

## MECHANICKÉ VLASTNOSTI DREVOCEMENTOVÝCH KOMPOZITOV Z DREVNEJ VLNY MODIFIKOVANÝCH UHLÍKOM

### MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD - CEMENT COMPOSITES MADE OF WOOD WOOLMODIFICATED WITH CARBON

Stanislav Košúth – Katarína Makovínyiová

#### ABSTRACT

In this paper the influence of density and additives in wood-cement composite on mechanical properties of the composite was measured. The admixture in wood-cement composite made of wood wool was electric conductive carbon powder. It was found that the effect of carbon concentration in composite up to 25 wt. % (cement weight) on representative properties – bending strength, modulus of elasticity in bending and hardness, was not statistically significant. The influence of density in the range of 350–1100 kg·m<sup>-3</sup> was statistically highly significant.

**Keywords:** carbon, electric conductive admixture, mechanical properties, wood-cement composite.

#### ÚVOD

Drevocementové kompozity (DCK) sú overené ako ekonomicky výhodné plášťové, obkladové materiály. Majú výborné tepelnoizolačné a zvukovoizolačné vlastnosti, ohňovzdornosť, rezistenciu proti hnilobe aj hmyzu. Tak ako drevo, majú dobré pružno-mechanické vlastnosti a dobrú obrábateľnosť bežnými nástrojmi.

Fyzikálne vlastnosti kompozitov s anorganickými spojivami sú významne ovplyvňované množstvom a povahou anorganických spojív a drevným materiálom, ako aj hustotou kompozitu. Podľa literatúry (EISNER 1982), ľahké 360 ÷ 570 kg·m<sup>-3</sup> drevocementové dosky z drevnej vlny patria do triedy horľavosti B1. Ťažké drevocementové dosky 1000 ÷ 1200 kg·m<sup>-3</sup> do triedy horľavosti B1 až A2.

S ohľadom na pevnostné správanie DCK sú dôležité najmä tieto vlastnosti - statická pevnosť v ohybe a modul pružnosti v ohybe. Účelným rozdelením drevných častíc a zodpovedajúcou väzbou s matricou zo spojiva sa vysvetľuje veľký vplyv hustoty na pevnosť v ohybe a modul pružnosti v ohybe. To umožňuje použitie drevocementových dosiek napr. aj pre silne zaťažované konštrukčné prvky. Prítomnosťou vlákien sa podstatne zvyšuje pevnosť v ohybe. Pri hustotách 1200–1300 kg·m<sup>-3</sup> pri 20 hm. % dreva nadobúda pevnosť v ohybe 10–13 MPa (WOLFE *a kol.* 1996).

V súčasnosti rastú požiadavky na veľkoplošné stavebné materiály z hľadiska životného prostredia, napr., recyklovateľnosti, ale aj rozšírenia ich špecifických fyzikálnych vlastností, ktoré sa dajú v kompozitoch do určitej miery meniť prísadami. Prísady musia mať určité fyzikálne vlastnosti aby výsledný výrobok spĺňal očakávané požiadavky. Aktuálnou úlohou je tmiť nežiaduce účinky umelých elektromagnetických polí v priemyselných objektoch a tiež obytných budovách.

Pre tienie elektromagnetického žiarenia bola vyvíjaná modifikovaná drevocementová doska z drevenej vlny s elektricky vodivou prísadou práškovým uhlíkom. V nadväznosti na tento vývoj sa skúmali aj mechanické vlastnosti modifikovaných DCK.

Cieľom tejto práce bolo zistiť vplyv koncentrácie uhlíka a tiež hustoty na reprezentatívne mechanické vlastnosti týchto kompozitov – statická pevnosť v ohybe, modul pružnosti v ohybe a tvrdosť.

## EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Príprava skúškových telies spočívala v tom, že laboratórne sme zmenou tlaku pri lisovaní pripravovali telesá DCK s rôznou hustotou na intervale 350 až 1100 kg·m<sup>-3</sup>, aby bolo možné zistiť závislosť mechanických vlastností od hustoty.

Vyrábané boli vzorky DCK o ploche 150 × 300 mm a tiež 30 × 1000 mm pričom ich hrúbka v závislosti od zvoleného tlaku lisovania bola v intervale 8–12 mm. Skúšobné telesá pre vykonanie mechanických skúšok mali geometrické rozmery 50 × 300 mm. Vlhkosť telies bola v intervale 6–8 %. Na výrobu sme použili drevnú vlnu so smrekového dreva. Základná receptúra pre výrobu jednej vzorky DCK uvedených rozmerov bola rovnaká: hmotnosť drevenej vlny (D) 100 g, Portlandského cementu (C<sub>e</sub>) 100 g a vody (V), 200 g. a množstvo prísady – chloridu vápenatého 4 g. To znamená, že hmotnostné pomery boli V/C<sub>e</sub> = 2, pomer C<sub>e</sub>/D = 1. Správny pomer V/C<sub>e</sub> je podmienený aj pomerom cement/drevo, C<sub>e</sub>/D.

Predpokladá sa, že ak sa hmotnostný pomer C<sub>e</sub>/D zníži pod 2/1 tak drevná vlna nemá adekvátne pokrytie povrchu cementom, čo vedie k slabému spojeniu častíc. Ak sa použije vyšší pomer C<sub>e</sub>/D tak sa redukuje pevnosť v ohybe. Zvýšením pomeru C<sub>e</sub>/D nad 2/1 sa priamo znížil modul pružnosti a pevnosti v ohybe (LEE 1985).

Pevnostné vlastnosti ovplyvňuje aj pomer vody k cementu tzv. vodné číslo, V/C<sub>e</sub>. Vyššie hodnoty vodného čísla pôsobia menej škodlivo na pevnosť, ako jeho nižšie hodnoty. Experimenty podľa literatúry, (SIMATUPANG 1979) preukázali, že kompozit sa správnym pomerom V/C<sub>e</sub> pri lisovaní na menovitú hrúbku neuvoľňuje vodu.

Hustotu DCK dosiek sme stanovili podľa európskej normy, (EN 323, 1992) a ich vlhkosť, (EN 322, 1992).

Vzorky sa vyrábali s rôznou koncentráciou elektricky vodivej prísady – práškového uhlíka s priemernými hodnotami geometrických rozmerov jednej častice: plošný obsah – 3,7 μm<sup>2</sup>, dĺžka – 2,1 μm a šírka – 1 μm. Koncentrácie uhlíka boli 0 %, 5 %, 10 % a 25 % vzhľadom k hmotnosti drevenej vlny.

Mechanickými skúškami sme zisťovali pevnosť v ohybe, pružnosti ohybe a tvrdosť.

Modul pružnosti v ohybe a pevnosť v ohybe sme stanovili podľa normy, (EN 310, 1993). Modul pružnosti v ohybe E<sub>m</sub> sa vypočíta zo vzťahu:

$$E_m = \frac{l_1^3 (F_2 - F_1)}{4bt^3 (a_2 - a_1)} \text{ [MPa]}$$

kde  $l_1$  je vzdialenosť medzi stredmi podpier, [mm],  $b$  - šírka skúšobného telesa [mm],  $F_2 - F_1$  - prírastok zaťaženia v priamkovej časti grafu zaťaženie – priehyb [N], pričom  $F_1$  musí predstavovať približne 10 % a  $F_2$  približne 40 % zlomového zaťaženia,  $a_2 - a_1$  - prírastok priehybu v polovici dĺžky skúšobného telesa (zodpovedajúci prírastku zaťaženia  $F_2 - F_1$ ,  $t$  - hrúbka skúšobného telesa.

Pevnosť v ohybe  $f_m$  sa stanovila podľa rovnice:

$$f_m = \frac{3F_{\max} l_1}{2bt^2} \text{ [MPa]}$$

kde  $F_{\max}$  je zlomové zaťaženie, [N].

Tvrdosť sme určili podľa JANKA. Podstata tejto skúšky spočíva v zistení sily  $F$  v [N] potrebnej na zatlačenie razníka v tvare polgule o polomere  $r = (5,64 \pm 0,01)$  mm do stanovenej hĺbky. Na

stanovenie uvedenej tvrdosti sa použil trhací stroj RAUENSTEIN ZD 10/90. Statickú tvrdosť  $H_J$ , pri vlhkosti  $w$  a zatlačení razníka do hĺbky 5,64 mm vypočítame podľa rovnice

$$H_J = \frac{F}{\pi \cdot r^2} \text{ [MPa]}$$

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Experimentálne stanovené mechanické vlastnosti uhlíkom modifikovaných drevozementových dosiek rôznej hustoty boli spracované dvojfaktorovou analýzou rozptylu tab. 1 a zobrazené graficky na obr. 1 až 3. Závislosti sledovaných veličín od hustoty vyjadrené exponenciálnymi regresnými rovnicami (obr. 1 až 3). Závislosť sledovaných veličín s vyznačením 95 % intervalov spoľahlivosti koncentrácie uhlíka  $c$ , pri všetkých sledovaných hustotách a od hustoty pri všetkých koncentráciách uhlíka sú na obrázkoch (Obr. 4 až 6). V rozpätí hustôt 350 až 1100  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  bola nameraná hodnota modulu pružnosti v ohybe 0,8 až 8,5 GPa a medze pevnosti 2 až 42 MPa. V literatúre (SATTLER 1993) sa uvádzajú pre hustoty 800 až 1800  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  hodnoty modulu pružnosti drevotriekových dosiek 5 až 13 GPa a v lit. (WOLFE a kol. 1996) pre hustotu do 1800  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  medza pevnosti neprekročí 30 MPa. Rozdiely sú spôsobené odlišnou štruktúrou drevotriekových dosiek oproti doskám z drevnej vlny v našich experimentoch

**Tab. 1** Výsledky dvojfaktorovej analýzy rozptylu.

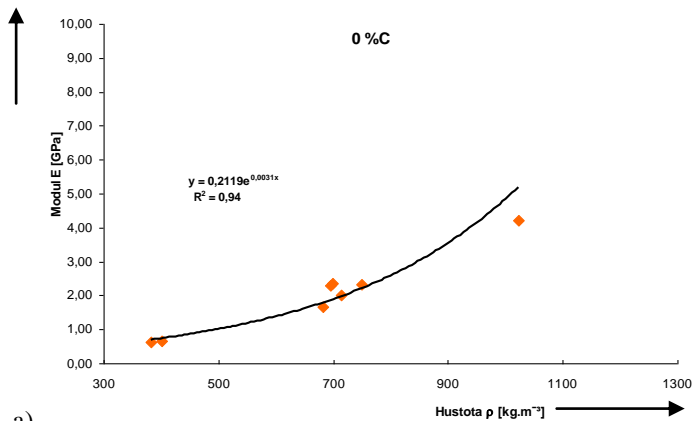
**Tab. 1** Results of two-factor analysis of variance.

Veličina	Zdroj rozptylu	Súčet štvorcov odchýlok SS	Počet stupňov voľnosti DF	Rozptyl MS	F	Hladina významnosti p
Modul pružnosti v ohybe	Obsah C	1,32	3	0,441	0,31	0,816
	Hustota	169	3	56,53	40,07	0,000
	Obsah C $\times$ hustota	2,28	9	0,254	0,180	0,995
Pevnosť v ohybe	Obsah C	127	3	42,49	1,135	0,344
	Hustota	6063	3	2021	54,01	0,000
	Obsah C $\times$ hustota	226	9	25,1	0,67	0,729
Tvrdosť	Obsah C	464	3	154,7	0,262	0,852
	Hustota	116101	2	58050	98,37	0,000
	Obsah C $\times$ hustota	4831	6	805	1,364	0,256

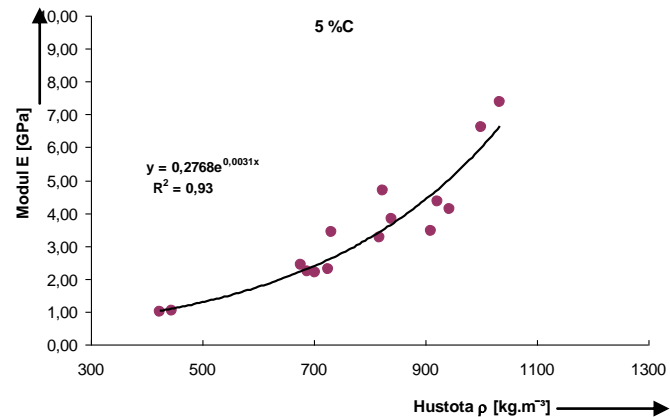
Môžeme konštatovať, že sa potvrdila dobre známa skutočnosť o aglomerovaných materiáloch a tiež o rastlome dreve, že so zvyšovaním hustoty sa silne zvyšujú aj jeho mechanické vlastnosti.

Závislosti sledovaných mechanických veličín  $\sigma_p$ , pevnosť v ohybe,  $E$  – modul pružnosti a  $H_J$  – tvrdosť DCK od hustoty až na DCK bez uhlíka boli dobre aproximované exponenciálnymi regresnými rovnicami. Ako je zrejmé, hodnoty sledovaných veličín v intervale hustoty DCK pod 500  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  boli nízke. Pomerne strmý nárast týchto veličín nastáva nad touto hustotou. Pevnosť v ohybe  $\sigma_p$  sa v intervale hustoty 400 až 900  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  zvyšovala prakticky lineárne. Podobný priebeh je možné pripísať aj závislosti modulu pružnosti  $E$  od hustoty.

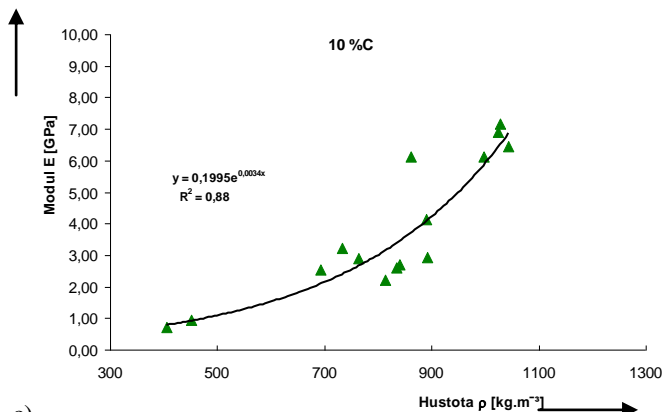
Aj keď sa štatisticky významný vplyv koncentrácie uhlíka na sledované mechanické veličiny nepotvrdil, z obr. 4a) a 5a) je zrejmé, že priemerné hodnoty pevnosť v ohybe a modul pružnosti v ohybe v intervale 0 až 10 hm. % koncentrácie uhlíka narastali. Ani pri najvyššej koncentrácii uhlíka 25 hm. % sa neznížili v pomere k hodnotám nameraných pri koncentrácii uhlíka 0 hm. %.



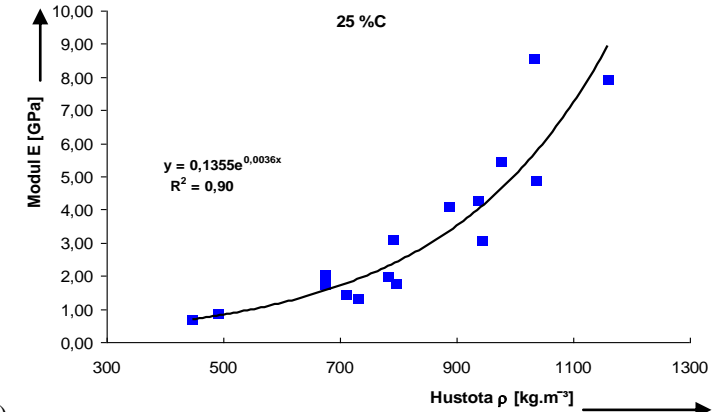
a)



b)



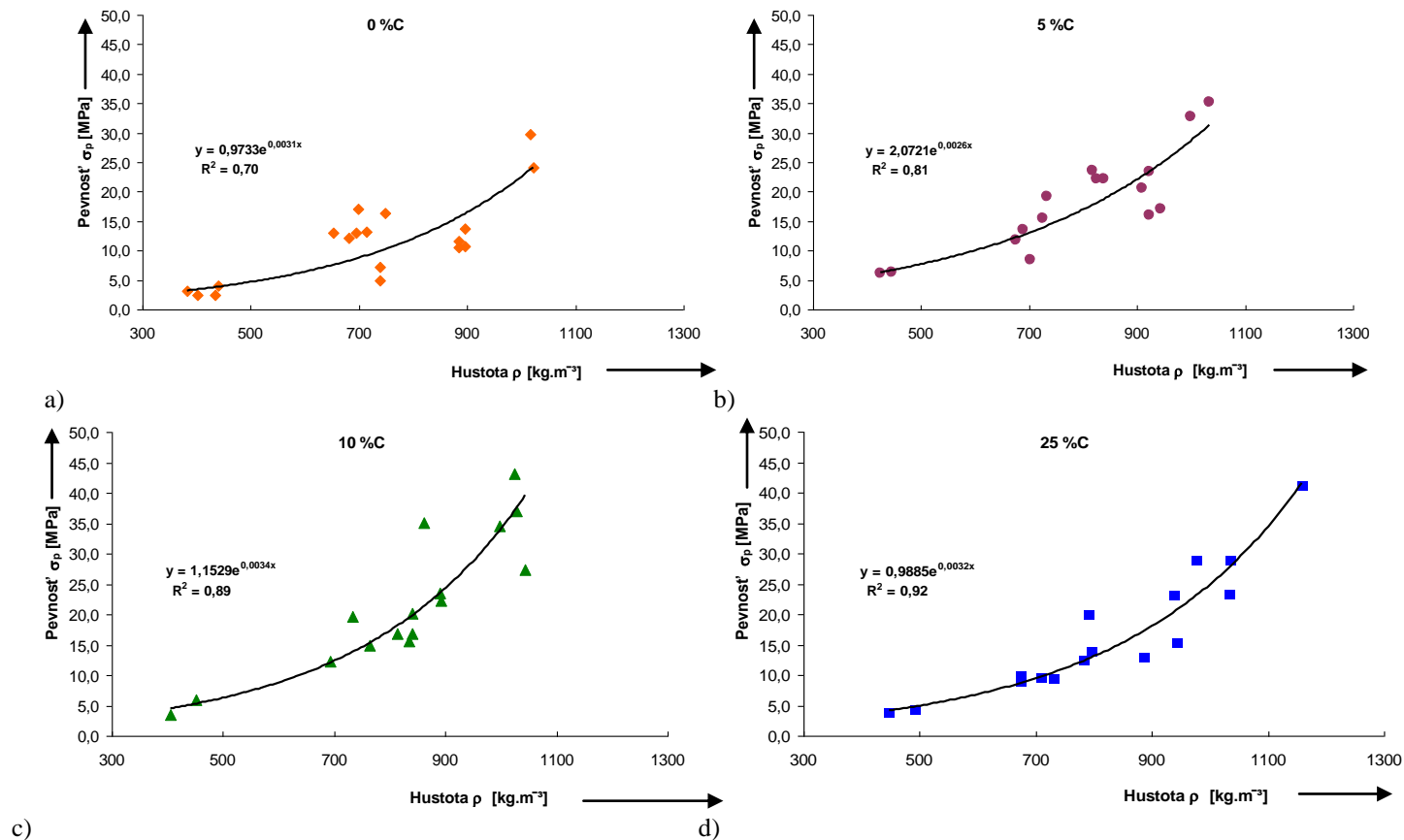
c)



d)

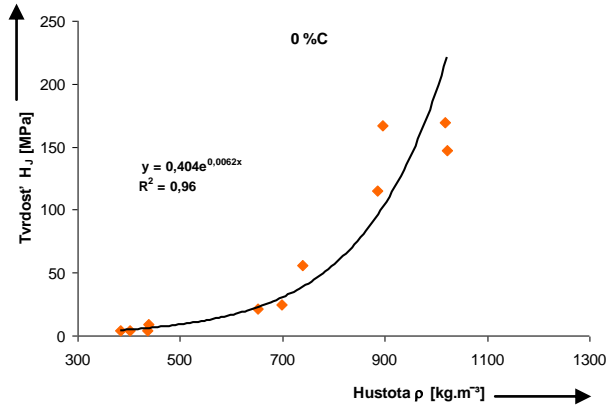
Obr. 1a), b), c), d) Závislosť modulu pružnosti v ohybe E drevocementovej dosky od hustoty  $\rho$  pri koncentráciách uhlíka c: a) 0 hm. %; b) 5 hm. %; c) 10 hm. %; d) 25 hm. %.

Fig. 1a), b), c), d) Dependence of elasticity modulus in bending E on the density of wood-cement boards *in* concentrations of carbon c: a) 0 wt. %; b) 5 wt. %; c) 10 wt. %; d) 25 wt. %.

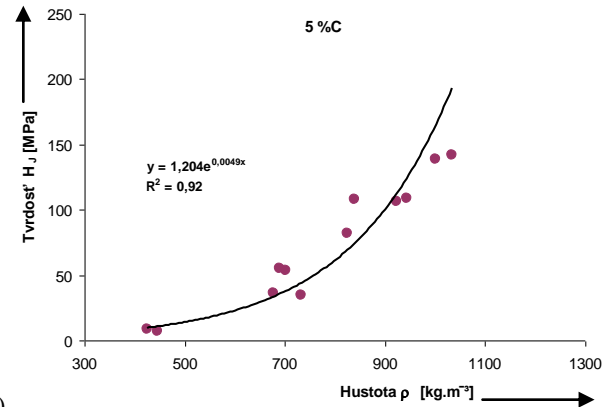


Obr. 2a), b), c), d) Závislosť medze pevnosti v ohybe  $\sigma_p$  drevocementovej dosky od hustoty  $\rho$  pri koncentráciách uhlíka c : a) 0 hm. %; b) 5 hm. %; c) 10 hm. %; d) 25 hm. %.

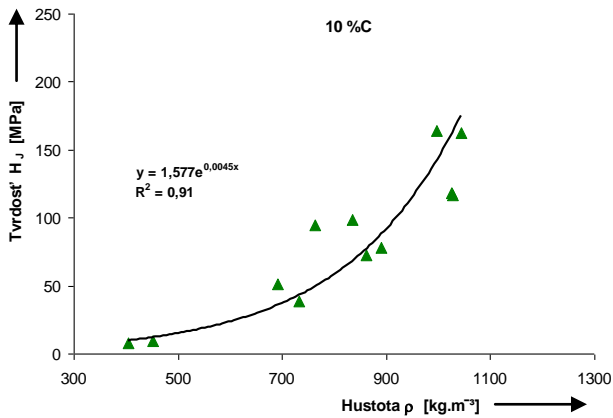
Fig. 2a), b), c), d) Dependence of bending strength  $\sigma_p$  on the density of wood-cement boards *in* concentrations of carbon c: a) 0 wt. %; b) 5 wt. %; c) 10 wt. %; d) 25 wt. %.



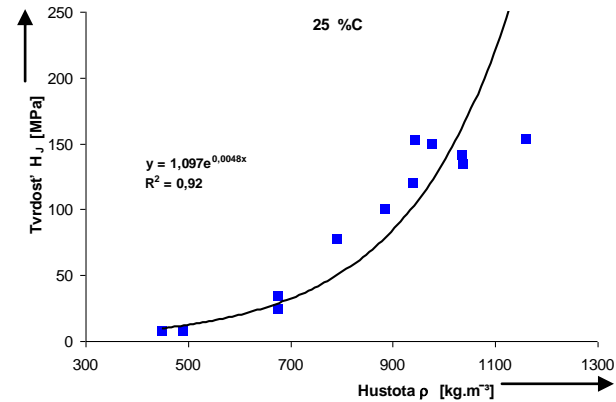
a)



b)



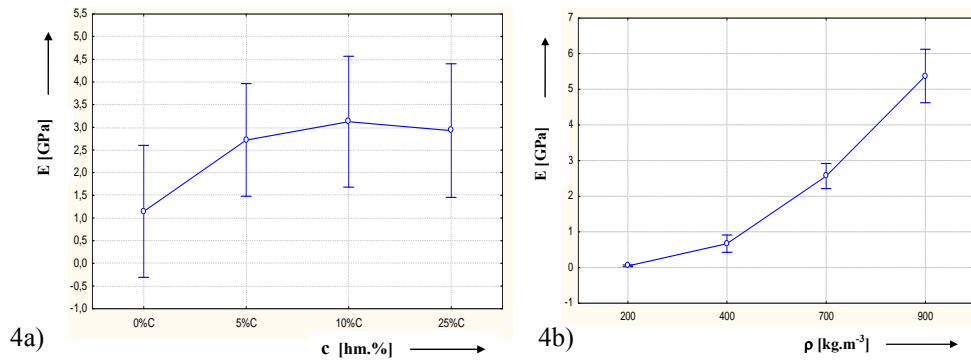
c)



d)

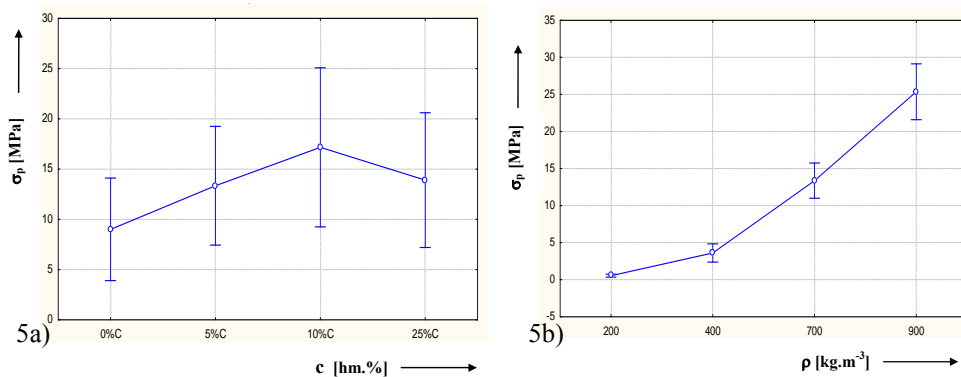
Obr. 3a), b), c), d) Závislosť tvrdosti  $H_J$  drevocementovej dosky od hustoty  $\rho$  pri koncentráciách uhlíka c: a) 0 hm.%; b) 5 hm. %; c) 10 hm. %; d) 25 hm. %.

Fig. 3a), b), c), d) Dependence of hardness  $H_J$  on the density of wood-cement boards *in* concentrations of carbon c: a) 0 wt. %; b) 5 wt. %; c) 10 wt. %; d) 25 wt. %.



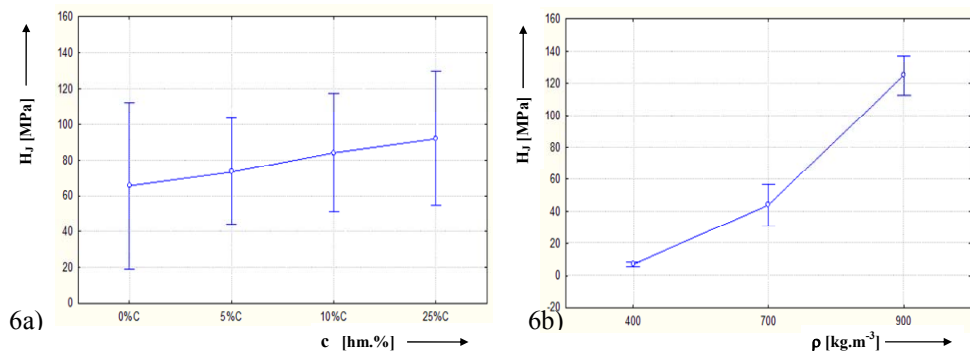
Obr. 4a), b) Závislosť modulu pružnosti v ohybe  $E$  drevocementovej dosky, s vyznačením 95 % intervalov spoľahlivosti 4a) od koncentrácie uhlíka  $c$ , pri všetkých hustotách; 4b) od hustoty pri všetkých koncentráciách uhlíka.

Fig. 4a), b) Dependence of elasticity modulus in bending  $E$  wood-cement board, indicating 95 % confidence intervals 4a) on the concentration of carbon  $c$ , for all densities 4b) on density at all concentrations of carbon.



Obr. 5a), b) Závislosť medze pevnosti v ohybe  $\sigma_p$  drevocementovej dosky, s vyznačením 95 % intervalov spoľahlivosti 5a) od koncentrácie uhlíka  $c$ , pri všetkých hustotách; 5b) od hustoty pri všetkých koncentráciách uhlíka.

Fig. 5a), b) Dependence of bending strength  $\sigma_p$  wood-cement board, indicating 95 % confidence intervals 5a) on the concentration of carbon  $c$ , for all densities 5b) on density at all concentrations of carbon.



Obr. 6a), b) Závislosť medze tvrdosti  $H_J$  drevocementovej dosky, s vyznačením 95 % intervalov spoľahlivosti 6a) od koncentrácie uhlíka  $c$ , pri všetkých hustotách; 6b) od hustoty pri všetkých koncentráciách uhlíka.

Fig. 6a), b) Dependence of hardness  $H_J$  wood-cement board, indicating 95 % confidence intervals 6a) on the concentration of carbon  $c$ , for all densities 6b) on density at all concentrations of carbon.

Z obr. 4b, 5b, 6b je vidieť, že pri vysokých hustotách 700 až 900 kg·m<sup>-3</sup> sa malý reálny vplyv uhlíka na pevnosť a tvrdosť prejavil zvyšovaním ich hodnôt, na intervale koncentrácie uhlíka 0 až 10 hm. %, napriek tomu, že sa štatisticky nedokázal.

## ZÁVER

Na základe štatistickej analýzy nameraných hodnôt môžeme konštatovať, že v prípade drevocementových kompozitov s použitím drevej vlny platilo, že faktor hustota mal štatisticky veľmi významný vplyv na sledované vlastnosti - modul pružnosti v ohybe, pevnosť v ohybe a tvrdosť. Naopak, vplyv faktora koncentrácia uhlíka sa svojim účinkom na uvedené vlastnosti neprejavil ako štatisticky významný činiteľ. Je možné konštatovať, že mechanické vlastnosti  $\sigma_p$ , E a  $H_J$  sa vplyvom zvyšovania koncentrácie uhlíka až do 25 hm. % neznižili. Dá sa konštatovať tendencia ich nárastu. Je možné povedať, že častice uhlíka sú indiferentné a neobsahujú fyzikálno-mechanické väzby. Rovnako aj vzájomná interakcia faktorov - obsah uhlíka a hustoty, bola štatisticky nevýznamná.

Skutočnosť, že modifikáciou DCK uhlíkom do 25 hm. % sa sledované mechanické vlastnosti pevnosť v ohybe, modul pružnosti v ohybe a tvrdosť významnejšie neznižovali považujeme pre aplikáciu tejto prísady s účelom zlepšiť isté elektrofyzikálne vlastnosti za veľmi dôležitú.

## LITERATÚRA

- EISNER, K. 1982. Technológia výroby konštrukčných veľkoplošných materiálov, časť II. Zvolen: Vysoká škola lesnícka a drevárska vo Zvolene, 1982. s. 7–34.
- LEE, A. W. C. 1985. Effect of cement/wood ratio on bedding properties of cement-bonded southern pine excelsior board. *Wood and Fiber Science*, 1985, 17(3): 361–634.
- SATTLER, H. 1993. Werkstoffe aus Holz und anorganischen Bindemitteln. Holz. Erzeugung und Verwendung-Ein Kreislauf der Natur Tagungsband. Garmisch-Partenkirchen. DGfH, 1993. 295 s.
- SIMATUPANG, M. H. 1979. Der Wassebedarf bei der Herstellung zementgerbundener Holzspanplatten. *Holz als roh und Werkstoff*, 1979, 37: 379–382.
- WOLFE, R. W., GJINOLLI, A. 1996. Cement-Bonded Wood Composites as an Engineering material. *Proceedings No 7286, Forest Products Society Madison*, 1996, s. 84–91.
- EN 310:1993 Wood-based panels. Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength.
- EN 322:1992 Wood-based panels. Determination of moisture content. ISBN 0 580 21057 X.
- EN 323:1992 Wood-based panels. Determination of density, ISBN 0 580 21058 8.

### Adresa autorov

Stanislav Košúth  
Technická univerzita vo Zvolene  
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky  
Katedra drevárskych strojov a zariadení  
T. G. Masaryka 24  
960 53 Zvolen  
stanokosuth@yahoo.com

Katarína Makovinyiová  
Technická univerzita vo Zvolene  
Drevárska fakulta  
Katedra matematiky a deskriptívnej geometrie  
T. G. Masaryka 24  
960 53 Zvolen  
kmakovin@vsld.tuzvo.sk