

# **Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s.**

Pulp and Paper Research Institute  
Dúbravská cesta 14, 841 04 Bratislava



## **VÝSKUMNÁ SPRÁVA**

**Názov projektu:** Kaskádové zhodnocovanie drevného odpadu z veľkomestských aglomerácií

**Názov etapy 5:** Návrh technologických postupov pre recykláciu odpadových materiálov na báze dreva

**Názov správy:** Plošne lisované drevoplastové materiály

**Autori správy:** Ing. Vladimír Ihnát, PhD., Ing. Alois Vojta, Ing. Michal Halaj, PhD.,  
Ing. Elena Opálená, Ing. Henrich Lübke, Ing. Jozef Balberčák, Ing. Vladimír Kuňa

**Číslo projektu:** APVV-17-0330  
tel.: +421-(0)2-911 728 622

**VS:** priebežná správa

|                                                                                                                                                                                                                                                  |                                       |                                                            |                                     |                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Číslo projektu: APVV-17-0330                                                                                                                                                                                                                  |                                       |                                                            |                                     |                                     |
| 2. Prírastkové číslo: -                                                                                                                                                                                                                          |                                       | 3. Podpis originálu riaditeľom sekcie                      |                                     |                                     |
| 4. Názov a adresa riešiteľského pracoviska:<br>Výskumný ústav papiera a celulózy a.s., Dúbravská cesta 14, 841 04 Bratislava<br>úsek Slovenský drevársky výskumný ústav                                                                          |                                       |                                                            |                                     |                                     |
| 5. Vedúci riešiteľského pracoviska:<br><br>Ing. Štefan Boháček, PhD.<br>generálny riaditeľ a.s.                                                                                                                                                  |                                       | 6. Riešiteľ projektu:<br>Ing. Vladimír Ihnát, PhD.         |                                     |                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                  |                                       | 7. Riešiteľ čiastkovej úlohy:<br>Ing. Vladimír Ihnát, PhD. |                                     |                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                  |                                       | 8. Druh úlohy: APVV                                        |                                     |                                     |
| 9. Názov projektu: Kaskádové zhodnocovanie drevného odpadu z veľkomestských aglomerácií                                                                                                                                                          |                                       |                                                            |                                     |                                     |
| 10. Názov etapy: Návrh technologických postupov pre recykláciu odpadových materiálov na báze dreva                                                                                                                                               |                                       |                                                            |                                     |                                     |
| 11. Autori správy: Ing. Vladimír Ihnát, PhD., Ing. Alois Vojta, Ing. Michal Halaj, PhD.,<br>Ing. Elena Opálená, Ing. Henrich Lübke, Ing. Jozef Balberčák, Ing. Vladimír Kuňa                                                                     |                                       |                                                            |                                     |                                     |
| 12. Názov správy: <b>Plošne lisované drevoplastové materiály</b>                                                                                                                                                                                 |                                       |                                                            |                                     |                                     |
| 14. Dátum ukončenia správy<br>10.12.2020                                                                                                                                                                                                         | 15. Číslo zväzku<br>1                 | 16. Počet strán textu<br>29                                | 17. Počet samostatných príloh:<br>0 | 18. Počet citovaných prameňov:<br>9 |
| 19. Počet výtlačkov správy<br>2                                                                                                                                                                                                                  | 20. Dátum začiatku výskumu<br>01.2021 | 21. Dátum ukončenia<br>06.20201                            | 22. Znak MDT                        |                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                  |                                       |                                                            | 23. Stupeň utajenia:<br>Prístupné   |                                     |
| 24. Kľúčové slová: drevoplastové kompozity, termoplasty, polypropylén, drevná múčka, drevné vlákno, extrúzia, plošné lisovanie, koextrúzia, embosing, modifikácia vlákna, aditíva, lubrikanty, vlhkosť, hustota, mechanické vlastnosti, adhézia. |                                       |                                                            |                                     |                                     |

Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s.  
**úsek Slovenský drevársky výskumný ústav**  
Dúbravská cesta 14, 841 04 Bratislava

## **Plošne lisované drevoplastové materiály**

Jún 2021, Bratislava

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



The journal covered by Thompson Reuters Materials science Citation Index Expanded™, CAB International Abstracting Services and Scopus

## OBSAH

|                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Úvod .....</b>                                                   | <b>05</b> |
| <b>1. Prognózy pre rozvoj trhu s drevoplastovými produktmi.....</b> | <b>06</b> |
| <b>2. Drevoplastové materiály extrudované.....</b>                  | <b>07</b> |
| 2.1. Princíp technológie.....                                       | 07        |
| 2.2. Termoplasty .....                                              | 07        |
| 2.3. Drevná múčka .....                                             | 08        |
| 2.3.1. Modifikácia drevnej múčky.....                               | 08        |
| 2.4. Aditíva.....                                                   | 09        |
| 2.4.1. Prostriedky na kompatibilizáciu.....                         | 10        |
| 2.4.2. Lubrikanty.....                                              | 10        |
| 2.4.3. Ostatné aditíva.....                                         | 10        |
| 2.5. Koextrúzia a embosing.....                                     | 11        |
| 2.6. Mechanické a fyzikálne vlastnosti WPC.....                     | 12        |
| 2.7. Testovanie WPC .....                                           | 13        |
| <b>3. Drevoplastové materiály plošne lisované.....</b>              | <b>14</b> |
| 3.1. Literárna rešerš vedeckého výskumu.....                        | 15        |
| 3.2. Experimentálne časť .....                                      | 16        |
| 3.2.1. Materiály.....                                               | 16        |
| 3.2.2. Stanovenie špecifických hmotností .....                      | 16        |
| 3.2.3. Zmiešavanie drevného vlákna s PP.....                        | 18        |
| 3.2.4. Predbežné testy.....                                         | 21        |
| 3.2.5. Tvorba tenkého kompozitu drevovlákno/PP .....                | 21        |
| 3.2.6. Tvorba viacvrstvého tenkého kompozitu drevovlákno/PP .....   | 25        |
| 3.2.7. WPC- tuhé škrupiny drevovlákno/PP.....                       | 28        |
| <b>Literatúra .....</b>                                             | <b>29</b> |

Princíp **kaskádového využívania dreva** je preferovaný Európskou úniou a má byť odpoveďou na predikovaný deficit v dodávkach tejto suroviny v nasledujúcich desaťročiach. Časť dodávok surového dreva má byť nahradená recyklovaným odpadovým drevom. Vzhľadom na svoju kvalitu, v akej odpadové drevo prichádza na recykláciu, je jeho rozmerová úprava štiepkovaním resp. drvením často jediným dostupným riešením ako drevnú hmotu opäť valorizovať. Postupnou frakcionáciou a odseparovaním nežiaducich častíc získavame drevný polotovár v tvare štiepok, hoblín, triesok, pilín a drevného prachu. Jeho uplatnenie je v pomerovom pridávaní do novej výroby aglomerovaných materiálov na báze dreva alebo pri výrobe kompozitov v spojení s iným anorganickým materiálom. Jedným z nich sú **drevoplastové kompozity**, ktoré **sa vyrábajú** z drevnej múčky alebo drevných vlákien a termoplastov alebo termosetov. Do zmesi sa pridávajú tiež farbivá, pojivá, UV stabilizátory a ďalšie aditíva. Typické zloženie zmesi predstavuje: 50-60% drevnej múčky, 40-45% HDPE, do 5% farebné pigmenty a iné technologické aditíva (pojivá, lubrikanty), antioxidanty, UV stabilizátory, prostriedky proti hnilobe, hmyzu a plesniam. Drevoplastové materiály sa stávajú populárne kvôli svojej bezúdržbovosti a nachádzajú uplatnenie pre svoj drevený vzhľad tam, kde klimatické alebo iné podmienky obmedzujú použitie dreva (fasádne obklady, ploty, terasové dosky a pod.). Prudký nárast týchto materiálov nastal okolo roku 2000 v USA vďaka tzv. decking (exteriérové terasové podlahy). Dnešné drevoplasty sa vyrábajú hlavne extrúziou. Jedná sa o úplne recyklovateľný materiál. Pri vývoji sa dbá predovšetkým o odolnosť voči dažďu, snehu a mrazu, UV žiareniu a dlhú životnosť. Ak je drevoplast kvalitný je rezistentný voči bazénovej chémii i slanej vode, je stálofarebný, nemení svoj tvar a nevyžaduje dodatočné natieranie alebo olejovanie. Kompozitné materiály predstavujú alternatívu odolných exotických drevín (bangkirai, ipe, merbau...).

Vývoj drevoplastových kompozitov vychádzal z dlhodobého používania dreva ako lacnejšieho plniva pre plastikársky priemysel. Koncom 80-tych rokov minulého storočia sa začali výskumníci zaoberať vyšším obsahom dreva a interakciou medzi drevom a termoplastom. Sofistikovaný postup vo formulácii receptúry a využívaní moderných extrúderov znamenal nástup nových materiálov známych pod skratkou **WPC (wood-plastic composites)**, ktoré sa začali vo veľkom komercializovať. Prim medzi plastmi, ktoré sa používajú pri výrobe WPC má polyetylén (až 65%), v menších množstvách sa používa PVC a polypropylén, zvyšok tvoria ostatné plasty. Medzi najväčších producentov patria už spomínané USA a Čína. Na Slovensku momentálne neevidujeme vlastnú značku, predaj je zabezpečený výrobkami z iných krajín, napr. aj zo susedného Česka.



## 1. Prognózy pre rozvoj trhu s drevoplastovými produktmi

Trh s WPC sa momentálne kategorizuje podľa hlavnej polymérnej zložky, ktorú kompozit obsahuje, a to polyetylén, polypropylén, polyvinylchlorid a pod. Očakáva sa, že polypropylénový segment zaznamená rozmach, a to vďaka aplikáciám akými sú vodeodolné povrchy 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, čo môže mať pozitívny vplyv na trh drevoplastového kompozitu. Polyetylénový segment je jedným z najrýchlejšie rastúcich segmentov výrobkov z dôvodu vysokého dopytu po výrobe 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 bude v nasledujúcich rokoch ďalej poháňať rast trhu. Rýchly nárast zaznamenal hlavne vysokohustotný HDPE. Očakáva sa aj rastúci dopyt po polystyrénových a akrylonitril-butadién-styrénových (ABS) kompozitoch v širokej škále aplikácií, ako je kuchynský nábytok, sprchové vaničky, vane, parapety a vírivé vane, z dôvodu jeho vysokej životnosti a ekologických vlastností.

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** (Obr. 1a). 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** (Obr. 1b). **Tvárové lisovanie** a hlavne vstrekovanie by mohlo zohrať svoju úlohu v spojení s termoplastami (PP) určenými na potravinárske účely.

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.



Obr. 1: Drevoplastové kompozity (WPC): a) koextrúzia, b) embosing.



## 2. Drevoplastové materiály extrudované

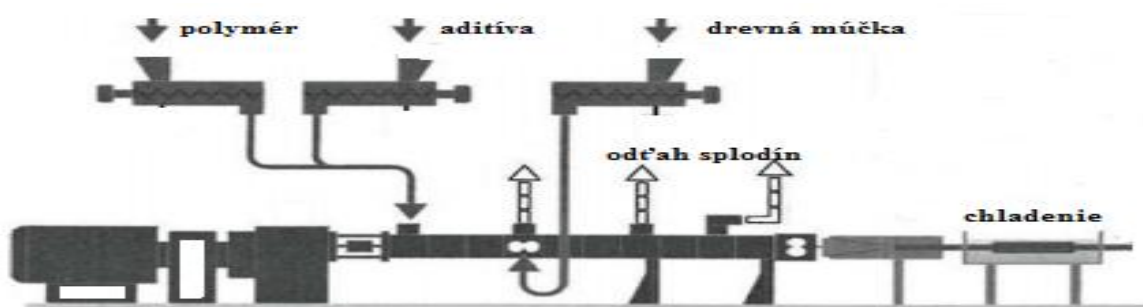
Predpokladá sa, že asi 97% trhu s drevoplastovými kompozitmi (WPC) predstavujú extrudované výrobky. Pridaním drevných častíc do termoplastického polyméru získame viacero mechanických aj produkčných výhod, avšak kvalita produktu závisí od spôsobu prípravy taveniny (melting process) a dispergácie drevných častíc a ich obalenie polymérom, vytváranie vzájomných väzieb (compounding). Nedostatočné spájanie rezultuje v znížených, hlavne mechanických vlastnostiach. Obidve metódy aj extrúzia aj vstrekovanie ako hlavný transportný mechanizmus používajú závitovku. Zároveň sú to najbežnejšie používané metódy, keďže závitovka, vďaka svojej geometrii, dokáže plniť viacero funkcií naraz (zmiešavanie, tavenie, miešanie, transport, vyvodenie tlaku, plnenie) (Obr. 2).



Obr. 2: Závitovky dvojzávitkového extrúdera.

### 2.1. Princíp technológie

Pri extrúzii existuje veľa stupňov voľnosti, ktoré je potrebné vziať do úvahy pri správnej príprave kompozitov, ako napríklad profil skrutky, rýchlosť a s tým súvisiaci zádržný čas alebo teplota. Jednozávitkové alebo dvojzávitkové extrudéry poskytujú veľmi odlišné podmienky miešania počas procesu (Obr. 3). Väčšinou sa uprednostňujú dvojzávitkové extrudéry na dosiahnutie dobrej homogenity dreva v kompozitoch. Pri extrúzii sa používajú teploty v závislosti od polyméru v matrici v rozmedzí 160–190°C pre PLA, 100–160°C pre polylaktón (PCL) alebo 160–215°C pre PP.



Obr. 3: Extrúzia WPC.

Podobne ako pri procese vstrekovania aj pri extrúzii je možné využívať predpripravený polotovar vo forme granulátu (peliet), ktorý už môže byť napr. farebne upravený.

### 2.2. Termoplasty

Termoplasty sú polyméry, ktoré opakovane mäknú a prechádzajú do taveniny nad teplotou tavenia. Existuje veľa druhov termoplastov avšak iba tie je možné využívať vo WPC a to tie, ktoré majú teplotu tavenia nižšiu (Tab. 1) ako je teplota degradácie dreva.

Tab. 1: Termoplasty používané v matrici 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 _ polylakton                   | 70 - 110                           | 1,14                         |

### 2.3. Drevná múčka

Kvalitná drevná múčka musí byť konkrétneho druhu alebo skupiny druhov a musí byť zbavená kôry, nečistôt a iných cudzích látok. Najčastejšie používané dreveniny sú borovice, duby, javor, breza, smreka, jedle a topol. Niektoré druhy, napríklad červený dub a gaštan, môžu obsahovať nízkomolekulárne fenolové zlúčeniny a triesloviny, ktoré môžu zanechať škvrny pri opakovanom zvlhčení. Väčšina komerčne vyrábaných drevených múčok používaných ako plnivo v termoplastoch je menšia ako mesh 40 US (**0,4 mm**). Na extrúziu je vhodná drevná múčka mesh US 40–60 (**0,4 - 0,25 mm**), zatiaľ čo drevná múčka mesh US 80–100 (**0,177 – 0,149 mm**) je vhodná na vstrekovanie. Veľmi jemné drevené múky môžu stáť viac a zvyšovať viskozitu taveniny viac ako hrubšie drevené múky, ale kompozity s nimi vyrobené majú zvyčajne jednotnejší vzhľad a hladšiu povrchovú úpravu.

Technologické nedostatky vznikajú pri **agregácii drevených častíc** (zhlukovanie), kedy nedochádza k úplnému obaleniu dreva polymérom. Materiálovým nedostatkom je vysoká adsorpcia vlhkosti prírodných vlákien vedie k napučaniu a prítomnosti dutín na rozhraní, 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 vo WPC zvýši nad 65% hmot., výsledná absorpcia vody sa zvýši, pretože je menej pravdepodobné, že bude drevo úplne zapuzdrené matricovým polymérom.

Drevná múčka za bežných podmienok zvyčajne obsahuje najmenej 4% vlhkosti, ktorá sa musí pred alebo počas spracovania odstrániť. Po vysušení drevná múčka môže stále rýchlo absorbovať vlhkosť. V závislosti na okolitých podmienkach môže drevná múka absorbovať niekoľko hmot. % vlhkosti v priebehu niekoľkých hodín. Drevná múka by mala byť sušená v sušičke pri 100°C po dobu 24 hodín, aby sa dosiahol **obsah vlhkosti 0% - 1%**, a potom má byť skladovaná v zapečatených plastových vreciach až do zmiešania s polymérom.

Komerčne sa vlhkosť z drevenej múky odstraňuje pred spracovaním pomocou sušičky, použitím prvej časti extrudéra, alebo počas samostatného kroku miešania. Hustota drevenej múčky sa pohybuje od **0,2 – 0,3 g/m<sup>3</sup>**.

#### 2.3.1. Modifikácia drevenej múčky

Fyzikálnymi a chemickými metódami je možné zlepšiť medzifázové interakcie medzi časticami plniva (dreva) a polymérom. Zdá, že ošetrenie peroxidom a silánmi



zaručuje najlepšie výsledky, pokiaľ ide o mechanické vlastnosti, zatiaľ čo ošetrovanie alkáliami a acetyláciou poskytujú najvýraznejšie zlepšenie tepelnej a rozmerovej stability. Známe techniky modifikácie možno zhrnúť ako:

- **Tepelná úprava** je považovaná za jednu z najefektívnejších metód používaných na zlepšenie tvarovej a rozmerovej stability a kvality povrchu drevených kompozitov. Typické tepelné ošetrovanie pred drevné vlákna sa aplikuje nasýtenou parou od 120 do 180°C v rozpätí od 20 až 40 min.
- **Alkalická úprava** (mercerizácia) sa vykonáva na krátkych vláknach zahrievaním na približne 80°C v 10% vodnom roztoku NaOH asi 3–4 hod a následným praním a sušením. Tento proces narušuje tvorbu zoskupení vlákien, aby sa získali menšie a kvalitnejšie vlákna a zlepšuje zmáčanie vlákien.
- **Acetylácia**, kedy sa vlákna ponoria do ľadovej kyseliny octovej na 1 hod, potom sa ponoria do zmesi acetanhydridu a niekoľkých kvapiek koncentrovanej kyseliny sírovej na niekoľko minút, prefiltrujú sa, umyjú sa a sušia. Esterifikácia stabilizuje bunkové steny, najmä pokiaľ ide o absorpciu vlhkosti a následné rozmerové zmeny.
- Úprava esterifikáciou **kyselinou stearovou**, ktorá sa pridá do roztoku etylalkoholu až do 10% celkovej hmotnosti vlákien. Roztok sa tak po kvapkách pridá k vláknám, ktoré sa potom vysušia.
- Úprava **benzyláciou**, pričom sa vlákna ponoria do 10% NaOH, potom sa miešajú s benzoylchloridom 1 hod, prefiltrujú sa, premyjú sa a sušia. Potom sa ponoria do etanolu na 1 hod, opláchnu a opäť sušia. Táto metóda umožňuje zníženie hydrofilnosti vlákien.
- Úprava **peroxidom**, pričom sa vlákna na pol hodiny ponoria do roztoku dikumyl (alebo benzoyl) peroxidu v acetóne, potom sa dekantujú a vysušia. Vlákna získajú lepšie mechanické vlastnosti.
- Úprava **anhydridu kyseliny maleínovej** alebo maleinovaného PP (alebo PE) v toluénovom alebo xylénovom roztoku, kde sú vlákna ponorené. Dochádza k výraznému zníženiu absorpcie vody.
- Úprava v roztoku **KMnO<sub>4</sub>** v acetóne (koncentrácie do 0,2%), vlákna sa dekantujú a vysušia. Zníži sa hydrofilná povaha vlákien.
- Úprava silanom v roztoku alkoholu a vody (3: 2) s obsahom látky podporujúcej adhéziu na báze silánu na 2 hod pri pH = 4. Vlákna sa opláchnu vo vode a vysušia. Silany by mali zlepšovať kvalitu povrchu vlákien.
- Úprava izokyanátom pri teplote 50°C po dobu približne 1 hod na vylepšenie adhézie na medzifázovom rozhraní.
- Úprava nízkoteplotnou plazmou na modifikáciu povrchu vlákien.

## 2.4. Aditíva

Drevné vlákna majú v porovnaní so syntetickými vláknami množstvo výhod a nevýhod. Ich ekologická podstata, biologická odbúrateľnosť, nízke náklady, menej abrazívna povaha, bezpečná manipulácia, možné vysoké plnenie, nízka hustota a široká škála druhov vlákien sú veľmi dôležitými faktormi. Medzi nedostatky patrí reakcia na vlhkosť a vodu, horľavosť, ich biologická napadnulosť škodcami a zlá adhézia k polymérom. Preto sa používajú aditíva,

ktoré tieto vlastnosti zlepšujú. Základné aditíva sú farbivá, spojovacie činidlá, stabilizátory, nadúvadlá, výstužné látky, retardéry horenia, biocídy, penidlá a lubrikanty.

#### 2.4.1. Prostriedky na kompatibilizáciu

Jednou z hlavných nevýhod prírodných vlákien je slabá kompatibilita medzi vláknami a polymérmi, ktorá vedie k nerovnomernej dispergácii vlákien v matrici. Kompatibilizácia v polymérnej chémii spočíva v pridaní látky do nemiešateľnej zmesi polymérov, ktorá zvýši ich stabilitu. Väčšina termoplastov, sú nepolárne („hydrofóbne látky odpudzujúce vodu“), ktoré nie sú kompatibilné s polárnymi („hydrofilnými“ látkami absorbujúcimi vodu) drevenými vláknami. Slabá priľnavosť medzi drevom a polymérom má za následok nízku pevnosť v ťahu a ohybe WPC. Na zlepšenie afinity a adhézie medzi vláknami a termoplastickými matricami vo výrobe sa používajú chemické prostriedky. Sú to zvyčajne polyméry, ktoré sa používajú v malom množstve na ošetrenie povrchu tak, aby došlo k spojeniu medzi ním a inými povrchmi. V praxi na zlepšenie adhézie medzi drevom a plastmi sú polyméry najčastejšie **očkované anhydridom kyseliny maleínovej** (maleic anhydride grafted PP). Efektívny prídavok MAPP predstavuje hodnota od cca 3%. Je známe, že niektoré zlúčeniny podporujú adhéziu chemickou väzbou, ako je hydroxid sodný, silán (trialkoxysilány), kyselina octová, kyselina akrylová, izokyanáty, manganistan draselný, peroxid atď. Literatúra uvádza ako „coupling“ prostriedky napr. alkyl ketene dimer v množstve 5%, izokyanáty 2%.

Ďalším problémom je teplota spracovania, ktorá obmedzuje výber matricového materiálu. Prírodné vlákna sú zložené z rôznych organických materiálov (predovšetkým celulózy, hemicelulózy a lignínu), a preto ich tepelné spracovanie vedie k rôznym fyzikálnym a chemickým zmenám. Tepelná degradácia týchto vlákien vedie k zlým organoleptickým vlastnostiam, ako sú zápach a farby, a navyše k zhoršeniu ich mechanických vlastností. Výsledkom je tiež tvorba plynných produktov, keď sa spracovanie uskutočňuje pri teplotách nad 200°C, čo môže vytvárať vysokú pórovitosť, nízku hustotu a znížené mechanické vlastnosti. Na zlepšenie tepelnej stability sa uskutočnili pokusy pot'ahovať a / alebo vrúbľovať vlákna monomérmi.

#### 2.4.2. Lubrikanty

Lubrikanty (mazivá) sa používajú na zníženie viskozity taveniny, zlepšujú tok polyméru (napr. 12-HSA (12-hydroxyoctadecanoic acid) alebo Struktol TPW 709 (Safic Alcan UK Ltd) alebo na zabránenie priľnutia polyméru ku kovovým povrchom (napr. non-stick agent Silicone H1 spray, Panolin, Madetswil, Switzerland). Pridávajú sa v množstve 0.1% až 3%. Medzi materiály používané na mazanie patria uhl'ovodíkové vosky, polyetylény, amidové vosky, masné kyseliny, masné alkoholy a estery. V praxi sa rýchlosť výroby WPC zvyšuje prídávaním stearátu zinočnatého alebo masných kyselín. Mazivá pomáhajú potlačiť trhanie okrajov a lom taveniny v procese extrúzie.

#### 2.4.3. Ostatné aditíva

**Rezistencia WPC proti hubám a hmyzu** sa zlepšuje pridaním zlúčenín bóru, ako je boritan zinočnatý, kyselina boritá, borax alebo tetrahydrát oktaboritanu disodného. Zlúčeniny

bóru môžu byť zabudované do drevených častíc bežnými metódami, ako je máčanie-difúzia alebo vákuové ošetrenie. Výrobcovia WPC však zvyčajne používajú zlúčeniny bóru ako suchý prášok, čo je znančie neúčinné. Vyplavovanie nasýpaného bóru zníži kyselina boritá fixovaná do dreva.

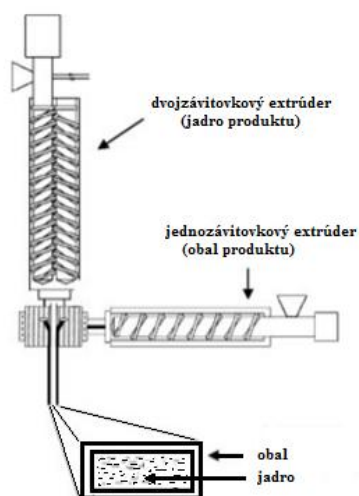
Najefektívnejšou a najbežnejšie používanou **chemikáliou spomaľujúcou horenie** pre WPC sú polyfosforečnan amónny a expandovateľný grafit, hydroxid horečnatý, melamín polyfosfát, hydroxid hlinitý, zlúčeniny bóru (boritán zinočnatý) a oxid antimonitý. Podľa kalorimetrických testov vyššia úroveň obsahu drevnej múčky viedla k významne zlepšenej požiarnej odolnosti panelov WPC.

WPC sa kolorujú pridaním **farbív**. Pridanie **UV stabilizátora** môže zlepšiť UV stabilitu a ochranu pred poveternostnými podmienkami. **Antioxidanty** sa tu tiež používajú, aby sa zabránilo degradácii polyméru počas procesu kompatizácie. Nakoniec sa ako **druhé plnivo** vo WPC odporúčajú napríklad sklenené vlákno, mastenec, uhličitán vápenatý a nanovlákná, ktoré zlepšujú mechanické vlastnosti a odolnosť proti tečeniu.

## 2.5. Koextrúzia a embosing

Koextrudované výrobky predstavujú takpovediac druhú generáciu výrobkov z WPC. Aplikácia technológie spoločného vytlačania (koextrúzie) znížila náklady na kompozitné výrobky WPC za podmienky nezmeneného výkonu a otvorila novú cestu k úsporám nákladov. Na európskych a amerických trhoch je čoraz viac koextrudovaných výrobkov, nielen tradičných drevených plastových dverí a okien, zábradlí a plotov, ale aj podláh nižšej triedy, plotov, vonkajších stenových panelov a debnenia. V súčasnosti medzi koextrudované materiály patrí hlavne PVC, PE a akrylonitril-styrén-akrylonitrilový kopolymér (ASA). Hrúbka **koextrudovanej povrchovej vrstvy** je asi 0,5 mm. Koextrudovaný povrch vytvorí akýsi obal na povrchu WPC (Obr. 3) a ten zabráni vníkaníu vzdušnej vlhkosti do jadra WPC. Tým sa zásadne predlžuje trvácnosť výrobku.

Jednofarebný produkt z WPC nemôže uspokojiť estetické požiadavky zákazníkov, preto sa na dosiahnutie simulácie dreva využíva technika **embosing**, ktorá sa neustále zdokonaľuje (Obr. 4).



Obr. 3: Koextrúzia WPC.



Obr. 4: Embosing (reliéfna ražba) WPC.

## 2.6. Mechanické a fyzikálne vlastnosti WPC

**Hustota** WPC je všeobecne vyššia ako hustota masívneho dreva (v priemere  $0.66 \text{ g/cm}^3$  pre tvrdé drevo,  $0.47 \text{ g/cm}^3$  mäkké drevo a  $0.71 \text{ g/cm}^3$  pre MDF), čo obmedzuje možnosti použitia WPC. Hustotu WPC možno znížiť až o 30% pridaním nadúvadiel vďaka ktorým je hustota WPC podobná ako u skutočného dreva. Penenie tiež pomáha výrobcovi šetriť náklady na materiál. Hustoty WPC sú reportované okolo  $1.0 \text{ g/cm}^3$  pre polykarbonáty (PC),  $1.03 \text{ g/cm}^3$  pre PVC,  $0.87 \text{ g/cm}^3$  pre PS,  $0.9 - 1.05 \text{ g/cm}^3$  pre PP,  $0.95 (0.96) \text{ g/cm}^3$  pre HDPE (MAPE). 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 drevená 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 drevnej múčky verzus dreveného vlákna. Hodnoty v zátvorkách predstavujú použitie kompatibilizujúceho prostriedku.

|                                              | PP   | PP/drevená múčka 60/40 | PP/drevené vlákno 60/40 |
|----------------------------------------------|------|------------------------|-------------------------|
| <b>Objemová hmotnosť</b> ( $\text{g/cm}^3$ ) | 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, N.M. and Rowlands, R.E. 2003. Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites. Wood and Fiber Science 35:167–74.)

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

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

\*(zdroj: 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.)

## 2.7. Testovanie WPC

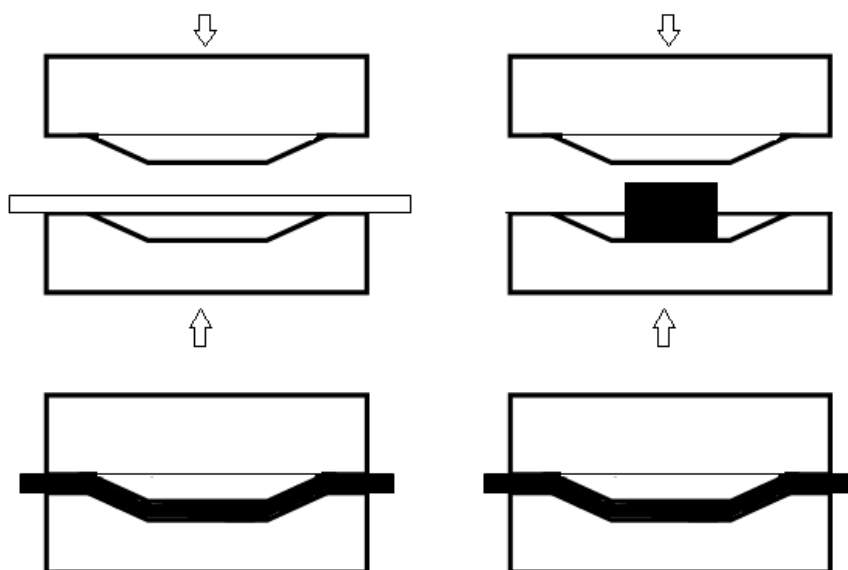
Laboratórne testovanie vyrobených kompozitných materiálov na báze dreva a plastu poskytuje informácie o materiálových vlastnostiach, ktoré sú získané na malých vzorkách postupmi stanovenými v príslušných normách. Takéto testovanie slúži na materiálový výskum.

Ak sa daný materiál uplatní pri výrobe hotovej produkcie a táto sa zavádza na trh, je potrebné aby každý výrobok disponoval už testami pre ten-ktorý typ výrobku. Keďže na Slovensku nie je známy výrobca WPC (na Slovensku sú obchodné zastúpenia zahraničných výrobcov) na vysvetlenie sme vybrali terasové dosky **Twinson** Belgického zoskupenia Deceuninck group. Jedná sa o drevoplastový kompozit PVC/borovica (50/50). Keďže výrobca deklaruje ich použitie na ploché strechy (pochôdzné strechy, terasy a pod.) preukazuje správanie sa výrobku pri pôsobení vonkajšieho ohňa a tomu zodpovedá európska norma STN EN 13501-5, ktorá stanovuje presný postup testovania. A opäť, keďže sa jedná o použitie na terasy výrobca preukazuje odolnosť proti pošmyknutiu (R10/11) vďaka drsnejšiemu povrchu. Ak sú drevoplastové materiály vhodné na výrobu hračiek posudzujú sa napr. podľa DIN EN 71-3, kde sa garantuje, že materiál neobsahuje ťažké kovy.

Zavádzanie nového výrobku do predaja je značne zložitá a zdĺhavá záležitosť, hlavne ak sa jedná o výrobok určený pre stavebníctvo, čo terasové dosky predstavujú. Vtedy je celkom bežné, že výrobca potrebuje testovanie vykonať hneď niekoľkými skúšobňami aby pokryl legislatívne potreby výrobku. Napr. výrobky **Woodplastic** (60/40 drevo/HDPE) od českého výrobcu, ktorý vyrába na základe amerického patentu. Na svoje výrobky potrebuje stavebné technické osvedčenia a to osobitne pre (terasové dosky a osobitne pre obklady. A ako deklaruje na svojich stránkach migráciu častíc posúdil Inštitút pre testovanie a certifikáciu (Zlín, ČR), povrchovú tvrdosť a mikrobiologickú odolnosť – Ústav teoretickej a aplikovanej mechaniky Akadémie vied ČR (Telč, ČR), rozmerovú stálosť a odolnosť proti prerazeniu – Technický a skúšobný ústav stavebný Praha (Praha, ČR), protišmykovú odolnosť – Vývojové a skúšobné laboratórium Holztechnologie GmbH (Drážďany, Nemecko), testy starnutia – Laboratóriá Strandex Corporation (USA), Inštitút pre testovanie a certifikáciu (Zlín, ČR) a vlastné výskumné laboratórium WoodPlastic® (Bukovany, ČR).

### 3. Drevoplastové materiály plošne lisované

Aj keď drvivá väčšina aglomerovaných resp. kompozitných materiálov na báze dreva sa vyrába plošným lisovaním alebo je lisovanie plochy jedným z postupných krokov výrobných technológií, pri drevoplastických materiáloch neodškriepiteľne prevláda extrúzia. Dôvodom sú jednoznačne spoločné črty výrobkov (WPC) s limitovaným prierezom, ktoré si našli svoje uplatnenie na trhu. Tvárové výlisky vyrobené formou vstrekovania sa v plastikárskom priemysle uplatnili iba vďaka veľkosériovým výrobám, keďže výroba a údržba vstrekovacích foriem je veľmi nákladná. Aj napriek uvedeným skutočnostiam nemožno plošné lisovanie WPC úplne zavrhnúť, minimálne vďaka nenáročnej výrobe. Skôr je dôležité nájsť skupinu výrobkov, ktorej spoločné črty budú korešpondovať s touto výrobnou technológiou. Jedno z riešení je zamerať sa na viacstupňové spracovanie WPC a zhotovovanie výrobkov z plošných polotovarov. Vyrážanie a následné tvárové lisovanie (Obr. 1) by mohlo zohrať svoju rolu pri tvorbe nových trojrozmerných výrobkov na báze WPC.



Obr. 1: Tvárové lisovanie WPC.

Viacstupňové spracovanie by si pravdepodobne vyžadovalo samostatnú výrobu WPC peliet upravených na tento proces, čo sa aj často pri extrúzii už deje. Pri peletizácii proces premiešavania (compounding) je dôsledný a vzájomné prepojenie dreva a plastu je na vyššej pevnostnej úrovni ako je to pri suchom premiešavaní. Pelety už môžu obsahovať farbivo a všetky povinné prísady. Peletizácia by zároveň rozdelila výrobu na hrubú prípravu materiálu a výrobu samotného výrobku, to znamená, že výrobca zaoberajúci sa iba samotnou výrobou by bol schopný si polotovary zadovážiť bez toho aby si ho musel sám vyrábať. Pri oddelenej výrobe peliet (špecializovaní sa iba na túto činnosť) by sa zrejme výrazne zlepšila kvalita WPC, keďže množstvo chýb je spôsobených práve nedostatočnou prípravou vstupov (zvýšená vlhkosť, absencia aditív a pod.).

### 3.1. Plošne lisované WPC (flat pressed)\_závery literárnej rešerše

Ako alternatívu k bežným technikám pri výrobe panelov s veľkými rozmermi, možno považovať technológiu plošného lisovania WPC (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). Chladenie môže prebiehať pri 30-40°C. Výsledná hustota dosiek je cca od 800 do 1000 kg·m<sup>-3</sup> (Lyutyy et al. 2014).



### 3.2. Experimentálna časť

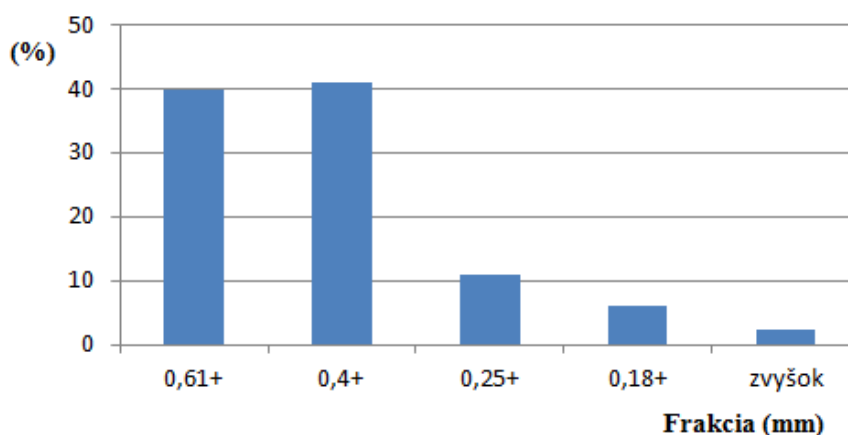
#### 3.2.1. Materiály

##### Drevný materiál

Drevné vlákno bolo získané termo-mechanickým rozvlákňovaním bez pridania chemikálii. Mokrú vlákno bolo odvodnené, zlisované do mäkkého vláknitého 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 (Tab. 1).

Tab. 1: Drevné vlákno získané termo-mechanickým spôsobom- sitové skúšky.

|              |       |      |       |       |        |
|--------------|-------|------|-------|-------|--------|
| Frakcia (mm) | 0,61+ | 0,4+ | 0,25+ | 0,18+ | zvyšok |
| Hmotnosť (g) | 11,9  | 12,3 | 3,3   | 1,8   | 0,7    |



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

##### Polyméry

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).

#### 3.2.2. Stanovenie špecifickej hmotnosti

##### Zisťovanie špecifickej hmotnosti PP

Bežne uvádzaná hustota polypropylénu sa pohybuje okolo 0,900 g/cm<sup>3</sup>. Polypropylénová výstuž FIBRIBET sa vyrába a distribuuje 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 prípravku o rozmeroch 10 x 10 x 10 cm<sup>3</sup>, ktorý bol zhotovený z plexiskla (Obr. 2a). Takáto PP „vata“ po jemnom zhutnení, t.j. stláčaní až do odpruženia, má objemovú hmotnosť 0,048 g/cm<sup>3</sup>.

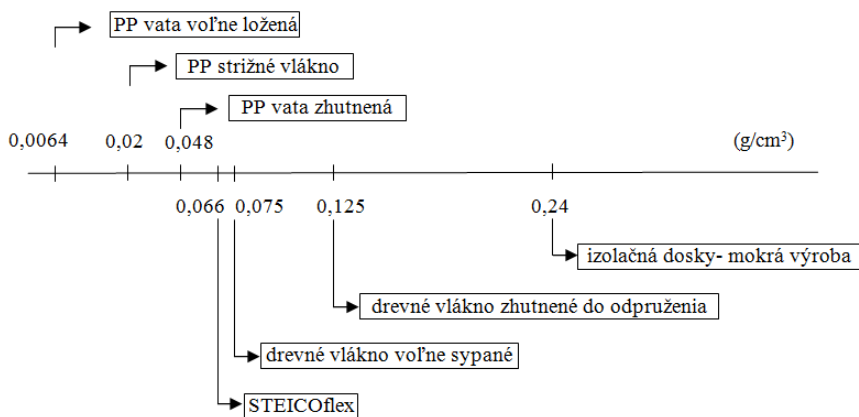
### Zisťovanie špecifickej hmotnosti drevného vlákna

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. STEICO) 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> (Obr. 2b). Vlákno zhutnené do odpruženia dosahovalo objemovú hmotnosť 0,125 g/cm<sup>3</sup> (Obr. 2c). Kocka vlákien sa zhutnila z pôvodných 10 cm na 6,5 cm.



Obr. 2: Stanovenie objemovej hmotnosti vstupných materiálov: a) zhutnená PP vata s objemovou hmotnosťou 0,048 g/cm<sup>3</sup>, b) voľne sypané-vibrované drevné vlákno s objemovou hmotnosťou 0,075 g/cm<sup>3</sup>, c) zhutnené drevné vlákno s objemovou hmotnosťou 0,125 g/cm<sup>3</sup>.

Pri voľne sypanom vlákne sme dosiahli vyššiu objemovú hmotnosť (0,075 g/cm<sup>3</sup>) ako sme namerali na výrobku STEICOflex (0,66 g/cm<sup>3</sup>). Z rozboru frakčného zloženia vyplynulo, že STEICOflex má na rozdiel od nami použitého vlákna okrem zastúpenia jemného vlákna aj významnú časť frakcie 1-2 mm, čo umožňuje väčšiu vzdušnosť. Pre informáciu napr. na extrúziu pri výrobe WPC sa používa drevná múčka frakcie mesh US 40–60 (0,4 - 0,25 mm).



Obr. 3: Namerané objemové hmotnosti.

Nami zvolené vlákno bolo jednoznačne jemnejšie ako vlákno pre STEICOflex a pri vibrovaní lepšie vyplnilo objem kocky. Dosiahnutá objemová hmotnosť tak bola pochopiteľne vyššia ( $0,075 \text{ g/cm}^3$ ). Pre porovnanie s WPC, hustota drevnej múčky sa pohybuje okolo  $0,2 - 0,3 \text{ g/m}^3$ . Porovnanie objemových hmotností je znázornené na Obr. 3. Pre porovnanie sme previedli aj zisťovanie sypnej hmotnosti pre bukové hobliny. Hobliny sme roztriedili sytovaním na tri frakcie: sito s okom  $>10 \text{ mm}$ ,  $10 \text{ mm} - 4 \text{ mm}$  a pilinový zvyšok. Sypná hmotnosť bola  $40 \text{ g/cm}^3$  pre najväčšiu frakciu,  $70 \text{ g/cm}^3$  pre strednú frakciu a  $185 \text{ g/cm}^3$ .

### 3.2.3. Zmiešavanie drevného vlákna s PP

Zmyslom predbežného zmiešavania drevného vlákna s PP vatou je získanie predstavy o súdržnosti pripravovaného „koberca“ pre samotným lisovaním. Stále je potrebné mať na pamäti celkový cieľ a tým je čo najnižšia objemová hmotnosť vyrobeného kompozitu.

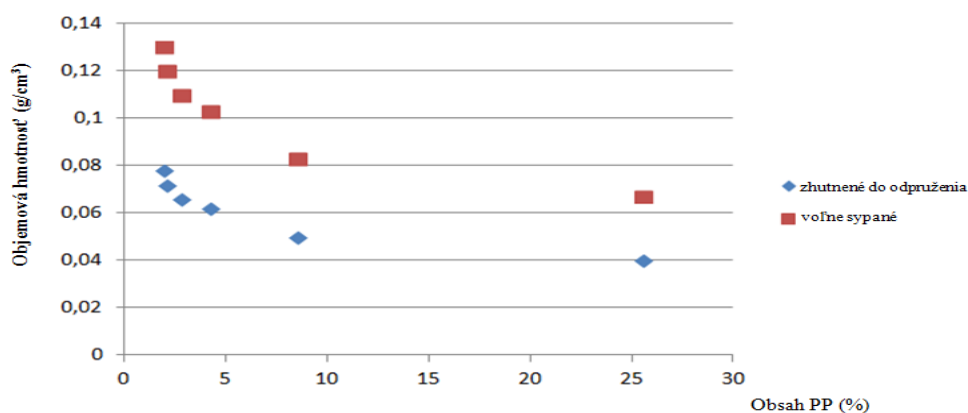
Komerčné WPC sa vyrábajú s obsahom dreva 50-60%. Teoreticky už pri 65%-nom obsahu dreva vzniká problém, že drevná častica nie je úplne zapúzdrená v plaste a môže mať zvýšenie navlhčenie, čo je pre výrobky nežiadúci deficit. Laboratórne výskumy však poukazujú na to, že extrudované WPC je možné vyrábať až do obsahu dreva 80%.

Pomerové zmiešavanie drevného vlákna s PP vatou sa uskutočnilo v laboratórnom mixéri pri vysokých otáčkach. Sledoval sa hmotnostný pomer vstupov (drevné vlákno/PP vata). Vychádzalo sa z predchádzajúcich meraní objemových hmotností. PP vata v množstve  $6,4 \text{ g}$  sa miešala s drevným vláknom v množstve  $75 \text{ g}$ , čo predstavujú namerané hodnoty pre objemové hmotnosti oboch voľne sypaných- vibrovaných materiálov (objemové jednotky). Zmes bola dôkladne premiešaná a objemová hmotnosť bola opäť sledovaná v kockovom prípravku (Tab. 2). Množstvo drevného vlákna sa postupne násobilo v objemových jednotkách. Pri každom pomere sa v kocke vykonalo aj zhutnenie do odpruženia, vždy na hodnotu  $6 \text{ cm}$ .

Tab. 2: Objemové zmiešavanie drevného vlákna s PP vatou (objemová jednotka vlákna/objemová jednotka PP).

|                       |                                                                                       |                                                                                     |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Pomer objem. miešania | 3 : 1 (obj./obj.) 25,6 % hm PP                                                        |                                                                                     |
| PP vata               | 19,2 g                                                                                |                                                                                     |
| Drevné vlákno         | 75 g                                                                                  |                                                                                     |
| Objemová hmotnosť     | Voľne sypané- vibrované<br>(merané pri objeme $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ ) | Zhutnené do odpruženia<br>(merané pri objeme $10 \times 10 \times 6 \text{ cm}^3$ ) |
|                       | $0,040 \text{ g/cm}^3$                                                                | $0,067 \text{ g/cm}^3$                                                              |
| Pomer objem. miešania | 1: 1 (obj./obj.) 8,53 % hm PP                                                         |                                                                                     |
| PP vata               | 6,4 g                                                                                 |                                                                                     |
| Drevné vlákno         | 75 g                                                                                  |                                                                                     |
| Objemová hmotnosť     | Voľne sypané- vibrované<br>(merané pri objeme $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ ) | Zhutnené do odpruženia<br>(merané pri objeme $10 \times 10 \times 6 \text{ cm}^3$ ) |
|                       | $0,050 \text{ g/cm}^3$                                                                | $0,083 \text{ g/cm}^3$                                                              |
| Pomer objem. miešania | 1: 2 (obj./obj.) 4,27 % hm PP                                                         |                                                                                     |
| PP vata               | 6,4 g                                                                                 |                                                                                     |
| Drevné vlákno         | 150 g                                                                                 |                                                                                     |
| Objemová hmotnosť     | Voľne sypané- vibrované<br>(merané pri objeme $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ ) | Zhutnené do odpruženia<br>(merané pri objeme $10 \times 10 \times 6 \text{ cm}^3$ ) |
|                       |                                                                                       |                                                                                     |

|                       |                                                                              |                                                                            |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
|                       | 0,062 g/cm <sup>3</sup>                                                      | 0,103 g/cm <sup>3</sup>                                                    |
| Pomer objem. miešania | 1: 3 (obj./obj.) 2,84 % hm PP                                                |                                                                            |
| PP vata               | 6,4 g                                                                        |                                                                            |
| Drevné vlákno         | 225 g                                                                        |                                                                            |
| Objemová hmotnosť     | Voľne sypané- vibrované<br>(merané pri objeme 10 x 10 x 10 cm <sup>3</sup> ) | Zhutnené do odpruženia<br>(merané pri objeme 10 x 10 x 6 cm <sup>3</sup> ) |
|                       | 0,066 g/cm <sup>3</sup>                                                      | 0,110 g/cm <sup>3</sup>                                                    |
| Pomer objem. miešania | 1: 4 (obj./obj.) 2,13 % hm PP                                                |                                                                            |
| PP vata               | 6,4 g                                                                        |                                                                            |
| Drevné vlákno         | 300 g                                                                        |                                                                            |
| Objemová hmotnosť     | Voľne sypané- vibrované<br>(merané pri objeme 10 x 10 x 10 cm <sup>3</sup> ) | Zhutnené do odpruženia<br>(merané pri objeme 10 x 10 x 6 cm <sup>3</sup> ) |
|                       | 0,072 g/cm <sup>3</sup>                                                      | 0,120 g/cm <sup>3</sup>                                                    |
| Pomer objem. miešania | 1: 5 (obj./obj.) 1,97 % hm PP                                                |                                                                            |
| PP vata               | 6,4 g                                                                        |                                                                            |
| Drevné vlákno         | 325 g                                                                        |                                                                            |
| Objemová hmotnosť     | Voľne sypané- vibrované<br>(merané pri objeme 10 x 10 x 10 cm <sup>3</sup> ) | Zhutnené do odpruženia<br>(merané pri objeme 10 x 10 x 6 cm <sup>3</sup> ) |
|                       | 0,078 g/cm <sup>3</sup>                                                      | 0,130 g/cm <sup>3</sup>                                                    |



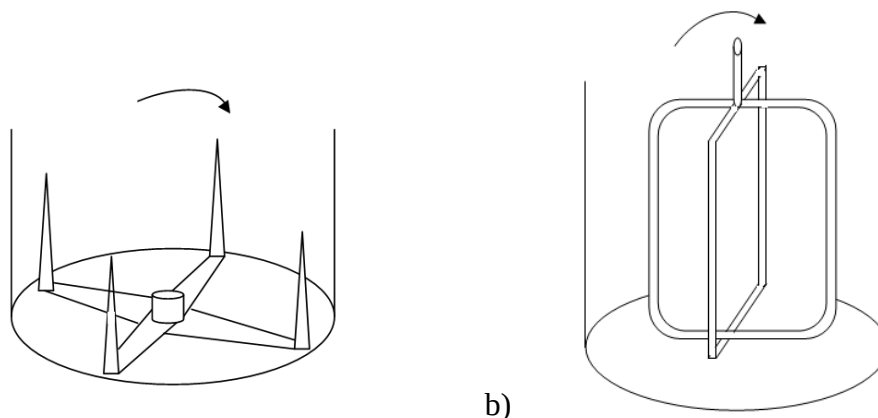
Graf. 1: Graf pre vrstvenie koberca pri laboratórnej príprave kompozitu.

Pripravený drevovláknoplastový koberec relatívne dobre drží svoj tvar, nemá viditeľné vrstvenie kedy sa jednotlivé vrstvy od seba oddeľujú (nízka pevnosť v odtrhu) (Obr. 4a). V našom prípade sa ukázalo, že zhutnenie do odpruženia sa môže pohybovať v intervale od 5 cm do 6 cm (Obr. 4b). Experimentovaním sa zistilo, že drevné vlákno sa relatívne dobre premiešava s PP vatou (Obr. 4c) avšak vysoké otáčky a dostatočne dlhé miešanie je potrebné aby sa odstránili zhluky, hlavne PP vlákien. Samozrejme, že pre drevné vlákno je požadovaná minimálna možná vlhkosť cca do 2%.



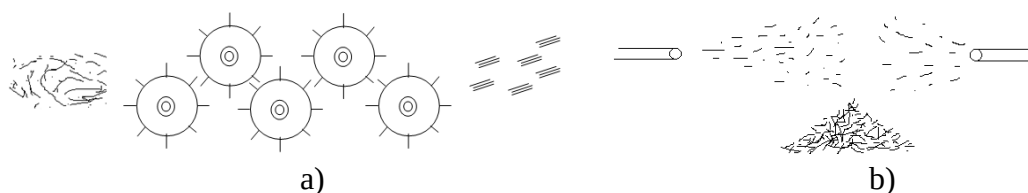
Obr. 4: Drevné vlákno zmiešané s PP vatou: a) 1:3 (obj./obj.), objemová hmotnosť  $0,066 \text{ g/cm}^3$ , b) 1:3 zhutnené do odpruženia, objemová hmotnosť  $0,110 \text{ g/cm}^3$ , c) detail na povrch voľne sypaného vlákna.

Pri miešaní (Obr. 5) sa vlákna elektrostaticky nabijú, čo je na jednej strane dobré z hľadiska vzniku mechanických spojení drevo/PP, ale na strane druhej to môže spôsobovať problém pri miešaní vo veľkom (priemyselnom merítku). Prašnom a odlet drobných vlákien taktiež predstavuje nie zanedbateľný problém.



Obr. 5: Princíp zmiešavania: a) vysokootáčkové miešanie- ostré nože slúži na separáciu vlákien (oddelovanie zhlukov), b) vysokootáčkové premiešavanie tupými miešacmi slúži na rovnomernú redistribúciu vlákien drevo/PP.

Rozčesávanie PP vlákien sme vykonali vysokootáčkovým miešaním, priemyselne riešenie je zobrazené na Obr. 6a. Na Obr. 6b je znázornený návrh priemyselného protiprúdového premiešavania drevných vlákien a PP vlákien.



Obr. 6: a) Princíp rozčesávania PP, b) návrh vzduchového protiprúdového premiešavania drevných vlákien a PP vlákien.

### 3.2.4. Predbežné testy

Predbežné testy boli vykonané preto, aby sa zistilo, či vyrobené kompozity sú súdržné, t.j. či by bola zabezpečená manipulovateľnosť s nimi. Nastavená pracovná teplota na lise sa pohybovala okolo 200°C, zádržná teplota bola na začiatok zvolená na dobu 5 min. Pri **tenkých doskách** (Tab. 3) sa uskutočnili testy pre hraničné obsahu (min, max) PP vaty s dobrým výsledkom súdržnosti vyhotovených kompozitov (mäkké aj tvrdé). Objemové hmotnosti vyrobených kompozitov sú v rozpätí 0,47 až 0,84 g/cm<sup>3</sup>. **Mäkké dosky** pri hrúbke 20 mm s nízkymi objemovými hmotnosťami, ktoré by mohli byť určené skôr na rôzne izolačné účely, naopak už neboli schopné si udržať svoj tvar, nedržali spolu a drobili sa.

Tab. 3: Predbežné testy (súdržnosť) pre drevovláknno/PP dosky.

| Vzorka | PP/drevo<br>(obj./obj.) | PP/drevo<br>(hm.%) |                                                         |                         |
|--------|-------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------|
| mäkká  | 1<br>:<br>5             | 1,9<br>7 %         | hrúbka vrstveného koberca (mm)                          | 20 mm                   |
|        |                         |                    | hrúbka koberca po zalisovaní (mm)                       | 3 mm                    |
|        |                         |                    | objemová hmotnosť kompozitu $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 0,476 g/cm <sup>3</sup> |
|        |                         |                    | teplota teplého lisu (°C)                               | 200°C                   |
|        |                         |                    | zádržný čas v teplom lise (min)                         | 5 min                   |
|        |                         |                    | teplota studeného lisu (°C)                             | 20°C                    |
|        |                         |                    | zádržný čas v studenom lise (min)                       | 5 min                   |
|        | PP/drevo<br>(obj./obj.) | PP/drevo<br>(hm.%) |                                                         |                         |
| tvrdá  | 3<br>:<br>1             | 25,<br>6 %         | hrúbka vrstveného koberca (mm)                          | 20 mm                   |
|        |                         |                    | hrúbka koberca po zalisovaní (mm)                       | 2 mm                    |
|        |                         |                    | objemová hmotnosť kompozitu $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 0,736 g/cm <sup>3</sup> |
|        |                         |                    | hrúbka koberca po zalisovaní (mm)                       | 2,5 mm                  |
|        |                         |                    | objemová hmotnosť kompozitu $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 0,840 g/cm <sup>3</sup> |
|        |                         |                    | teplota teplého lisu (°C)                               | 205°C                   |
|        |                         |                    | zádržný čas v teplom lise (min)                         | 5 min                   |
|        |                         |                    | teplota studeného lisu (°C)                             | 20°C                    |
|        |                         |                    | zádržný čas v studenom lise (min)                       | 5 min                   |

### 3.2.5. Tvorba tenkého kompozitu drevovláknno/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 mm x 150 mm x 333 mm = 1000 cm<sup>3</sup>. Teoretický rozmer vylišovanej dosky je teda: 3,5 mm x

150 mm x 333 mm = 174,8 cm<sup>3</sup> a plánovaná objemová hmotnosť predstavuje: 80 g / 174,8 cm<sup>3</sup> = 0,458 g/cm<sup>3</sup>. Lisovanie sa uskutočnilo 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 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.      |

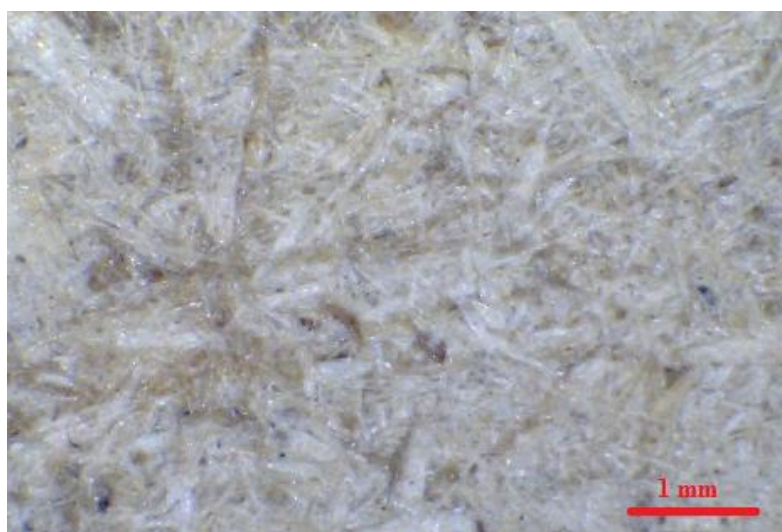
Laboratórne dosiahnuté výsledky objemových hmotností vrátane najdôležitejších technologických parametrov pri výrobe vzoriek sú uvedené v Tab. 4. Lisovanie sa uskutočnilo pomocou vymedzovacích podložiek hrúbky 3,2 mm. Uvedené namerané hodnoty boli získané až po klimatizovaní vzoriek v laboratórnej miestnosti pri teplote cca 20°C.

Tab. 4: Tenký kompozit WPC – laboratórne pripravený pre rôzne zanášky PP vaty.

|                 |                                                             |                     |                                                             |                                                                                            |
|-----------------|-------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vzorka<br>mäkká | hrúbka vrstveného koberca (mm)                              |                     |                                                             | 20 mm                                                                                      |
|                 | hrúbka koberca po zalisovaní (mm)                           |                     |                                                             | 3,2 mm                                                                                     |
|                 | teoretická objemová hmotnosť kompozitu (g/cm <sup>3</sup> ) |                     |                                                             | 0,458 g/cm <sup>3</sup>                                                                    |
|                 | 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.                                                                                      |
|                 | 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<br>tvrdosť, PP<br>vlákna sú<br>zvýraznené na<br>ploche, dutiny<br>po zhlukoch PP<br>sú výrazné |
|--|-----|-----|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Pohľad na vyrobené vzorky je na Obr. 8. 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 (Obr. 7). Zhluky PP vlákien sa začínajú objavovať na povrchu dosky pri 15% obsahu PP vaty.



Obr. 7: Povrch vzorky- drevné vlákno / PP (10% hm).





Obr. 8: Laboratórne vyrobené tenké kompozity drevné vlákno/PP hrúbky 3,2 mm. Obsah polypropylénu 5, 10, 15, 20, 30 a 40%.

Pre 10%-nu zanášku PP vaty sme v ďalšom kroku pripravili vzorky rôznych objemových hmotností aby sme pokryli, čo najširší hmotnostný rozsah (Tab. 5). 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. 5: Tenký kompozit WPC – laboratórne pripravený pre 10% zanášku PP vaty.

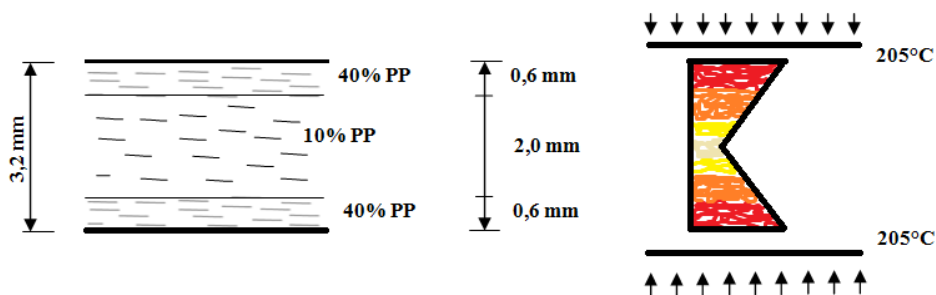
|                                   |                           |                                                                   |                                                                                                            |
|-----------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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<br>PP<br>(hm.%)             | konečná<br>hrúbka<br>(mm) | dosiahnutá<br>objemová hmotnosť<br>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<br>vytrhávať vlákno                                                                    |
|                                   | 3,2                       | 0,213                                                             | hraničná hodnota pre<br>manipulovateľnosť,<br>z povrchu sa vytrháva<br>vlákno, hrany sa začínajú<br>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.

### 3.2.6. Tvorba viacvrstvého tenkého kompozitu drevovláknno/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. 9. Obr. 10

zobrazuje laboratórne vrstvenie vlákňitého trojvrstvého koberca s odlišným obsahom polypropylénu v stredovej a v povrchových vrstvách.



Obr. 9: Princíp tvorby viacvrstvého kompozitu drevovlákn/ PP.



Obr. 10: Vrstvenie kompozitu drevovlákn/ PP: a) pohľad na pridávanie stredovej vrstvy, b) trojvrstvý 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  
stredová vrstva 38 g  
povrchová vrstva 11 g  
hmotnosť vzorky **60 g**

povrchová vrstva (2x)  
drevo 6,6 g  
PP (40%) 4,4 g  
spolu 11,0 g

stredová vrstva  
drevo 34,2 g  
PP (10%) 3,8 g  
spolu 38,0 g

### vzorka 2

povrchová vrstva 22 g  
stredová vrstva 76 g  
povrchová vrstva 22 g  
hmotnosť vzorky **120 g**

povrchová vrstva (2x)  
drevo 13,2 g  
PP (40%) 8,8 g  
spolu 22,0 g

stredová vrstva  
drevo 68,4 g  
PP (10%) 7,6 g  
spolu 76,0 g

### vzorka 3

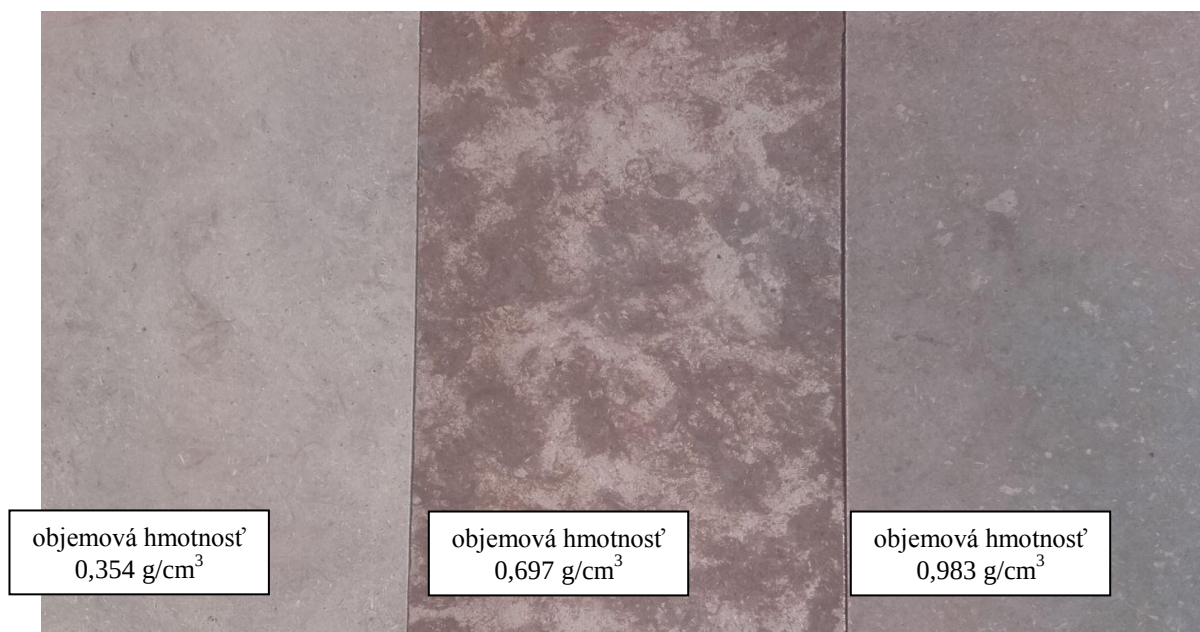
povrchová vrstva 33 g  
stredová vrstva 114 g  
povrchová vrstva 33 g  
hmotnosť vzorky **180 g**

povrchová vrstva (2x)  
drevo 19,9 g  
PP (40%) 13,2 g  
spolu 33,0 g

stredová vrstva  
drevo 102,6 g  
PP (10%) 11,4 g  
spolu 114,0 g

Tab. 6: 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<br>vrstvy<br>obsah PP<br>(hm) | stredová vrstva<br>obsah PP (hm) | konečná hrúbka<br>(mm) | dosiahnutá<br>objemová<br>hmotnosť<br>kompozitu (g/cm <sup>3</sup> ) | pozn.                           |
| 1      | 40%                                     | 10%                              | 3,2                    | 0,354                                                                | vrstvenie koberca<br>1,5-2 cm   |
| 2      |                                         |                                  | 3,2                    | 0,697                                                                | vrstvenie koberca<br>3-4 cm     |
| 3      |                                         |                                  | 3,2                    | 0,983                                                                | vrstvenie koberca<br>5,5-6,5 cm |



Obr. 11: 3-vrstvová drevovláknó/PP 40/10/40, hrúbka 3,2 mm, lisovacia teplota 200°C, lisovací čas 2 min.

Na obr. 11 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. 11 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.

### 3.2.7. WPC- tuhé škrupiny drevovláknô/PP

Tuhú škrupinu hrúbky 1,5 mm sme vytvorili na základe experimentu s viacvrstvovými tenkými kompozitmi drevovláknô/PP (40/10/40) pre objemovú hmotnosť okolo 1,0 g/cm<sup>3</sup> s tým, že nedostatok v nerovnomernej homogenizácii povrchovej vrstvy odstránime použitím **práškového PP**. Miešanie sa uskutočnilo podľa navážok:

#### vzorka 1

|                              |                              |                        |
|------------------------------|------------------------------|------------------------|
| povrchová vrstva 16 g        | <u>povrchová vrstva (2x)</u> | <u>stredová vrstva</u> |
| stredová vrstva 58 g         | drevo 9,6 g                  | drevo 52,2 g           |
| <u>povrchová vrstva 16 g</u> | <u>PP (40%) 6,4 g</u>        | <u>PP (10%) 5,8 g</u>  |
| hmotnosť vzorky <b>90 g</b>  | spolu 16,0 g                 | spolu 58,0 g           |

#### vzorka 2

|                              |                              |                        |
|------------------------------|------------------------------|------------------------|
| povrchová vrstva 16 g        | <u>povrchová vrstva (2x)</u> | <u>stredová vrstva</u> |
| stredová vrstva 58 g         | drevo 3,2 g                  | drevo 52,2 g           |
| <u>povrchová vrstva 16 g</u> | <u>PP (80%) 12,8 g</u>       | <u>PP (10%) 5,8 g</u>  |
| hmotnosť vzorky <b>90 g</b>  | spolu 16,0 g                 | spolu 58,0 g           |

Tab. 7: Laboratórne pripravené WPC- tuhé škrupiny drevovláknô/PP.

|        |                                   |                               |                       |                     |                                                             |                                      |
|--------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Vzorka | hrúbka koberca po zalisovaní (mm) |                               |                       |                     |                                                             | 1,5 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) | celkový obsah PP (hm) | konečná hrúbka (mm) | dosiahnutá objemová hmotnosť kompozitu (g/cm <sup>3</sup> ) | pozn.                                |
| 1      | 40%                               | 10%                           | 20,67%                | 1,5                 | 1,097                                                       | lisovací tlak 130 kg/cm <sup>2</sup> |
|        | 80%                               |                               | 34,89%                | 1,5                 | 1,010                                                       |                                      |

## **Použitá literatura**

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., Lyutyy, 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., Ayrimis, 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 Xylologiae 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.