

Anna BENEŠOVÁ¹, Jan VANĚREK², Rostislav DROCHYTKA³

**VLIV PODÍLU PLASTOVÉHO REGRANULÁTU NA VLASTNOSTI
DŘEVOPLASTOVÉHO KOMPOZITU**

**THE INFLUENCE OF REGRANULATE ADMIXTURE ON THE PROPERTIES
OF WOOD-POLYMER COMPOSITE**

Abstrakt

Matrice dřevoplastového kompozitu je tvořena termoplasty s nízkým bodem měknutí, nejčastěji polyolefiny nebo polyvinylchloridem. Tyto termoplasty s širokým průmyslovým využitím umožňují jednodušňovou recyklaci, která by měla zachovat požadované vlastnosti primárního polymeru. Využití recyklované drtě nebo regranulátu pro výrobu dřevoplastového kompozitu závisí tedy na splnění parametrů (druhotné) suroviny v souvislosti s účelem a technologií výroby produktu.

Klíčová slova

Dřevoplastový kompozit, polypropylenový regranulát, tahová pevnost, poměrné prodloužení, pevnost ve tříbodovém ohybu, deformace ohybem, infračervená absorpční spektroskopie.

Abstract

The WPC matrix is made of thermoplastics characterized by low softening point. The main types of WPC matrixes are polyolefins and polyvinylchloride. These thermoplastics, which provide a broad range of industrial utilization, allow a single-stage recycling that should maintain the virgin polymer properties. Therefore, the use of plastic regranulates in the form of a WPC matrix depends mainly on whether they meet the parameters required by the use purpose and production technology.

Keywords

Wood-polymer composite, polypropylene regranulate, tensile strength, elongation, the three-point bending strength, flexural deformation, infrared absorption spectroscopy.

1 ÚVOD

Dřevoplastový kompozit, tedy materiál spojující termoplastovou matici a plnivo tvořené částicemi dřevní hmoty (ideálně dřevní moučkou), byl vyvinut s cílem získat materiál vzhledem příbuzný masivnímu dřevu, jehož struktura ovšem eliminuje negativní vlastnosti ovlivňující životnost a s ní související požadavky na úpravu dřevěných konstrukcí zejména při použití v exteriéru [1]. V porovnání s masivním dřevem, dřevoplastový kompozit nevyžaduje pravidelnou údržbu, která chrání dřevo proti biotickým škůdcům, ztrátě barevnosti v důsledku vymývání produktů fotooxidace ligninu (šednutí dřeva) a především působení střídavého navlhání a vysychání, které má za následek

¹ Ing. Anna Benešová, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno, tel.: (+420) 541 147 522, e-mail: benesova.a@fce.vutbr.cz.

² Ing. Jan Vaněrek, Ph.D., Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno, tel.: (+420) 541 147 514, e-mail: vanerek.j@fce.vutbr.cz.

³ Prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, veveří 331/95, 602 00 Brno, tel.: (+420) 541 147 502, e-mail: drochytka.r@fce.vutbr.cz.

značné objemové změny vedoucí k destrukci konstrukce [2, 3]. Tyto negativní vlastnosti jsou obalením dřevní hmoty omezeny termoplastovou maticí, jejíž citlivost k okolnímu prostředí se snížila přidáním vhodných přísad upravujících materiál již v průběhu výroby [1-4].

Kromě výhod spojených s údržbou a deklarovanou životností je dřevoplastový kompozit rovněž upřednostňován z důvodu šetrnosti k životnímu prostředí, neboť vybraný typ plniva i matrice vytváří prostor pro využívání odpadů a druhotných surovin. Dřevní moučku lze vyrábět výhradně jako produkt odpadu dřevařského průmyslu [5], popřípadě doplnit vhodnou druhotnou surovinou, která neovlivní nebo zlepšit pevnostní charakteristiky kompozitu [6].

Matrice dřevoplastového kompozitu musí být tvořena termoplastem s nízkým bodem měknutí, protože výroba kompozitu je omezena rozkladem polysacharidických složek dřevní hmoty při teplotě nad 170°C [7]. Z tohoto důvodu se nejčastěji užívají polyolefiny a polyvinylchlorid [1]. Zpracování polyolefinů se všeobecně uplatňuje v oblasti obalových materiálů, jež se vyznačují krátkou spotřební dobou a je možné je jednostupňově recyklovat regranulací. Regranulát polyolefinového termoplastu by měl dosáhnout vlastností primárního polymeru, jeho kvalita může být ovšem ovlivněna původem, způsobem a účelem prvotního použití, zpracováním a mírou znečištění cizorodými látkami. Rozdílné vlastnosti kompozitu obsahujícího výhradně primární polymer a kompozitu s podílem polymerního recyklátu se mohou projevit nejen v oblasti pevnostních charakteristik, ale zejména ve snížení délky životnosti produktů a kvality uživatelských požadavků. Bude-li ovšem prokázáno, že náhrada části nebo celé matrice recyklátem nemá významný vliv na požadované vlastnosti, bude možné snížit i cenu produktů, vzhledem ke skutečnosti, že pořizovací cena regranulátu může dosáhnout až poloviny pořizovací ceny primárního polymeru.

Experiment, popsáný v této práci, je zaměřen na stanovení počátečních pevnostních charakteristik dřevoplastového kompozitu se třemi typy množství podílu regranulátu v matrici. Hlavními studovanými vlastnostmi jsou tahová pevnost a poměrné prodloužení zkušebních těles, modul pružnosti v tahu, pevnost a deformace ve třibodovém ohybu. Součástí základních testů je rovněž stanovení odchylek v chemické struktuře makromolekul síťovaných modifikovaných matic pomocí infračervené absorpční spektroskopie. Na výstupy tohoto experimentu bude následně navazovat vystavení dlouhodobým zátěžovým testům vlivu vodního uložení a osvětlení ultrafialovým zářením. Konstrukční prvky vyrobené z dřevoplastového kompozitu jsou určeny pro venkovní použití a vyznačují se tedy vysokými nároky na odolnost vůči rázu, zejména při snížené okolní teplotě. Z tohoto důvodu bude rovněž nutné všechna zkušební tělesa podrobit zkoušce rázové houževnatosti.

2 POUŽITÉ MATERIÁLY A ZKUŠEBNÍ METODY

Zkušební tělesa pro tahové a ohybové zkoušky byla vyrobena ze tří typů dřevoplastového kompozitu s podílem 27%, 50% a 100% regranulátu (Tab. 1). Použity byly: primární polymer typu Mosten GB 504 (MFI – index toku taveniny (melt flow index) 230°C/2,16 4g/10min, teplota měknutí dle Vicata 150°C) a regranulát vyráběný firmou Kordplast (MFI 230°C/2,16 6,1g/10min, teplota měknutí dle Vicata 145°C) původně užíván ve formě obalového materiálu. Blokový kopolymer Mosten GB 504 je polypropylén s vysokou rázovou houževnatostí a mezi pevnosti pohybující se kolem hodnoty 25 MPa [8]. Polypropylénový regranulát je díky nízkému indexu toku taveniny vhodný pro komerční využití v oblasti extrudovaných výrobků, protože se ovšem jedná o homopolymer, měla by se hodnota pevnosti na mezi kluzu přibližovat 35 MPa [8]. Z hlediska koncového užívání (převážně podlahové dílce) by bylo vhodnější použít regranulát polypropylénového kopolymeru, jež dosahuje vyšších hodnot houževnatosti a vyšší stability při snížených teplotách, původní užívání tohoto polymeru ovšem velmi často vyžaduje probarvování pigmenty, které ovlivňuje vzhled kompozitu a míra jeho degradace bývá zvýšená působením chemických a fyzikálních procesů. Z tohoto důvodu bude následně nutné stanovit únosnou mez snížení rázové resp. vrubové houževnatosti kompozitu a pevnosti při vystavení snížené teplotě v závislosti na podílu příměsi použitého regranulátu v matrici.

Dřevitá moučka byla dodána firmou Nate s.r.o., Mlýn – Bělkovice s jemností mletí B2 – polohrubá. Dřevitá moučka byla před započítáním výroby vysušena na minimální vlhkost. Obsah

těkavých podílů by bez úpravy sušením zapříčinil nižší homogenitu kompozitu. Dřevitá moučka působí v kompozitu jako vláknová výztuž a způsobuje tedy nárůst jeho tahových a ohybových pevností (při 30% plnění je u kopolymeru nárůst pevností v tahu přibližně 12%-ní vzhledem k deklarovanému napětí na mezi kluzu [6]).

Tab. 1: Složení surovinových směsí pro výrobu zkušebních těles

Složka	Popis	Označení směsi		
		1	2	3
PP Mosten GB 504 [%]	Blokový kopolymer, MFI 230°C/2,16 4g/10min, teplota měknutí dle Vicata 150°C, čirý	40	27,5	0
PP regranulát Kordplast [%]	Homopolymer, MFI 230°C/2,16 6,1g/10min, teplota měknutí dle Vicata 145°C, čirý	15	27,5	55
Dřevitá moučka B2 [%]	Polohrubá, vysušená	40	40	40
Příslady [%]	Licomont AR, Irganox B225, Chimisorb UV 944	5	5	5

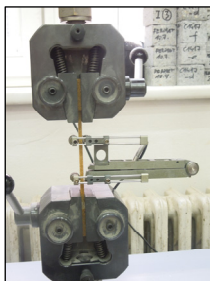
Směsi surovin o stanovených poměrech byly homogenizovány na extrudéru BUSS MDK 46 a vyrobený granulát byl poté vstřikován do formy vstřikoliskem Arburg. Rozměry zkušebních těles odpovídají požadavkům normy ČSN EN ISO 527 pro stanovení tahové pevnosti plastů. Zkušební tělesa typu 1B o délce 150 mm, šířce 20 mm (pracovní část šířky 10mm) a tloušťce 4 mm (obr. 1) byla použita i pro stanovení pevnosti ve tříbodovém ohybu.



Obr. 1: Zkušební tělesa předepsaných rozměrů dle ČSN EN ISO 527, typ 1B, složení 1 (27%-ní podíl regranulátu v matrici), 2 (50%-ní podíl regranulátu v matrici) a 3 (100% matrice tvoří regranulát)

Zkušební tělesa byla zatěžována dle metodiky popsané v technické normě ČSN EN ISO 527-1, 2 pro stanovení meze pevnosti v tahu, poměrného prodloužení a modulu pružnosti v tahu a dle ČSN EN ISO 178 A1 pro stanovení meze pevnosti a deformace ve tříbodovém ohybu. Stanovení všech veličin bylo provedeno na zkušebním zařízení Testometric M350-20CT, pro stanovení deformací tahem byl použit extenzometr (obr. 2, 3).

Infračervené absorpční spektrogramy byly získány pomocí spektrometru PerkinElmer® Frontier IR Single-Range. K měření byla použita odrazová metoda ATR.



Obr. 2: Stanovení mezní síly při zatěžování tahem a deformace pomocí extenzometru



Obr. 3: Stanovení mezní síly při porušení tříbodovým ohybem

3 VYHODNOCENÍ A DISKUZE VÝSLEDKŮ

3.1 Vyhodnocení pevnostních charakteristik.

Všechny pevnostní charakteristiky byly stanoveny na zkušebních tělesech kondiciovaných v normalizovaném prostředí při laboratorní teplotě.

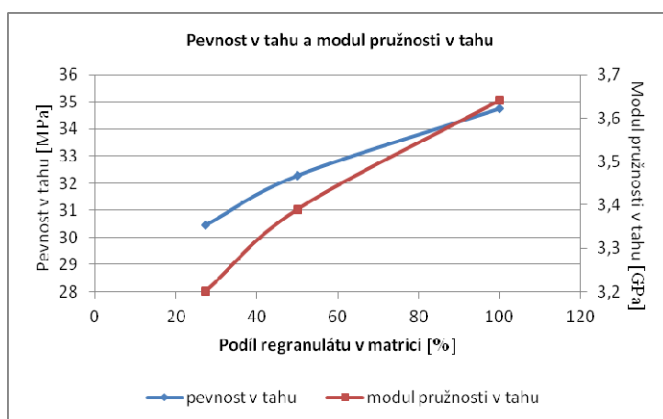
Dle předpokladů, průměrné počáteční hodnoty testovaných pevnostních charakteristik měly narůstající tendenci při zvyšujícím se podílu polypropylénového regranulátu v matrici (Tab. 2). Funkční závislosti pevnosti a modulu pružnosti v tahu na množství podílu regranulátu měly záporně kvadratický průběh (obr. 4). U obou veličin byl zaznamenán nárůst o 13,8%. Tomuto trendu odpovídá i snižující se tendence poměrného prodloužení zkušebních těles, které dosáhlo poklesu až o 69%.

Se zvyšujícím se procentuálním podílem polymerní složky z regranulátu docházelo i ke zvýšení ohybové pevnosti. Funkční závislost nárůstu ohybové pevnosti byla kvadratického průběhu (obr. 5). Hodnota průměrné ohybové pevnosti se zvýšila o 16,9%. Stejně jako poměrné prodloužení, i průměrná deformace při tříbodovém ohybu měla tendenci klesající (dosažený pokles činil 44,5%). Snižující se hodnoty poměrného prodloužení a deformace ve tříbodovém ohybu svědčí o vyšší tuhosti směsi s vyšším podílem regranulátu.

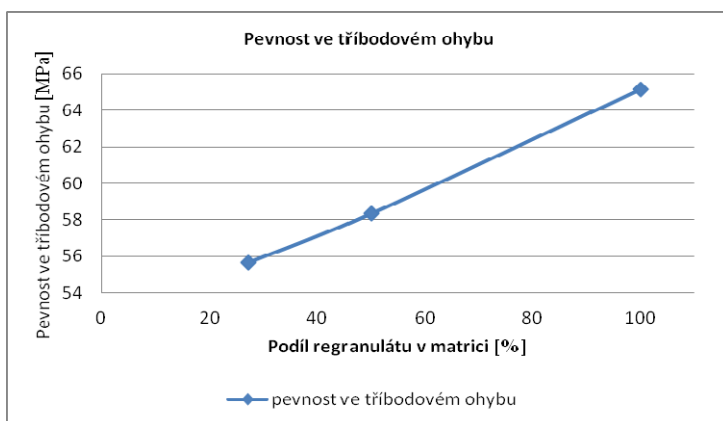
Deklarovaná pevnost v tahu homopolymerů se blíží hodnotě 35 MPa. Vzhledem ke skutečnosti, že průměrná pevnost v tahu zkušebních těles obsahujících matrici pouze z regranulátu činila 37,4 MPa, nebyl experimentem potvrzen pozitivní vliv zvýšení pevnosti v tahu dřevoplastového kompozitu ve spojení s přidavkem dřevní moučky, jak je trendem při plnění primárních polymerů.

Tab. 2: Průměrné hodnoty sledovaných charakteristik

Označení typu směsi	Pevnostní charakteristiky - Tah			Pevnostní charakteristiky – Tříbodový ohyb	
	Pevnost [MPa]	Modul pružnosti [GPa]	Poměrné prodloužení [%]	Pevnost [MPa]	Deformace ohybem [%]
1	30,5±0,872	3,20±0,102	0,042	55,7±2,090	6,724
2	32,3±0,920	3,39±0,047	0,029	58,3±0,803	4,862
3	34,7±0,671	3,64±0,135	0,013	65,1±0,700	3,729



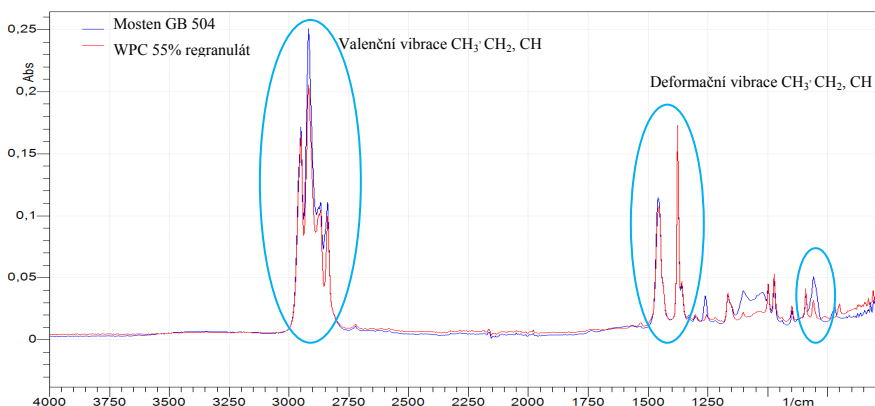
Obr. 4: Grafické znázornění průběhu závislosti pevnosti a modulu pružnosti v tahu na množství podílu regranulátu v matrici



Obr. 5: Grafické znázornění průběhu závislosti pevnosti ve třibodovém ohybu na množství podílu regranulátu v matrici

3.2 Vyhodnocení infračervených absorpčních spektrogramů.

Infračervené absorpční spektrogramy byly naměřeny u všech tří typů matic. Pro stanovení odchylek byl spektrogram zkušebního tělesa s matricí tvořenou regranulátem porovnán se spektrogramem primárního polymeru Mosten GB 504. Intenzivní spektrální pásy odpovídají hlavním vlnočtům polypropylenu. V oblasti vlnočtů $3000\text{--}2850\text{ cm}^{-1}$ reagují valenční vibrací silné intenzity základní vazby uhlíkových makromolekul (CH_3 , CH_2 , CH), deformační vibrace těchto vazeb se vyskytují na vlnočtech 1460 cm^{-1} , 1375 cm^{-1} s přílehlým pásem 1360 cm^{-1} (C-H kolébavá vibrace) a v oblasti spektrálního pásu na vlnočtu 720 cm^{-1} . Srovnání spektrogramů neukázalo žádné výrazné rozdíly v chemické struktuře jednotlivých matic.



Obr. 6: Porovnání infračervených absorpčních spektrogramů typu 3 (matrici tvoří 100% regranulát) a primárního polymeru Mosten GB 504

4 ZÁVĚR

V rámci experimentu byly stanoveny počáteční pevnostní parametry tří typů dřevoplastového kompozitu s matricí modifikovanou 27%, 50% a 100% podílem regranulátu. Vyhodnocené průběhy tahových a ohybových pevností měly se zvyšujícím se podílem regranulátu rostoucí tendenci, zvýšení pevnosti a modulu pružnosti v tahu dosáhlo nárůstu 13,8%. Nárůst ohybové pevnosti dosáhl 16,9%. Tato skutečnost je zapříčiněna stavbou makromolekul regranulátu.

Možnost použití regranulátu jako náhrady části nebo celé primární polypropylénové matrice dřevoplastového kompozitu je tedy závislá jednak na stanovení houževnatosti kompozitu, zejména

pak na provedení testů dlouhodobé zátěže zkušebních těles v nepříznivých podmínkách (vodní uložení, ultrafialový osvit, snížená okolní teplota). Po vyhodnocení zkoušek dlouhodobé zátěže bude možné optimalizovat poměr regranulátu a primárního polymeru k dosažení adekvátní kvality modifikovaného kompozitu.

Prvním z ukazatelů degradace materiálu v nepříznivém prostředí bude kromě vizuálního posouzení rovněž stanovení změny chemické struktury pomocí infračervené absorpční spektroskopie. Pořízené počáteční spektrogramy nevykázaly relevantní odchylky od spektrogramu primárního polymeru, pro potřeby navazujícího experimentu byly stanoveny hlavní spektrální pásy polypropylenu.

PODĚKOVÁNÍ

Príspevek byl realizován za finanční podpory Centra AdMaS – Advanced Materials, Structures and Technologies (reg. č. CZ.1.05/2.1.00/03.0097), Výzkumný program VP1: Vývoj pokročilých stavebních materiálů a interního projektu Specifického výzkumu FAST-J-13-1877.

LITERATURA

- [1] OKSMAN NISKA, K., SAIN, M. *Wood-polymer composites*. Cambridge England. 2008. ISBN 978-1-84569-272-8.
- [2] MORRELL, J.J., STARK, N.M., PENDELTON, D.E., MCDONALD, A. Durability of Wood-plastic composites. In: *10th International Conference on Wood & Biofiber Plastic Composites and Cellulose Nanocomposites*. Place: Forest Products Society, 2009. ISBN 978-1-892529-55-8.
- [3] SHAO-YUAN, L., TSU-HSIEN, Y., SHENG-FONG, L., TSE-HSIN, Y. Optimized material composition to improve the physical and mechanical properties of extruded wood-plastic composites (WPC). In: *Construction and building materials*. 2012, 29, pp. 120-127, ISSN 0950-0618.
- [4] GNATOWSKI, M. Water Absorption and Durability of Wood-plastic composites. In: *10th International Conference on Wood & Biofiber Plastic Composites and Cellulose Nanocomposites*. Place: Forest Products Society, 2009, ISBN 978-1-892529-55-8.
- [5] ARES, A., BOUZA, R., PARDO, S.G., ABAD, M.J., BARRAL, L. Rheological, mechanical and thermal behaviour of wood-polymer composites based on recycled polypropylene. In: *Journal of Polymers and the Environment*. 2010, 18, pp. 318-325. ISSN 1566-2543.
- [6] BENEŠOVÁ, A. Fyzikálně-mechanické vlastnosti modifikovaného dřevoplastového kompozitu. In: *15. Odborná konference doktorského studia JUNIORSTAV 2013*. Place: Vysoké učení technické v Brně, 2013. ISBN 978-80-214-4669-4.
- [7] NAJAFI, K.Z. Use of recycled plastics in wood plastic composites – A review. In: *Waste Management*. 2013, 33, pp. 1898-1905. ISSN 0956-053X.
- [8] Technické listy produktů společnosti Unipetrol.
- [9] ČSN EN ISO 527-2. *Plasty - Stanovení tahových vlastností - Část 2: Zkušební podmínky pro tvářené plasty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. Třídící znak 640604.
- [10] ČSN EN ISO 178 A1. *Plasty - Stanovení ohybových vlastností*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013. 18s. Třídící znak 640607.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Dagmar Měřínská, Ph.D., Ústav inženýrství polymerů, Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.

Doc. Ing. Miroslava Netopilová, CSc., Katedra požární ochrany, Fakulta bezpečnostního inženýrství, VŠB-TU Ostrava.