

## Príprava tenkostenných drevovlákno/polypropylénových kompozitov

\*Vladimír Ihnát, Henrich Lübke  
Slovenský drevársky výskumný ústav, Bratislava  
[vojta.sdvu@vupc.sk](mailto:vojta.sdvu@vupc.sk)

Jozef Balberčák, Vladimír Kuňa, Elena Opálená  
Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s., Bratislava

### Abstrakt

Predkladaný článok podáva stručný pohľad na súčasné segmentovanie trhu s drevoplastovými kompozitmi vrátane výskumu v oblasti plošne lisovaných WPC (wood plastic composite). Vlastný experiment bol zameraný na vývoj tenkých drevovlákno-polypropylénových kompozitov s dosiahnutou objemovou hmotnosťou v širokom rozsahu od 0,216 do 1,060g/cm<sup>3</sup>. Na laboratórnu prípravu bolo použité termo- mechanické drevné vlákno a PP strižné vlákno FIBRIBET 19 mm v zastúpení 5 - 40% hm. Pre 10% hm obsah PP boli plošným lisovaním vyrobené tenké kompozity hrúbky 3,2 mm rôznych objemových hmotností. Tvorba trojvrstvého tenkého kompozitu sa uskutočnila s rôznou zanáškou PP v jednotlivých vrstvách (40/10/40). Prognózy rozvoja jednotlivých segmentov trhu s drevoplastovými kompozitmi sú zahrnuté v závere článku.

**Kľúčové slová:** Tenkostenné kompozity, drevné vlákno, polypropylén, objemová hmotnosť, plošné lisovanie, segmenty trhu s drevoplastovými materiálmi.

### Úvod

Prudký nárast drevoplastových materiálov nastal okolo roku 2000 v USA vďaka tzv. decking (exteriérové terasové podlahy). Dnešné drevoplasty sa vyrábajú hlavne extrúziou. Predpokladá sa, že sa jedná o 97% trhu. Jedná sa o úplne recyklovateľný materiál. Typické zloženie pre drevoplastové kompozitné zmesi predstavuje: 50-60% drevnej múčky, 40-45% HDPE, do 5% farebné pigmenty a iné technologické aditíva. V praxi na zlepšenie adhézie medzi drevom a plastmi sú polyméry najčastejšie očkované anhydridom kyseliny maleínovej (od cca 3%). Prím medzi plastmi, ktoré sa používajú pri výrobe WPC (wood plastic composite) má polyetylén (až 65%), v menších množstvách sa používa PVC a polypropylén, zvyšok tvoria ostatné plasty. Existuje veľa druhov termoplastov avšak iba tie je možné využívať, ktoré majú teplotu tavenia nižšiu ako je teplota degradácie dreva (Tab. 1).

Tab. 1: Termoplasty používané v matici drevoplastových materiálov.

Polymér	Pracovná teplota pri extrúzii (°C)	Hustota (g/cm <sup>3</sup> )
PS _ polystyrén	170 - 225	1,05
LDPE_ nízko hustotný polyetylén	110 - 170	0,90 - 0,92
HDPE_ vysoko hustotný polyetylén	140 - 190	0,94 - 0,96
PP_ polypropylén	170 - 200	0,90 – 0,91
PVC_ polyvinyl chlóríd (tvrdý)	165 - 200	1,32 – 1,44
ABS_ akrylonitril-butadién-styrén	165 - 220	1,02

PLA_ kyselina polymliečná	145 - 175	1,24
PHB_ polyhydroxybutyrát	160 - 180	1,26
PCL_ polykaprolaktón	70 - 110	1,14

Na extrúziu je vhodná drewná múčka frakcie (0,4 - 0,25 mm), zatiaľ čo jemnejšia frakcie (0,177 – 0,149 mm) je vhodná na vstrekovanie. Technologické nedostatky vznikajú pri agregácii drewných častíc (zhlukovanie), kedy nedochádza k úplnému obaleniu dreva polymérom. Materiálovým nedostatkom je vysoká adsorpcia vlhkosti, čo má za následok zlé mechanické vlastnosti a znižuje rozmerovú stálosť kompozitov. Čím väčší je obsah dreva, tým vyššia je tuhosť kompozitu. Keď sa obsah dreva zvýši nad 65% hm, výsledná absorpcia vody sa zvýši, pretože je menej pravdepodobné, že bude drevo úplne zapuzdrené matricovým polymérom. Drewná múčka za bežných podmienok zvyčajne obsahuje najmenej 4% vlhkosti, ktorá sa musí pred alebo počas spracovania odstrániť na cca do 1%, a potom má byť skladovaná v zapečatených plastových vreciach až do zmiešania s polymérom. Hustota drewnej múčky sa pohybuje od 0,2 – 0,3 g/m<sup>3</sup>. Fyzikálnymi a chemickými metódami je možné zlepšiť medzifázové interakcie medzi časticami plniva (dreva) a polymérnou matricou. Zdá, že ošetrovanie peroxidom a silánmi zaručuje najlepšie výsledky, pokiaľ ide o mechanické vlastnosti, zatiaľ čo ošetrovanie alkáliami a acetyláciou poskytujú najvýraznejšie zlepšenie tepelnej a rozmerovej stability.

### Mechanické a fyzikálne vlastnosti WPC

Hustota WPC je všeobecne vyššia ako hustota masívneho dreva, čo obmedzuje možnosti použitia WPC. Hustotu WPC možno znížiť až o 30% pridaním nadúvadí, vďaka ktorým je hustota WPC podobná ako u skutočného dreva. Hustoty WPC sú reportované okolo 1.0 g/cm<sup>3</sup> pre polykarbonáty, 1.03 g/cm<sup>3</sup> pre PVC, 0.87 g/cm<sup>3</sup> pre PS, 0.9 - 1.05 g/cm<sup>3</sup> pre PP a 0.95 g/cm<sup>3</sup> pre HDPE. Samozrejme, uvedené hodnoty značne ovplyvňuje hustota použitého dreva. V dnešnej dobe sú aplikácie WPC obmedzené pevnosťou materiálu. Dôvodom je, že pevnosť v ohybe pri plastoch použitých pri výrobe WPC je približne 40–80 MPa, zatiaľ čo modul pružnosti v ohybe je iba približne 1,5–2,5 GPa. Zodpovedajúce hodnoty pre prírodné drevo môžu byť až 80 MPa pre pevnosť v ohybe a 9 GPa pre modul pružnosti v ohybe. Nízky modul pružnosti v ohybe pre plasty sa odzrkadlí na celkových mechanických vlastnostiach pri konečnom produkte z WPC. Jednoducho povedané akákoľvek palubovka vyrobená z WPC sa pri rovnakom zaťažení bude ohýbať oveľa viac ako rovnaká drewná paluba, čo je nežiaduce. Mechanické vlastnosti sa zisťujú na malých skúšobných telieskach (Tab. 1, Tab. 2):

Tab. 1: Mechanické vlastnosti WPC zloženého z polypropylénu a drewnej múčky verzus drewného vlákna. Hodnoty v zátvorkách predstavujú použitie kompatibilizujúceho prostriedku.

	PP	PP/drewná múčka 60/40	PP/drewné vlákno 60/40
<b>Objemová hmotnosť</b> (g/cm <sup>3</sup> )	0,9	1,05 (1,05)	1,03 (1,03)
<b>Pevnosť v ťahu</b> (MPa)	28,5	25,4 (32,3)	28,2 (52,3)
<b>Modul pružnosti v ťahu</b> (MPa)	1,53	3,87 (4,1)	4,2 (4,23)
<b>Pevnosť v ohybe</b> (MPa)	38,3	44,2 (53,1)	47,9 (72,4)
<b>Modul pružnosti v ohybe</b> (MPa)	1,19	3,03 (3,08)	3,25 (3,22)

\*zdroj: Stark a Rowlands 2003.

Tab. 2: Mechanické vlastnosti WPC zloženého z polyetylénu a drevnej múčky s prídavkom kompatibilizujúcich prostriedkov: maleic anhydride polyethylene (MAPE), bis(triethoxysilylpropyl)tetrasulfide (Si69), vinyltrimethoxysilane (VTMS).

Zloženie WPC	Pevnosť v ťahu (MPa)	Modul pružnosti v ťahu (MPa)
drevná múčka (50%) + PE (43%) + lubrikanty (7%)	5,31	1,99
drevná múčka (50%) + PE (40%) + lubrikanty (7%) + MAPE (3%)	12,5	4,23
drevná múčka (50%) + PE (40%) + lubrikanty (7%) + Si69 (3%)	6,14	3,25
drevná múčka (50%) + PE (40%) + lubrikanty (7%) + VTMS (3%)	9,42	4,26

\*zdroj: Zhou a kol. 2017

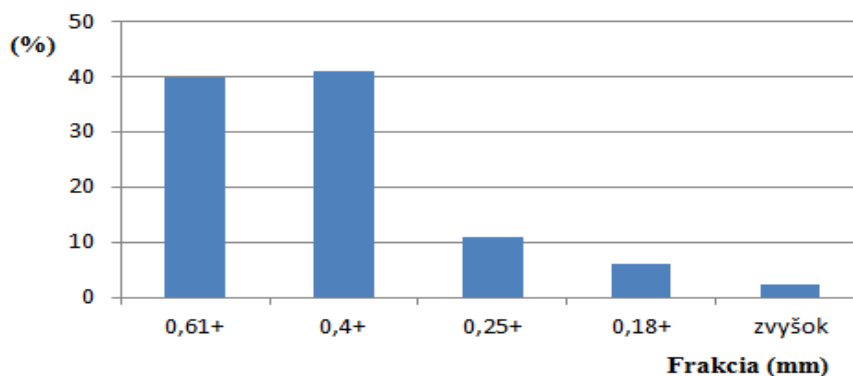
### Drevoplastové materiály plošne lisované- závery literárnej rešerše

Ako alternatívu k bežným technikám pri výrobe panelov s veľkými rozmermi, možno považovať technológiu plošného lisovania WPC (flat pressed) (Benthien et al. 2012). Cieľom realizovaných štúdií bolo identifikovať a analyzovať hlavné parametre ako napr. hustota vyrobených panelov, rýchlosť toku taveniny polyméru, obsahu a veľkosti plniva t.j. drevnej múčky/vlákná, spojovacieho činidla, teploty lisu a pod. Sledovali sa pritom vlastnosti ako absorpcia vody, napučanie hrúbky, vnútorná pevnosť spojov, moduly pružnosti v ťahu a v ohybe a pod. Vo všeobecnosti aj pre WPC panely platí, že zvýšenie hustoty zvyčajne vedie k zlepšeniu mechanických vlastností a tiež že nižší obsah dreva spôsobuje zníženie absorpcie vody. Zdá sa, že modul pružnosti v ohybe má svoje maximum niekde na úrovni 50–70% podielu dreva. Ako materiál sa používa drevné vlákno, ktorého vlhkosť sa pohybuje do 2-3%. Priemerná dĺžka vlákna sa pohybuje od 0,8 mm do 1,5 mm, také ako sa používa na výrobu MDF (Ayrilmis et al. 2011, Jarusombuti a Ayrilmis 2011) ale zisťoval sa aj vplyv iných plnív (drevná múčka, drevné triesky a štiepky), čo značne ovplyvňuje hustotu vyrobenej dosky (800, 900, and 1000 kg·m<sup>-3</sup>). Všeobecne je snaha o najvyšší obsah dreva, a ten sa všeobecne pohybuje od 40% do cca 60%. Štúdie ukazujú, že tepelná úprava vlákien dreva (120 - 180°C) počas 20-40 min v autoklavoch významne zvyšuje rozmerovú stabilitu WPC (Ayrilmis et al. 2011).

Drevo sa mieša s polymérom hlavne vo forme prášku, ktorý sa získa mletím na nožových mlynoch so sitom US 40- 80 mesh. Prídavok spojovacieho činidla je asi 3% napr. MAPP (Jarusombuti a Ayrilmis 2011), prídavok aditív proti požiaru je až do 10% (Ayrilmis et al. 2012). Po zmiešaní drevných častíc a polymérneho prášku, ktoré sa uskutoční v zmiešavacích bubnoch a trvá aspoň 10 min sa dosky môžu aj predlisovať na studeno. Na zabránenie priameho kontaktu polymérneho prášku s horúcimi lisovanými kovovými platňami počas zahrievania a lisovania sa využíva teflón alebo voskový papier. Lisovacia teplota musí byť minimálne mierne nad bodom topenia plastového komponentu. Bežná lisovacia teplota sa tak pohybuje okolo 160 - 200°C, lisovací čas pre bežné hrúbky dosiek predstavuje 6 - 10 min (Lyutyy et al. 2014). Uvádzame niektoré nastavené parametre pri lisovaní podľa jednotlivých autorov: maximálny lisovací tlak 3.5 MPa, 170°C, 6 min (Jarusombuti a Ayrilmis, 2011), resp. 4.5 MPa, 210°C, 8 min (Ayrilmis et al. 2012), resp. 3.5 MPa, 180°C, 8.0 min (Bekhta et al. 2016). Chladienie môže prebiehať pri 30-40°C. Výsledná hustota dosiek je cca od 800 do 1000 kg·m<sup>-3</sup> (Lyutyy et al. 2014).

## VLASTNÝ EXPERIMENT

Drevné vlákno bolo získané termo-mechanickým rozvlákňovaním bez pridania chemikálie. Mokrú vlákno bolo odvodnené, zlisované do mäkkého vlákňitého koberca 20 mm a sušené. Po vysušení bolo vlákno rozdrvené na nožovom mlyne Brabender. Získané vlákno bolo sušené pri teplote 103°C až do ustálenia vlhkosti do max. 2%. Sitovými skúškami bolo stanovené frakčné zloženie vlákien (Obr. 1). Sitovanie sa realizovalo 10 min na vzorke 30g vlákna.



Obr. 1: Termo- mechanické vlákno- frakčné zloženie.

Na experimentálne testovanie bol použitý polypropylén vo forme vlákien dĺžky 19 mm FIBRIBET (PP vlákna sa pridávajú do betónu v množstve 0,9 kg na 1 m<sup>3</sup> betónu ako výstuž proti praskaniu).

### Stanovenie špecifickej hmotnosti PP

Bežne uvádzaná hustota polypropylénu sa pohybuje okolo 0,900 g/cm<sup>3</sup>. Polypropylénová výstuž FIBRIBET sa vyrába ako strižné vlákno, ktorého jednotlivé vlákna sú vzájomne združené v zhlukoch. Objemová hmotnosť v takomto stave predstavuje hodnotu okolo 0,2 g/cm<sup>3</sup>. Zhluky PP vlákna je možné „rozčesať“ a vlákna tak získajú „nadýchaný“ objem s hmotnosťou iba 0,0064 g/cm<sup>3</sup> ak je vzniknutá „vata“ voľne ložená. Objemová hmotnosť bola meraná v kockovom prípravku o rozmeroch 10 x 10 x 10 cm<sup>3</sup>, ktorý bol zhotovený z plexiskla (Obr. 2). Takáto PP „vata“ po jemnom zhutnení, t.j. stláčaní až do odpruženia, má objemovú hmotnosť 0,048 g/cm<sup>3</sup>.

### Stanovenie špecifickej hmotnosti drevného vlákna

Objemová hmotnosť bežne vyrábaných vlákňitých MDF/HDF sa pohybuje v rozmedzí 0,724 – 0,965 g/cm<sup>3</sup> (Weyerhaeuser). Ide o dosky zalisované za tepla, t.j. zalisované bez odpruženia. Odpruženiu zamedzuje aj fakt, že použité lepidlá vytvrdzujú pod tlakom a tým si doska drží svoju hrúbku po uvoľnení lisu. Nižšiu objemovú hmotnosť je možné dosiahnuť pri mäkkých izolačných doskách vyrobených mokrou cestou 0,24 g/cm<sup>3</sup> alebo dokonca pri izolačných doskách vyrobených suchou cestou (napr. STEICOflex) iba 0,05 - 0,06 g/cm<sup>3</sup>. Objemovú hmotnosť pripraveného drevného vlákna sme zisťovali podobným spôsobom v kockovom prípravku. Voľne sypané vlákno bolo jemne zavibrované, pričom sa dosiahla objemová hmotnosť 0,075 g/cm<sup>3</sup>. Vlákno zhutnené do odpruženia dosahovalo objemovú hmotnosť 0,125 g/cm<sup>3</sup>. Kocka vlákien sa zhutnila z pôvodných 10 cm na 6,5 cm.



Obr. 2: Stanovenie špecifickej hmotnosti vstupných materiálov: a) zhutnená PP vata s objemovou hmotnosťou  $0,048 \text{ g/cm}^3$ , b) voľne sypané-vibrované drevné vlákno s objemovou hmotnosťou  $0,075 \text{ g/cm}^3$ , c) zhutnené drevné vlákno s objemovou hmotnosťou  $0,125 \text{ g/cm}^3$ .

### Tvorba tenkého kompozitu drevovlákno/PP

Tenký kompozit WPC sme vytvorili zmiešavaním drevného vlákna s prídavkom PP vaty v množstve 5, 10, 15, 20, 30 a 40% hm. Vrstvený koberec sme pripravili za pomoci formy  $20 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 333 \text{ mm} = 1000 \text{ cm}^3$ . Teoretický rozmer vylisovanej dosky je teda:  $3,5 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 333 \text{ mm} = 174,8 \text{ cm}^3$  a plánovaná objemová hmotnosť predstavuje:  $80 \text{ g} / 174,8 \text{ cm}^3 = 0,458 \text{ g/cm}^3$ . Lisovanie sa uskutočnilo pomocou podložiek hrúbky 3,5 mm po dobu 2 min. Vzorky boli chladené pod tlakom pri teplote  $20^\circ\text{C}$ . Z každej vzorky sme vyhotovili dva kusy pre stanovenie mechanických a fyzikálnych vlastností. Miešanie sa uskutočnilo podľa navážok:

drevo 76,0 g	drevo 72,0 g	drevo 68,0 g	drevo 64,0 g
PP 4,0 g	PP 8,0 g	PP 12,0 g	PP 16,0 g
spolu 80,0 g	spolu 80,0 g	spolu 80,0 g	spolu 80,0 g
5% hm.	10% hm.	15% hm.	20% hm.
drevo 56,0 g	drevo 48,0 g		
PP 24,0 g	PP 32,0 g		
spolu 80,0 g	spolu 80,0 g		
30% hm.	40% hm.		

Laboratórne dosiahnuté výsledky objemových hmotností vrátane najdôležitejších technologických parametrov pri výrobe vzoriek sú uvedené v Tab. 3. Lisovanie sa uskutočnilo pomocou vymedzovacích podložiek hrúbky 3,2 mm. Uvedené namerané hodnoty boli získané až po klimatizovaní vzoriek v laboratórnej miestnosti pri teplote cca  $20^\circ\text{C}$ .

Tab. 3: Tenký kompozit drevovlákno/PP – laboratórne pripravený pre rôzne zanášky PP vaty.

Vzorka mäkká	hrúbka vrstveného koberca (mm)	20 mm
	hrúbka koberca po zalisovaní (mm)	3,2 mm
	teoretická objemová hmotnosť kompozitu ( $\text{g/cm}^3$ )	$0,458 \text{ g/cm}^3$
	teplota teplého lisu ( $^\circ\text{C}$ )	$200^\circ\text{C} (\pm 5^\circ\text{C})$
	zádržný čas v teplom lise (min)	2 min
	teplota studeného lisu ( $^\circ\text{C}$ )	$20^\circ\text{C}$

zádržný čas v studenom lise (min)			2 min
obsah PP (hm.%)	konečná hrúbka (mm)	dosiahnutá objemová hmotnosť kompozitu (g/cm <sup>3</sup> )	pozn.
5%	3,3	0,432	hrany sa drobia
10%	3,3	0,431	
15%	3,2	0,439	
20%	3,2	0,440	začínajú sa zvýrazňovať PP vlákna na povrchu
30%	3,2	0,447	výrazná tvrdosť, PP vlákna sú zvýraznené na ploche, začínajú vznikať dutiny po zhlukoch PP
40%	3,2	0,448	výrazná tvrdosť, PP vlákna sú zvýraznené na ploche, dutiny po zhlukoch PP sú výrazné

Pohľad na vyrobené vzorky je na Obr. 3. Z vizuálneho hodnotenia, ak neberieme do úvahy výsledky mechanických a fyzikálnych testov, ako najvhodnejší pomer miešania sa javí rozsah 10 až 15% PP vaty. Miešanie pri 10% je kvalitatívne rovnomernejšie a bez vytvárania zhlukov PP. Zhluky PP vlákien sa začínajú objavovať na povrchu dosky pri 15% obsahu PP vaty.



Obr. 3: Laboratórne vyrobené tenké kompozity drevné vlákno/PP hrúbky 3,2 mm. Obsah polypropylénu 5, 10, 15, 20, 30 a 40%. Detail na povrch vzorky- drevné vlákno/PP (10% hm).

Pre 10%-nu zanášku PP vaty sme v ďalšom kroku pripravili vzorky rôznych objemových hmotností aby sme pokryli, čo najširší hmotnostný rozsah (Tab. 4). Lisovanie sa uskutočnilo opäť pomocou podložiek hrúbky 3,5 mm po dobu 2 min. Vzorky boli chladené pod tlakom pri teplote 20°C. Z každej vzorky sme vyhotovili dva kusy pre stanovovanie mechanických a fyzikálnych vlastností. Miešanie sa uskutočnilo podľa navážok:

drevo 225,0 g	drevo 160,0 g	drevo 144,0 g	drevo 108,0 g
PP 25,0 g	PP 20,0 g	PP 16,0 g	PP 12,0 g
spolu 250,0 g	spolu 200,0 g	spolu 160,0 g	spolu 120,0 g

drevo 72,0 g	drevo 54,0 g	drevo 36,0 g
PP 8,0 g	PP 6,0 g	PP 4,0 g
spolu 80,0 g	spolu 60,0 g	spolu 40,0 g

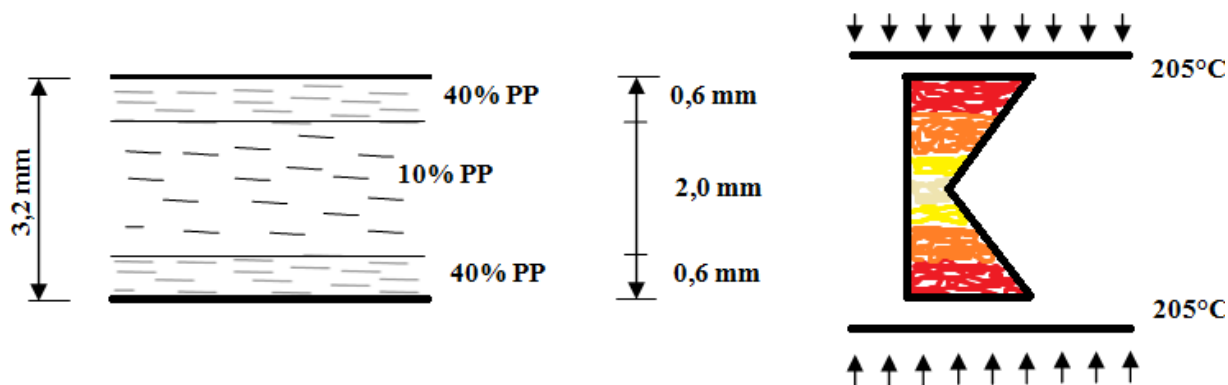
Tab. 4: Tenký kompozit WPC – laboratórne pripravený pre 10% zanášku PP vaty.

hrúbka koberca po zalisovaní (mm)		3,2 mm	
teplota teplého lisu (°C)		200°C (± 5°C)	
zádržný čas v teplom lise (min)		2 min	
teplota studeného lisu (°C)		20°C	
zádržný čas v studenom lise (min)		2 min	
obsah PP (hm.%)	konečná hrúbka (mm)	dosiahnutá objemová hmotnosť kompozitu (g/cm <sup>3</sup> )	pozn.
10%	4,0	1,060	lis. tlak 130 g/cm <sup>2</sup>
	3,3	0,939	lis. tlak 100 g/cm <sup>2</sup>
	3,2	0,872	lis. tlak 50 g/cm <sup>2</sup>
	3,2	0,662	lis. tlak 30 g/cm <sup>2</sup>
	3,2	0,431	
	3,2	0,335	z povrchu sa začína vytrhávať vlákno
	3,2	0,213	hraničná hodnota pre manipulovateľnosť, z povrchu sa vytrháva vlákno, hrany sa začínajú drobiť

Z vizuálneho hľadiska, opäť bez toho aby sme brali do úvahy fyzikálno-mechanické vlastnosti, dosky niekde okolo objemovej hmotnosti cca 660 g/cm<sup>3</sup> a vyššie získavajú výrazne tvrdší povrch vďaka PP vláknám vystupujúcim na povrch dosiek.

### Tvorba viacvrstvého tenkého kompozitu drevovlákno/PP

Jedna z možností pre tvorbu viacvrstvových kompozitov je kalkulovať s rôznou zanáškou PP vaty v jednotlivých vrstvách. V tomto prípade by sa využila výhoda plošného lisovania, hlavne priebehu teplôt v lisovanom koberci. PP vlákno sa začína taviť v oboch povrchových vrstvách zatiaľ čo v stredovej vrstve ešte stále drží svoj tvar. Dosky takto získajú tvrdší povrch (škrupinu) a mäkké jadro. Princíp tvorby takéhoto kompozitu je znázornený na Obr. 4. Obr. 5 zobrazuje laboratórne vrstvenie vláknitého trojvrstvého koberca s odlišným obsahom polypropylénu v stredovej a v povrchových vrstvách.



Obr. 4: Princíp tvorby viacvrstvého kompozitu drevovlákno/ PP.





Obr. 5: Vrstvenie kompozitu drevovláknno/ PP: a) pohľad na pridávanie stredovej vrstvy, b) trojvrstvový koberec.

Pre laboratórnu prípravu sme zvolili obsah PP 40% hm pre povrchové vrstvy a 10% hm pre stredovú vrstvu, aby sme pokryli, čo najširší použiteľný hmotnostný rozdiel PP. Lisovanie sa uskutočnilo opäť pomocou podložiek hrúbky 3,5 mm. Spôsob lisovania ostáva nezverejnený. Vzorky boli chladené pod tlakom pri teplote 20°C. Z každej vzorky sme vyhotovili dva kusy pre stanovovanie mechanických a fyzikálnych vlastností. Miešanie sa uskutočnilo podľa navážok:

### **vzorka 1**

povrchová vrstva 11 g	<u>povrchová vrstva (2x)</u>	<u>stredová vrstva</u>
stredová vrstva 38 g	drevo 6,6 g	drevo 34,2 g
<u>povrchová vrstva 11 g</u>	<u>PP (40%) 4,4 g</u>	<u>PP (10%) 3,8 g</u>
hmotnosť vzorky <b>60 g</b>	spolu 11,0 g	spolu 38,0 g

### **vzorka 2**

povrchová vrstva 22 g	<u>povrchová vrstva (2x)</u>	<u>stredová vrstva</u>
stredová vrstva 76 g	drevo 13,2 g	drevo 68,4 g
<u>povrchová vrstva 22 g</u>	<u>PP (40%) 8,8 g</u>	<u>PP (10%) 7,6 g</u>
hmotnosť vzorky <b>120 g</b>	spolu 22,0 g	spolu 76,0 g

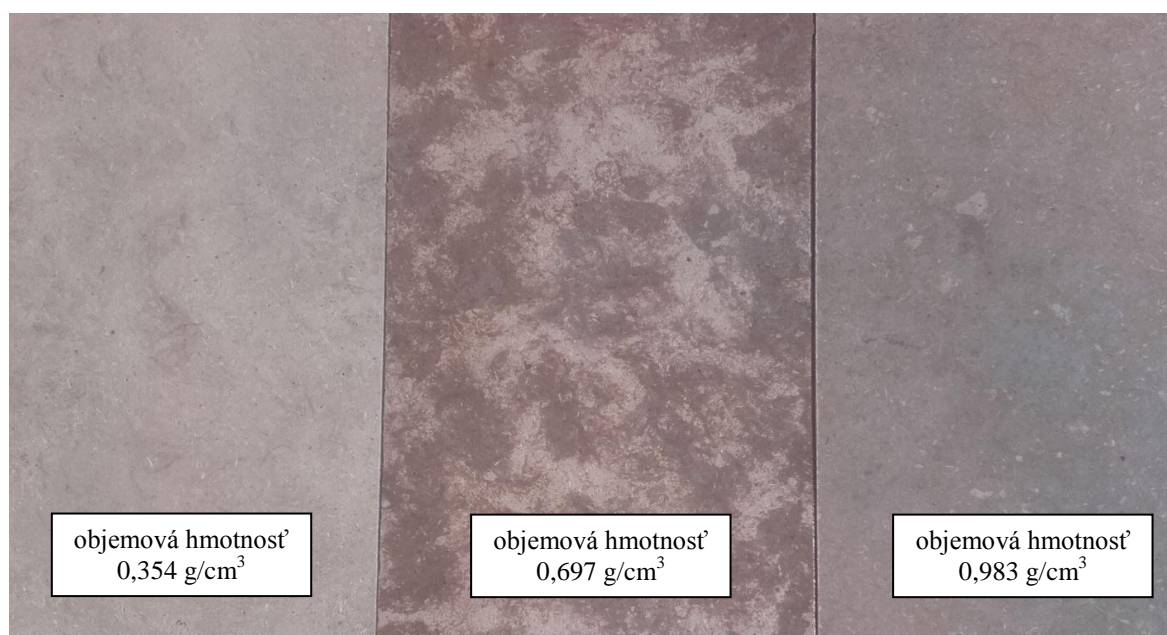
### **vzorka 3**

povrchová vrstva 33 g	<u>povrchová vrstva (2x)</u>	<u>stredová vrstva</u>
stredová vrstva 114 g	drevo 19,9 g	drevo 102,6 g
<u>povrchová vrstva 33 g</u>	<u>PP (40%) 13,2 g</u>	<u>PP (10%) 11,4 g</u>
hmotnosť vzorky <b>180 g</b>	spolu 33,0 g	spolu 114,0 g



Tab. 5: Trojvrstvový tenký kompozit laboratórne pripravený.

Vzorka	hrúbka koberca po zalisovaní (mm)				3,2 mm
	teplota teplého lisu (°C)				200°C (± 5°C)
	zádržný čas v teplom lise (min)				2 min
	teplota studeného lisu (°C)				20°C
	zádržný čas v studenom lise (min)				2 min
		povrchové vrstvy obsah PP (hm)	stredová vrstva obsah PP (hm)	konečná hrúbka (mm)	dosiahnutá objemová hmotnosť kompozitu (g/cm <sup>3</sup> )
1	40%	10%	3,2	0,354	vrstvenie koberca 1,5-2 cm
2			3,2	0,697	vrstvenie koberca 3-4 cm
3			3,2	0,983	vrstvenie koberca 5,5-6,5 cm



Obr. 6: 3-vrstvová drevovláknno/PP 40/10/40, hrúbka 3,2 mm, lisovacia teplota 200°C, lisovací čas 2 min.

Na obr. 6 sú vyobrazené tri laboratórne pripravené vzorky rôznych objemových hmotností v rozsahu cca od 0,3 do 1,0 g/cm<sup>3</sup>. Na povrchu dosiek nízkej objemovej hmotnosti prevažuje drevné vlákno, povrch nie je dostatočne rovnomerný, čo zapríčiňuje nemožnosť tvorby rovnomernejšieho koberca pri obsahu PP 40%. Táto skutočnosť zaniká pri vyšších lisovacích tlakoch, kedy sa vytvárajú dosky s vyššou objemovou hustotou. Fláky na obr. 6 v strede pekne znázorňujú prevahu drevných resp. PP vlákien. Obsah drevných vlákien postupne z povrchu ustupuje pri vysokých lisovacích tlakoch (nad 100 - 130 g/cm<sup>2</sup>), kedy sa lisujú dosky s vysokou objemovou hustotou a roztavený PP vystupuje na povrch.

## ZÁVER

V globále sú prognózy pre rozvoj trhu s drevoplastovými produktmi pozitívne. Trh s WPC sa momentálne kategorizuje podľa hlavnej polymérnej zložky. Očakáva sa, že

polypropylénový segment zaznamená rozmach, a to vďaka vode odolným povrchom na nábytok alebo nábytky určené pre meniteľnú teplotu a pod. Všeobecne sa očakáva rastúci dopyt po termoplastoch z polyvinylchloridu v automobilovom priemysle v dôsledku vynikajúcich izolačných vlastností. Polyetylénový segment je najrýchlejšie rastúci z dôvodu vysokého dopytu po nábytku pre domácnosti, kancelárie, reštaurácie, rezorty a nemocnice. Okrem toho sa očakáva rastúci dopyt po polyetylénových kompozitoch v automobilovom priemysle v dôsledku jeho nízkych nákladov, vysokej tuhosti a biologickej odbúrateľnosti. Rýchly nárast zaznamenal hlavne vysoko hustotný HDPE. Očakáva sa aj rastúci dopyt po polystyrénových a akrylonitril-butadién-styrénových (ABS) kompozitoch pre kuchynský nábytok, sprchové vaničky, vane, parapety a vírivé vane, z dôvodu jeho vysokej životnosti a ekologických vlastností. Z pohľadu biologickej odbúrateľnosti plastov samozrejme sa dnes už dá predpokladať nástup kopolymérov na báze kyseliny polymliečnej (PLA) a polyhydroxybutyrátu (PHB) avšak silnou prekážkou pre ich mixovanie s drevom budú vstupné materiálové náklady.

Z technologického hľadiska sa zdá v dôsledku zvyšovania životnosti drevoplastových výrobkov a z pohľadu znižovania chybovosti, ktorá vzniká v dôsledku exteriérových vplyvov, že by mohol narastať záujem vývoj v oblasti koextrúzie. Z hľadiska relatívne jednoduchšej výroby by mohol nastať rozmach taktiež plošne lisovaných drevoplastových segmentov, aj keď tieto zrejme budú konkurovať silne zastúpeným aglomerovaným materiálom a kompozitným materiálom na báze dreva. K ich zatraktívneniu by mohol napomôcť rozvoj v oblasti povrchového dizajnu, ako je napríklad metóda embosing. Tvárové lisovanie a hlavne vstrekovanie by mohlo zohrať svoju úlohu v spojení s termoplastami (PP) určenými na potravinárske účely.

**„Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na Základe Zmluvy č. APVV-17-0330“.**

## POUŽITÁ LITERATÚRA

1. Ayrimis, N., Jarusombuti, S., Fueangvivat, V., Bauchongkol, P., 2011: Effect of thermal-treatment of wood fibres on properties of flat-pressed wood plastic composites. *Polymer Degradation and Stability* 96(5): 818-822.
2. Ayrimis, N., Benthien, J.T., Thoemen, H. et al., 2012: Effects of fire retardants on physical, mechanical, and fire properties of flat-pressed WPCs. *Eur. J. Wood Prod.* 70, 215–224.
3. Bekhta, P., Lyuty, P., Ortynska, G., 2016: Effects of Different Kinds of Coating Materials on Properties of Flat Pressed WPC Panels. *Drvna industrija* 67(2): 113-118.
4. Benthien, J.T., Ohlmeyer, M., Fruhwald, A., 2011: Wood plastic composites (WPC) flat pressed and large-dimensioned. Poster article, Department of Wood Science and Technology, Hamburg University.
5. Benthien, J.T., Thoemen, H., 2012: Effects of raw materials and process parameters on the physical and mechanical properties of flat pressed WPC panels. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 43(4): 570-576.

6. Jarusombuti, S., Ayrilmis, N., 2011: Surface characteristics and overlaying properties of flat-pressed wood plastic composites. *European Journal of Wood and Wood Products* 69: 375–382.
7. Lyutyy, Pavlo; Bekhta, Pavlo; Sedliacik, Jan; Ortynska, Galyna., 2014: Properties of flat-pressed wood-polymer composites made using secondary polyethylene. *Acta Facultatis Xylogiae Zvolen* 56(1): 39-50.
8. Stark, N.M., Rowlands, R.E. 2003. Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites. *Wood and Fiber Science* 35:167–74.
9. Zhou, Y., Fan, M., Lin, L., 2017: Investigation of bulk and in situ mechanical properties of coupling agents treated wood plastic composites. *Polymer Testing* 58: 292-299.