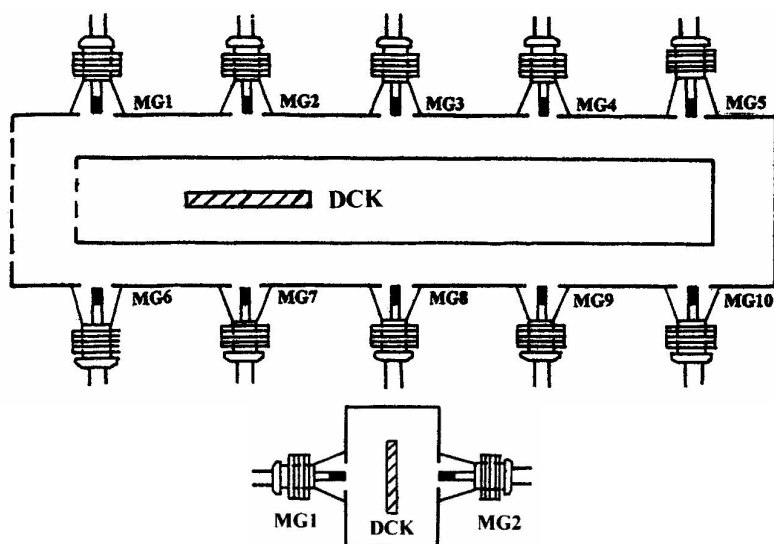
Drevocementové kompozity (DCK) sú stavebné materiály využívané najmä na vonkajšie a tiež vnútorné obklady stien, ako aj na stropy a podlahoviny. Ich výhodnými základnými vlastnosťami sú: ohňovzdornosť, rezistencia proti hmyzu a hnilobe, húževnatosť, vysoký útlm zvuku a nízka tepelná vodivosť. Rozsah použitia DCK sa v súčasnosti stále rozširuje, pretože sa v modifikácii s ďalšími materiálmi vytvárajú nové drevocementové kompozity so špecifickými vlastnosťami. Náš vývoj je zameraný na drevocementový kompozitný materiál vhodný pre tienenie nežiadúcich účinkov umelých elektromagnetických polí, ktoré existujú v našom životnom prostredí.

Cieľom tejto práce bolo overiť možnosť posudzovania útlmových vlastností nových vyvíjaných DCK na základe termických účinkov elektromagnetického poľa v pásme vysokých a veľmi vysokých frekvencií. Okrem toho sme overovali možnosť znižovania vlhkosti DCK po ukončení technologického procesu výroby sušením mikrovlnným žiarením.

EXPERIMENT I

Voda je v technologickom procese výroby DCK nevyhnutnou zložkou, ktorá umožňuje hydratáciu cementu. Pomer vody k cementu, t.j. vodný súčiniteľ, je významným faktorom ovplyvňujúcim pevnosť DCK. Optimálny pomer potrebný pre hydratáciu cementu sa prakticky nedá dosiahnuť z viacerých dôvodov. Pri výrobe DCK sa spolu so vstupnými surovinami pridáva voda a voda tiež existuje v drevnej vlne, resp. trieskach. Vzhľadom k zmenám zloženia surovín a niekedy aj potrebám zvýšenia obsahu vody s ohľadom na funkciu technologických uzlov na výrobní linke môže DCK obsahovať nadbytočnú vodu. Preto sme experimentálne overovali možnosť znižovania vlhkosti DCK ich sušením v elektromagnetickom poli. Drevo cementové kompozity predstavujú polárne dielektriká, ktoré sa vplyvom absorpcie energie elektromagnetického poľa ohrievajú (Perré, Turner 2001; Satter 1993).

Pri geometrickom usporiadaní ohrievaného materiálu a magnetrónov podľa obr. 1a, 1b sa najvyššia teplota vytvára v strede dosky. Preto výsledný tepelný tok smeruje zo stredu dosky k jej povrchu. Kladný teplotný gradient je teda zhodný s vlhkosťným gradientom, ktorý pôsobí od stredu dosky smerom k povrchu dosky, čo je pre sušiaci proces výhodné.



Obr. 1a, 1b Náčrt rezonátora mikrovlnového systému s umiestnením magnetrónov (MG1 až MG10) a sušenej vzorky drevo – cementového kompozitu DCK.

Absorbovaný výkon v celom objeme „ V “ ohrievanej dosky zodpovedá vzťahu

$$P = \omega \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon'' \cdot E^2 \cdot V \quad (1)$$

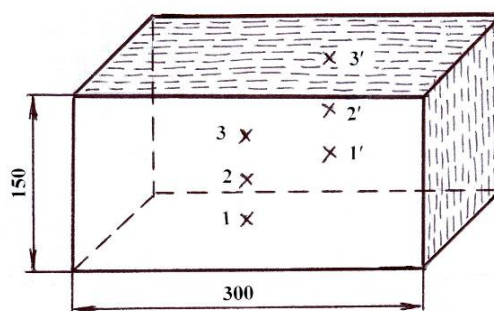
kde ω je uhlová rýchlosť ($\omega = 2\pi f$), ε_0 – permitivita vákua, ε'' – stratové číslo materiálu, E – efektívna hodnota intenzity elektrického poľa (jej hodnota sa však po hrúbke dosky mení, preto vzťah platí len približne).

MATERIÁL A METÓDA

V experimente sušenia DCK sme použili tri vzorky dosiek s rozdielnou hustotou 400, 700 a 1100 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), ktoré sme dosiahli lisovaním drevocementového koberca rozdielnym tlakom. Merania sa vykonali na vzorkách dosiek o rozmeroch 150 x 300 mm. Keďže sme použili 3 rozdielne hodnoty lisovacieho tlaku, tak sme získali aj tri skupiny vzoriek po 5 ks rozdielnej hrúbky.

Receptúra laboratórne pripravených DCK bola pre všetky tri druhy vzoriek rovnaká: 200 ml vody, 100 g Portlandský cement, 100 g drewná vlna, 4 g CaCl_2 . Po zlisovaní mali vzorky hrúbky: 23 mm, 13 mm a 9 mm.

Teplotu sme merali na povrchu vzoriek po prerušení, resp. aj po ukončení procesu sušenia pyrometrom typ 6IM 530 MS. Po predbežných meraniach rozloženia teploty sme zvolili tri miesta, v ktorých sa teplota zisťovala – stred, 1/3 a 2/3 vzdialenosti smerom k okraju dosky na jej lícnej strane (zo strany ohrevu) a na rube (opačnej strane).



Obr. 2 Geometrické rozmery vzorky DCK a miesta merania teploty.

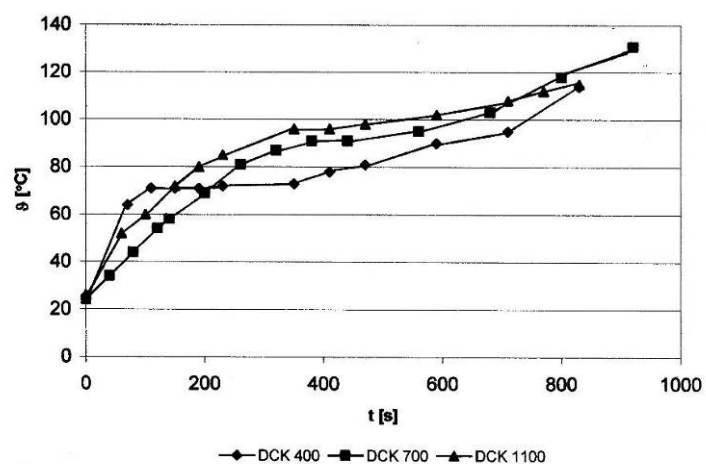
Sušenie vzoriek DCK sme realizovali v rezonátore mikrovlnného systému MWS1, ktorý bol vyvinutý na KDSZ FEVT pre plastifikáciu dreva. Maximálne vvf výkon má 7 kW, dosiahnuteľná hustota vvf výkonu $p = 6,25 \cdot 10^4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-3}$ a objem rezonátora $V_{\text{rez}} = 0,112 \text{ m}^3$. Sušenie prebiehalo pri atmosférickom tlaku pri relatívnej vlhkosti vzduchu $\phi = 70 \%$.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

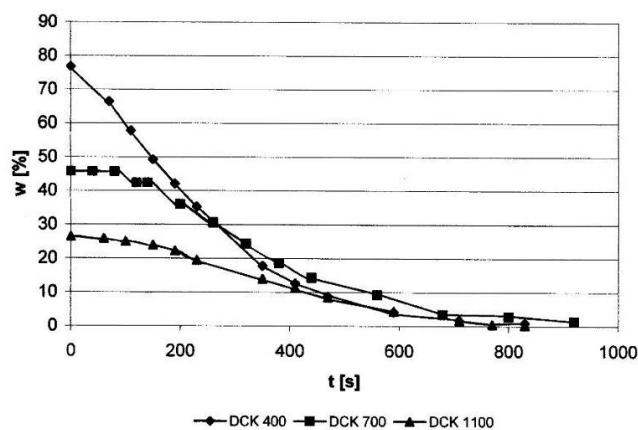
Výsledky experimentu sú zhrnuté na obr. 3, 4 a v tab. 1.

Priebeh teplotných kriviek, priemernej povrchovej teploty (obr. 3), poukazuje na vplyv počiatočnej vlhkosti na ich tvar. Napriek relatívne nízkej teplote povrchu (pod 100 °C) pre DCK o hustote $400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ je možné predpokladať, že ide o destilačnú fázu sušenia keď sa vo vnútri dosky mení kvapalná fáza vody na plynnú.

Vlhkosť sušeného materiálu sme zisťovali v priebehu sušenia (po prerušení ohrevu) gravimetrickou metódou. Priebeh kriviek sušenia, t.j. závislosť priemernej vlhkosti w dosiek DCK od času sušenia t je na obr. 4.



Obr. 3 Závislosť teploty θ vzoriek DCK od času sušenia t , pre DCK o hustote 400, 700 a 1100 (kg.m⁻³)



Obr. 4 Závislosť vlhkosti w vzoriek DCK od času sušenia t , pre DCK o hustote 400, 700 a 1100 (kg.m⁻³)

Tabuľka 1 Parametre mikrovlnného sušenia DCK

Hustota [kg.m ⁻³]	400	700	1100
Počiatková vlhkosť w_p [%]	77	46	26
Priemerná rýchlosť sušenia v [%·min ⁻¹]	10	3,5	2
Konečná vlhkosť [%]	0,5	0,5	2
Čas sušenia τ [s]	900	800	800

Z obr. 4 vyplýva, že čas sušenia na vlhkosť nižšiu ako 10 % bol cca 10 minút, aj napriek rozdielnym hustotám vzoriek, avšak pri rovnakom hmotnostnom podiele zložiek tuhých zložiek DCK. Vlhkosť vzoriek na začiatku sušenia bola v dôsledku lisovacieho procesu rozdielna. Rýchlosť sušenia narastala so znižovaním hustoty DCK (pri $\rho = 400 \text{ kg.m}^{-3}$ bola, až $10 \text{ \%.min}^{-1}$ vid' tab. 1). Makroskopické trhliny ani deformácie sa na sušenom materiály nepozorovali.

EXPERIMENT II

METODIKA, VÝSLEDKY A DISKUSIA

Pre kvalitatívne, resp. orientačné hodnotenie útlmu elektromagnetického žiarenia pri frekvencii $f = 2,45 \text{ GHz}$, t.j. v pásme vvf mikrovlnnom sme zvolili jednostranný ohrev vzoriek DCK s rôznou koncentráciou uhlíka.

Pre veľmi krátke časy ohrevu, keď zanedbáme vedenie tepla pre počiatočnú rýchlosť ohrevu platí

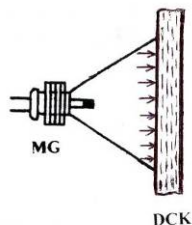
$$\frac{d\vartheta(x,t)}{dt} = \frac{p(x)}{\rho \cdot c} \quad (2)$$

resp. pre teplotu v čase t

$$\vartheta(x,t) = \vartheta_0 + \frac{p(x)t}{\rho \cdot c} \quad (3)$$

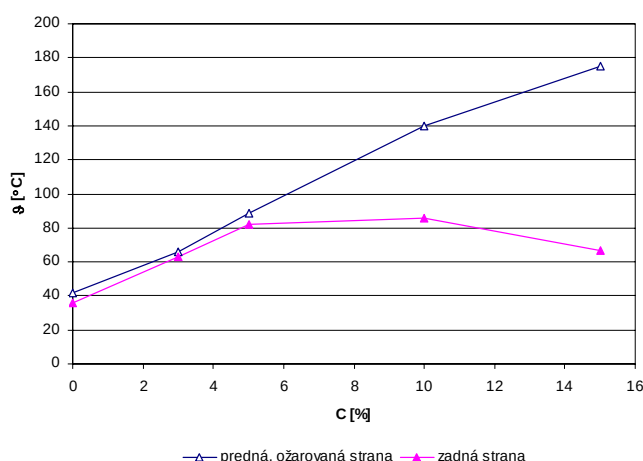
kde ϑ_0 je začiatočná teplota v čase $t = 0$, ρ – hustota DCK, c – merné teplo DCK, $p(x)$ – merná objemová hustota ohrievacieho výkonu v mieste x .

VVF ohrev každej vzorky DCK sa vykonal s jedným magnetrónom s anténou tvaru lievika s vvf výkonom 700 W (bližšie vid' Makoviny, Zemiar 2004). Trvanie ohrevu bolo 60 s. Náčrt usporiadania magnetróna s anténou a ohrievaným materiálom je na obr. 5



Obr. 5 Náčrt usporiadania vzorky drevocementového kompozitu (DCK) a zdroja mikrovln s lievikovou anténou

Pre zisťovanie absorpcie energie elektromagnetického poľa sme použili metódu zisťovania teploty na prednej ožarovanej strane vzorky a tiež na zadnej odvrátenej strane. Spôsob merania teploty bol rovnaký ako v experimente I. Vzorky DCK mali rozmer 150 x 300 (mm) a koncentrácie uhlíka boli 0; 3,5; 5; 10; a 15 (hm.%).



Obr. 6 Dosiahnuté teploty Θ na ožarovanej a neožarovanej strane vzoriek DCK s rôznou koncentráciou uhlíka C

Výsledky tejto metódy, ako to vyplýva z obr. 6 potvrdili, že vplyvom nárastu obsahu uhlíka vzrastá absorpcia energie elektromagnetického poľa, čo sa prejavilo zvýšenou teplotou vzoriek. Zároveň v dôsledku narastajúcej absorpcie energie narastali aj rozdiely v teplote ožarovanej líčnej strany vzorky a odvrátenej strany vzorky a príslušnou koncentráciou uhlíka.

Rozdiel teplôt na protiľahlých stranách dosky nám indikuje skutočnosť, že účinok uhlíka na útlm elektromagnetického žiarenia sa výrazne začína uplatňovať pri koncentráciách vyšších ako 3 hm. %.

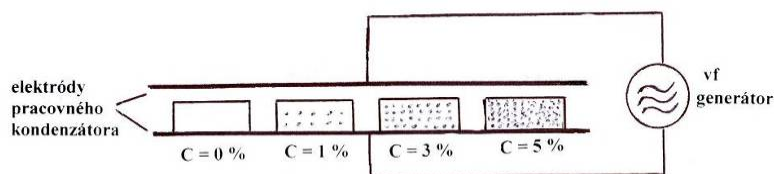
EXPERIMENT III

Podobnou metódou ako v experiment II sme overovali účinok koncentrácie uhlíka na tlmenie elektromagnetického vlnenia v pásme vF vysokých frekvencií.

METODIKA A MATERIÁL

Experiment sme vykonali v pracovnom kondenzátore vF generátora GU 7B s trvalým vF výkonom 2,5 kW, $f = 27$ MHz, (Makovíny, Zemiar 2003).

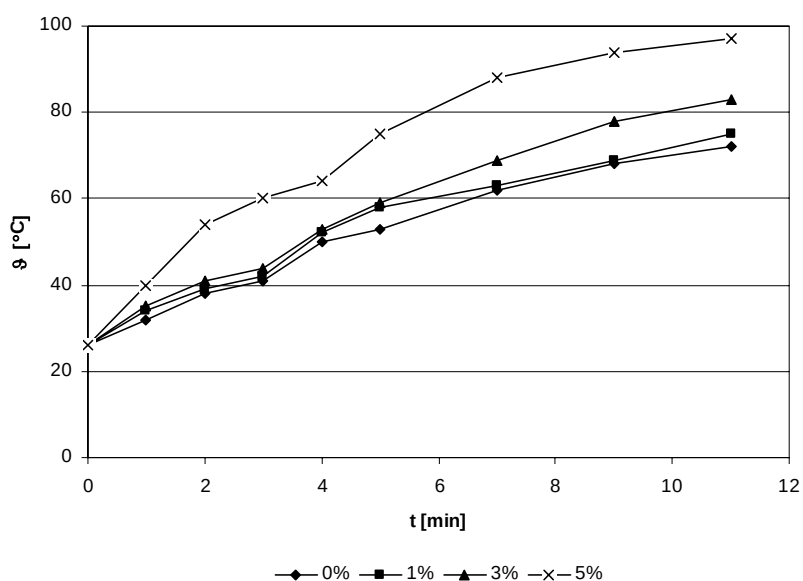
Pre hodnotenie účinku zvyšujúceho sa obsahu uhlíka na absorpciu energie elektromagnetického poľa sme použili komparatívnu metódu. Do pracovného kondenzátora (obr. 7) sme umiestnili vedľa seba vzorky v rôznej koncentrácii uhlíka 0, 1, 3 a 5 (hm. %). V priebehu ich vF ohrevu sme termočlánkami zisťovali ich teplotu. Počas merania bol vF generátor vypnutý a tým ohrev prerušený.



Obr. 7 Usporiadanie štyroch vzoriek DCK v pracovnom kondenzátore pri vysokofrekvenčnom ohreve

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výsledné otepľovacie krivky z v.f. ohrevu vzoriek DCK sú na obr. 8.



Obr. 8 Závislosť teploty θ vzoriek DCK s rôznou koncentráciou uhlíka 0, 1, 3 a 5 (hm.%) od času ohrevu t v pracovnom kondenzátore v.f. generátora

Ohrievací výkon obecné závisí, podľa rov. (1), od stratového čísla ε'' . Ostatné veličiny vystupujúce v tomto vzťahu boli v tomto experimente konštantné. Pretože pre použitý materiál platí, že stratové číslo so zvyšovaním obsahu uhlíka narastá, tak pre merné ohrievacie výkony pri rôznych koncentráciách uhlíka 0; 1; 3 a 5 (hm.%) musí platiť nasledovná nerovnosť

$$p_{DCK0} < p_{DCK1} < p_{DCK3} < p_{DCK5} \quad (4)$$

V dôsledku uvedenej nerovnosti aj pre teploty vo vzorkách DCK v rôznych časoch ohrevu musí platiť nerovnosť

$$g_{DCK0} < g_{DCK1} < g_{DCK3} < g_{DCK5} \quad (5)$$

Výsledky týchto meraní ukazujú, že nízka koncentrácia uhlíka 1 hm.% má malý vplyv na zvyšovanie absorpcie elektromagnetickej energie avšak účinok 3 a 5 (hm.%) je už značný.

ZÁVER

Experimentálne bolo zistené, že mikrovlnné sušenie umožňuje sušiť DCK rôznej hustoty s vysokou rýchlosťou. DCK s nízkou hustotou 400 kg.m⁻³ a počiatočnou vlhkosťou 77 % sa sušili rýchlosťou až 10 % .min⁻¹. Rýchlosť sušenia s rastúcou hustotou DCK klesala. Vlhkosť pod 10 % dosiahla za čas 10 minút. Výsledkom mikrovlnného sušenia boli vzorky DCK v požadovanej kvalite, bez poškodenia.

Experimenty s ohrevom DCK s rôznym obsahom uhlíka vykonané pri vĺ kmitočte 27 MHz a tiež pokusy pri svf ohrevom pri kmitočte 2,45 GHz ukázali, že útlm, resp. absorpcia energie elektromagnetického poľa narastá s obsahom uhlíka. Tieto experimenty potvrdili, že takýmto postupom je možné hodnotiť účinok modifikácie DCK uhlíkom z hľadiska ich útlmových vlastností. Navrhnutá metóda ohrevu DCK mikrovlnným žiarením doplnenú meraním teploty ožarovaného a neožarovaného povrchu dosky sa pre posudzovanie účinku uhlíka na útlm elektromagnetického poľa osvedčila. Potvrdilo sa, že dosky so zvyšovaním obsahu uhlíka majú rastúci útlm v pásme frekvencií vĺ a tiež aj v pásme svf (mikrovlnnom). Výrazný účinok uhlíka nastával až pri koncentráciách vyšších ako 3 hm.%.

LITERATÚRA

1. Makovíny, I., Zemiar, J.: Heating of wood surface layers by infrared and microwave radiation. Wood Research 49 (4), 2004, s. 33-40.
2. Makovíny, I., Zemiar, J.: Zborník prednášok z konferencie – Elektrické teplo v drevárskej praxi. Technické zariadenia na TU vo Zvolene pre aplikácie elektrického tepla v oblasti spracovania dreva. TU vo Zvolene. 2003. s.58-63. ISBN 80-228-1268-4.
3. Perré, P. – Turner, I. W.: The use of numerical simulation as a cognitive tool for studying the microwave drying of softwood in an over-sized waveguide. Wood Sci. and Technology, 1999, 33, s.445 – 464.
4. Sattler, H.: Werkstoffe aus Holz und anorganische Bindemitteln. Holz, Erzeugung und Verwendung – Ein Kreislauf der Natur. tagungsband, Garmisch –Patern – Kirchen. DGfH, 1993, s. 237 – 249.

Príspevok vznikol za podpory Agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci riešenia projektu APVV-0229-06 „Aplikovaný výskum drevocementových dosiek pre tienenie elektromagnetických polí a pre zvýšenie požiarnej odolnosti“.