



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

OPTIMALIZACE SLOŽENÍ
DŘEVOPLASTOVÝCH KOMPOZITŮ
S OHLEDEM NA JEJICH VYUŽITÍ
VE STAVEBNICTVÍ

THE OPTIMIZATION OF THE WOOD POLYMER COMPOSITE COMPOSITION
REGARDING ITS UTILIZATION IN BUILDING STRUCTURES

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE

SHORT VERSION OF DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Anna Benešová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAN VANĚREK, Ph.D.

BRNO 2017

ABSTRAKT

Dřevoplastový kompozit je poměrně nový materiál kombinující rozmělněnou dřevní hmotu a termoplastový polymer. Tento materiál se využívá především jako alternativa masivního rostlého dřeva v oblasti exteriérových nenosných prvků, jelikož dosahuje přívětivějších vlastností z hlediska základní životnosti při minimálních požadavcích na údržbu. Surovinové složení i způsob zpracování kompozitu umožňují významně modifikovat vlastnosti konečného produktu dalšími látkami s pozitivním vlivem na některou z charakteristik kompozitu. Výzkum a vývoj v této oblasti se zaměřuje především na uplatnění takových modifikujících přísad a příměsí, které buď zvýší odolnost materiálu vůči povětrnostním vlivům, nebo umožní aplikaci druhotných surovin, jelikož významný podíl surovinové směsi je získáván z neobnovitelných zdrojů. Předkládaná disertační práce se zabývá posouzením vlivu modifikace dřevoplastového kompozitu separátně na dvou úrovních. První z nich je modifikace matrice recyklovaným polymerem, druhá modifikací plniva odpadní částicovou příměsí. U obou typů modifikace bylo provedeno stanovení primárních charakteristik spojených s hlavním způsobem aplikace a také předpokládané odolnosti nepříznivým podmínkám.

KLÍČOVÁ SLOVA

Dřevoplastový kompozit, modifikace druhotnými surovinami, recyklovaný polymer, popílek, fyzikální a mechanické vlastnosti, odolnost vůči povětrnosti, požární odolnost, životnost

KEYWORDS

Wood-polymer composite, modification with secondary raw materials, recycled polymer, fly ash, physical and mechanical properties, weathering, fire resistance, durability

NÁZEV PRACOVIŠTĚ

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců

Obsah

1	ÚVOD	4
2	Cíl práce	6
3	Metodika provedených prací.....	7
3.1	Etapa I – Příprava výzkumného záměru	7
3.2	Etapa II – Modifikace matrice	8
3.3	Etapa III – Modifikace plniva.....	8
3.4	Etapa IV – Závěrečné vyhodnocení.....	9
4	Vyhodnocení jednotlivých etap	10
4.1	Etapa I.....	10
4.2	Etapa II – modifikace matrice.....	10
4.3	Etapa III – modifikace plniva	13
4.4	Etapa IV	17
5	Diskuze výsledků	18
6	ZÁVĚR	20
	Použitá literatura (výběr)	23
7	CURICULUM VITAE	25

1 ÚVOD

Venkovní konstrukce a dílce jsou vystaveny povětrnosti, která významně ovlivňuje jejich životnost a zvyšuje nároky na jejich údržbu. Konstrukční prvky a dílce z masivního a aglomerovaného dřeva představují skupinu stavebních materiálů nejvíce ohroženou působením vnějšího prostředí, jelikož jsou vysoce citlivé nejen ke slunečnímu záření a vlhkosti (a tedy implicitně i nízkým teplotám), ale jsou také kvůli svému chemickému složení tvořenému převážně cukry napadány různými biotickými škůdci, jako jsou plísňe, dřevokazné houby nebo hmyz. Z tohoto důvodu je nutné dřevěné konstrukce a materiály na bázi dřeva pravidelně ošetřovat vhodnými přípravky, což se výrazně projevuje na nákladech spojených s užíváním staveb.

Alternativou masivního a aglomerovaného dřeva ve venkovním použití jsou prvky a konstrukční dílce z dřevoplastového kompozitu. Tento progresivní materiál, v dnešní době již výrazně rozšířený a běžně dostupný ve formě obkladových dílců nebo terasových systémů, je vyráběn mísením termoplastové matrice a dřevěného plniva v takovém poměru, který odpovídá požadavku na dosažení optimálních vlastností obou těchto surovin po danou aplikaci. Termoplastová matrice bývá obvykle vylepšena příměsemi a přísadami, jejichž hlavním záměrem je chránit nejen vlákna plniva, ale také samotnou matici, před působením degradujících faktorů venkovního prostředí a současně zajišťují její tvarovou a vzhledovou stálost.

Pevnostní charakteristiky termoplastové matrice, které znemožňují její využití v neplněné formě pro konstrukční účely, jsou kompenzovány vláknovým charakterem plniva dodávajícím materiálu dostatečnou odolnost tahovému a ohybovému zatížení. Plnivo zároveň přispívá k vizuální a pocitové příbuznosti masivnímu dřevu, která je atraktivní s ohledem na pohledové části dílců a konstrukcí. Dřevoplastové kompozitní prvky se takto staly vhodnou a oblíbenou náhradou masivního dřeva s nízkými nároky na údržbu a optimálním vzhledem.

Obecnou snahou výzkumných a vývojových tendencí v oblasti stavebních materiálů i průmyslu jako takového, je využívání odpadních látek a recyklace zdrojů. Primární termoplasty jsou ve své podstatě ropné produkty, tudíž pocházejí z neobnovitelných zdrojů. Z tohoto důvodu bylo hlavním předmětem předkládané práce posouzení možností modifikace dřevoplastového kompozitu odpadními látkami, a to jak náhradou části matrice, tak dřevitého plniva. Příměsi obou hlavních složek kompozitu byly vybrány na základě teoretické rešerše odborných publikací a připravená zkušební tělesa byla v rámci základního výzkumu podrobena primárnímu testování fyzikálně mechanických vlastností a zkouškám trvanlivosti.

Praktická část práce řeší dva klíčové záměry. Prvním z nich je posouzení vlivu modifikace matrice dřevoplastového kompozitu odpadní polymerem, druhým pak modifikace plniva s ohledem na vybrané upravované vlastnosti. V rámci zkoušení obou typů modifikací byly realizovány destruktivní i nedestruktivní zkoušky pro vyhodnocení fyzikálních a fyzikálně mechanických vlastností připravených kompozitů. Následně pak byla posuzována odolnost modifikovaného WPC vůči vlivům degradujících faktorů, která měly posloužit jako podklad pro stanovení vývoje sledovaných vlastností v čase v běžné venkovní aplikaci. Výstupem provedeného výzkumu byla prvotní optimalizace surovinového složení obou typů modifikovaného kompozitu s ohledem na synergii všech sledovaných charakteristik.

2 Cíl práce

Stávající dřevoplastové kompozity představují materiál s vysokým potenciálem pro užití ve stavebním průmyslu. Předkládaná disertační práce se zabývá výzkumem vlastností dřevoplastových kompozitů, které jsou modifikovány druhotnými surovinami běžně užívanými ve stavební výrobě. Výzkumný záměr byl rozdělen do dvou směrů, jejichž obsah se orientoval separátně na modifikaci **matrice** recyklovaným polymerem a modifikaci **plniva** druhotnou surovinou částicového charakteru.

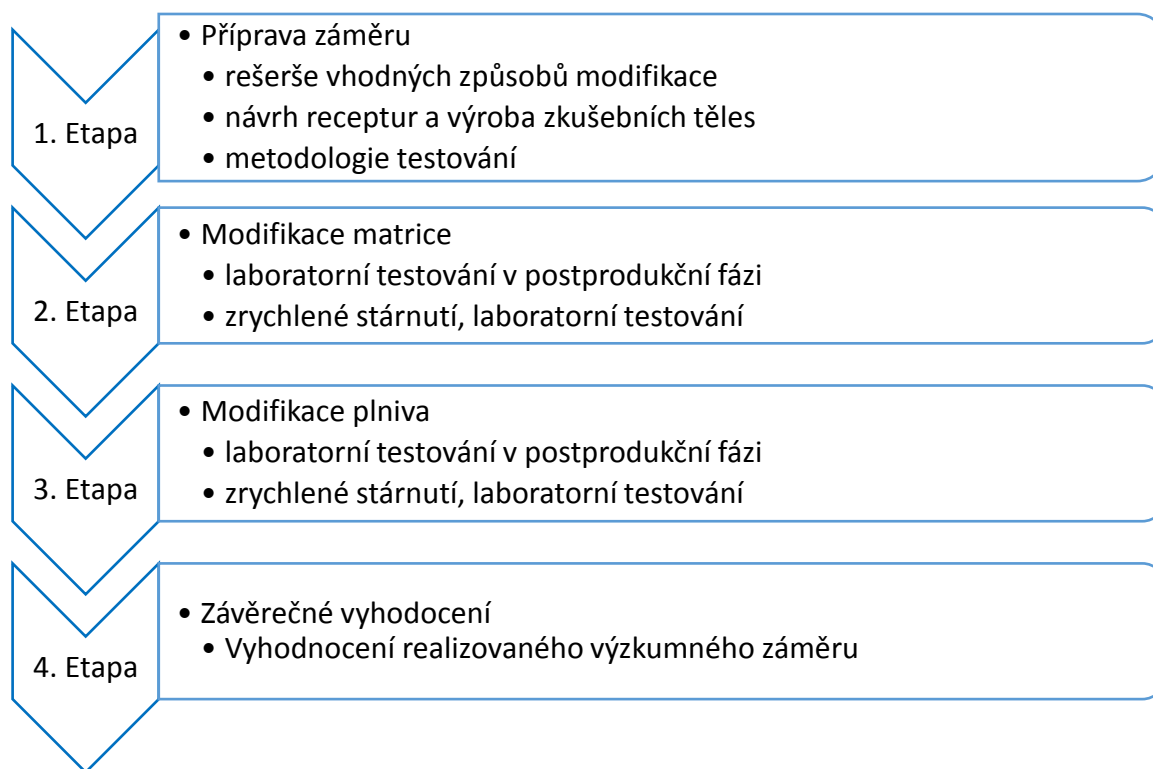
Cílem provedeného výzkumu bylo komplexně zhodnotit vliv modifikace plniva a modifikace matrice vhodnou druhotnou surovinou na konečné fyzikální, mechanické, vzhledové a trvanlivostní vlastnosti dřevoplastového kompozitu. S ohledem na potenciální využití modifikovaného WPC ve stavebnictví byly vyvíjené směsi posuzovány také z hlediska degradace v nepříznivých exteriérových podmínkách. Práce byla rozdělena do čtyř etap, které sledovaly tyto dílčí cíle:

1. Etapa výzkumu provedeného v disertační práci se zaměřovala na **přípravu výzkumného záměru**. V rámci této etapy byla provedena rešerše dostupných surovin pro oba typy modifikace dřevoplastového kompozitu, odvozeno složení receptur jednotlivých sérií zkušebních těles a stanovena procesní metodika výrobních a zkušebních postupů. V této etapě bylo provedeno posouzení vhodné metodologie stanovení jednotlivých charakteristik s ohledem na primární aplikaci materiálu.
2. Etapa disertační práce se zaměřovala na stanovení vybraných vlastností dřevoplastového kompozitu **modifikovaného podílem polymerního recyklátu v matrici**. V rámci této etapy byla vyrobena a odzkoušena zkušební tělesa s variabilním podílem regranulátu v matrici. Tato etapa byla rozdělena na tři dílčí chronologicky navazující podetapy zahrnující zkoušení vlastností zkušebních těles v postprodukční fázi a po expozici 2 typům zrychleného stárnutí. To se zaměřovalo na stanovení základních fyzikálních a fyzikálně mechanických vlastností připravených kompozitů a na posouzení jejich chemické a morfologické struktury nedestructivními metodami. Druhá a třetí podetapa zahrnovala provedení zrychleného testu stárnutí vystavením dvěma cyklickým zkouškám – expozici UV záření v ozařovací komoře a cyklickému zatěžování vlhkostí, mrazem a vysoušením, na něž následně navazovalo opětovné stanovení sledovaných veličin pro posouzení vlivu degradačních faktorů na vlastnosti materiálu.

3. V této etapě byla obdobným postupem jako ve druhé etapě provedena evaluace vlivu **modifikace plniva variabilním podílem příměsí druhotné částicové suroviny** na fyzikální, fyzikálně mechanické a vzhledové vlastnosti dřevoplastového kompozitu. Etapa byla rovněž rozdělena do tří podetap.
4. Závěrečná etapa výzkumu realizovaného v rámci disertační práce byla zaměřená na **vyhodnocení provedeného laboratorního testování** a posouzení vhodnosti vybraných způsobů modifikace dřevoplastového kompozitu na jeho uplatnění ve stavebních aplikacích.

3 Metodika provedených prací

Realizace experimentální části byla rozdělena do čtyř etap. Schematické znázornění náplně jednotlivých etap disertační práce uvádí následující Obrázek 1.



Obrázek 1 Schéma znázorňující náplň jednotlivých etap disertační práce

3.1 Etapa I – Příprava výzkumného záměru

První etapa řešení disertační práce byla zaměřená na provedení přípravných prací pro následné laboratorní testování. Tyto práce chronologicky zahrnovaly tři fáze – rešerši dostupných surovin pro oba typy modifikace, návrh složení receptur směsí včetně výroby

zkušebních těles a definici vhodné metodiky zkoušení. V rámci této etapy proběhla také výroba zkušebních těles.

3.2 Etapa II – Modifikace matrice

Zkušební tělesa ze směsi dřevoplastového kompozitu s provedenou modifikací matrice byla testována dle následujícího schématu:

- Laboratorní zkoušení referenčních zkušebních těles (v postprodukčním stavu) - v této fázi byly provedeny základní laboratorní zkoušky a sekundární testování referenčních zkušebních tělesek s variabilním podílem regranulátu jako částečné nebo úplné náhrady matrice.
- Zrychlené stárnutí modifikovaných těles a následná kvantifikace míry degradace - část zkušebních těles z každé série byla vystavena vlivu nepříznivých podmínek dle předepsaného postupu. Jednalo se o expozici UV záření v ozařovací komoře ve výše popsaném kontinuálním režimu a cyklické zatěžování expozicí vlhkosti a změnám teploty.

3.3 Etapa III – Modifikace plniva

Předmětem třetí etapy výzkumného záměru bylo laboratorní testování zkušebních těles dřevoplastového kompozitu s provedenou modifikací plniva ve variabilním podílu příměsi. Zkušební schéma této etapy bylo rozděleno do čtyř fází:

- Laboratorní zkoušení referenčních zkušebních těles (v postprodukčním stavu) - v této fázi byly provedeny základní zkoušky a sekundární testování připravených referenčních zkušebních těles (dvou typů receptur).
- Zrychlené stárnutí a zkoušení degradovaných těles - navazující fáze expozice zrychlenému stárnutí byla realizována obdobně jako u zkušebních těles dřevoplastového kompozitu s modifikovanou maticí. Zrychlené stárnutí bylo v tomto případě aplikováno pouze na vstříkovaných tělesek bez přídavku retardéru hoření.
- Požární odolnost - bylo zaměřeno na posouzení vlivu příměsi anorganického plniva na vlastnosti spojené s požární odolností materiálu, a to kyslíkového čísla (hořlavosti) a bodu vzplanutí (vznětlivosti).
- UV stabilizace – bylo zaměřeno na stanovení vlivu anorganické příměsi na odolnost vůči UV záření. V tomto případě byla připravena zkušební tělesa obsahující UV stabilizační přísadu v obvyklém množství a bez přísady. Oba typy zkušebních těles byly vystaveny působení UV záření v ozařovací komoře, a následně byly srovnávány změny v chemické

strukturu povrchových vrstev materiálu prostřednictvím Infračervené absorpční spektroskopie.

3.4 Etapa IV – Závěrečné vyhodnocení

V závěrečné etapě výzkumného záměru proběhlo vyhodnocení všech nasbíraných dat z provedených laboratorních zkoušek. Předmětem této etapy bylo provedení deskriptivní analýzy aplikačních vlastností dřevoplastového kompozitu modifikovaného vybraným způsobem, a následně komparativní analýzy hodnot zkušebních těles v postprodukčním (referenčním) a degradovaném stavu. Na základě provedených analýz bylo provedeno posouzení optimálního podílu recyklátu v matrici a příměsi plniva dřevoplastového kompozitu s ohledem na požadavky aplikace konečného produktu.

4 Vyhodnocení jednotlivých etap

4.1 Etapa I

Jak bylo uvedeno v předchozím textu, první etapa řešení výzkumného záměru byla rozdělena do tří fází, které zahrnovaly:

- rešerši dostupných surovin,
- návrh receptur a výrobu zkušebních těles,
- návrh metodiky zkušebních schémat.

Pro modifikaci složení dřevoplastového kompozitu byly zvoleny dva typy odpadních látek; recyklovaný polypropylen ze stavební výroby pro modifikaci matrice a elektrárenský popílek (z elektrárny Rybník) pro modifikaci plniva WPC materiálu. Návrh receptur byl proveden rovnoměrným rozložením, výchozí složení referenčních zkušebních těles bylo nastaveno tak, aby odpovídalo potřebám laboratorního zkoušení. Pro zkoušky WPC vzorků s modifikovanou maticí bylo základní složení WPC směsi tvořeno v poměru 60 % podílu matrice s přísadami a 40 % podílu dřevního plniva. Pro zkoušky vzorků WPC s modifikovaným plnivem (náhradou plniva) činil v základním složení podíl matrice 70 % a podíl plniva 30 %. Pro zkoušení požární odolnosti bylo nutné celou surovinovou směs obohatit retardérem hoření a zvýšit podíl plniva. V tomto případě obsahovalo základní složení 64% podíl matrice s přísadami a 36% podíl plniva včetně modifikace. Metodika zkoušení byla navržena dle normativních požadavků a schémat vyplývajících z provedené rešerše.

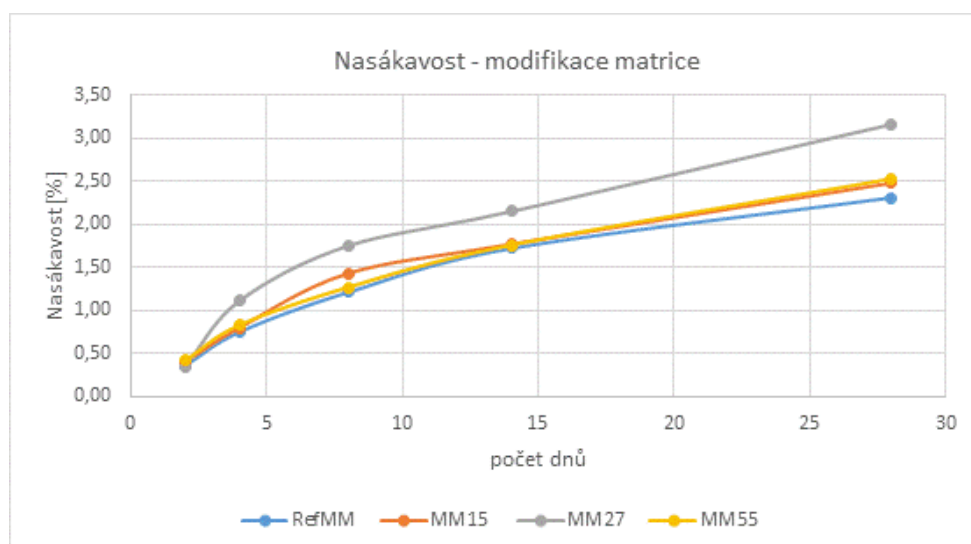
4.2 Etapa II – modifikace matrice

Matrice dřevoplastového kompozitu byla modifikována 15; 27,5 a 55% podílem recyklátu v surovinové směsi WPC kompozitu. Pro modifikaci byl vybrán běžně dostupný polymer, který měl ovšem v porovnání s primárním polymerem odlišnou chemickou strukturu (primární matrice byla z kopolymeru, náhrada byla provedena homopolymerem). Studium vlastností zkušebních vzorků kompozitu bylo směřováno do dvou specifických oblastí – k posouzení vlivu modifikace na základní charakteristiky v postprodukčním stavu kompozitu a po expozici nepříznivým podmínkám simulujících venkovní aplikaci.

Z testování základních vlastností v postprodukčním stavu a po vystavení nepříznivým podmínkám vyplynuly tyto výstupy:

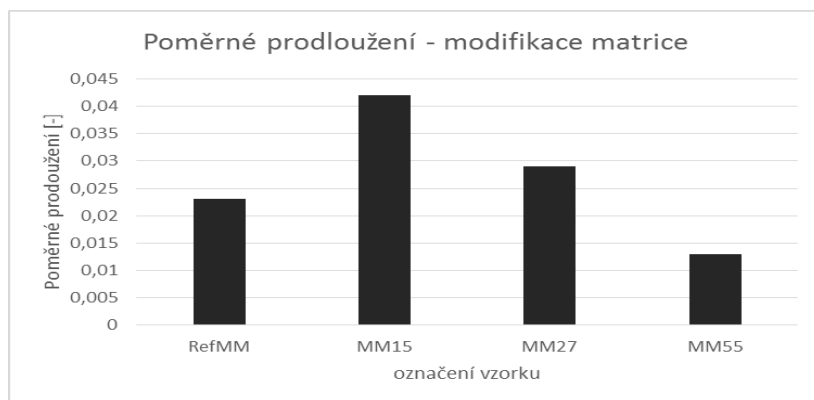
A) Matrice připravená směsí recyklovaného a primárního polymeru vykázala komplexně horší vlastnosti než matrice připravená z recyklovaného polymeru

V porovnání s kompozity s jednodruhovou recyklovanou matricí dosáhla zkušební tělesa připravená jako kompozit se směsnou matricí výrazně horších vlastností. Jednalo se o zhoršení vlastností souvisejících s příjmem vlhkosti a snížení pevnostních parametrů. Nejvyšší nasákavost po 28 dnech dosáhla zkušební tělesa s matricí obsahující 50% podíl recyklátu, obdobně pevnost v tahu, modul pružnosti i pevnost v ohybu byly u zkušebních těles se směsnou matricí výrazně nižší (o 20 %) než u kompozitů s matricí jednodruhovou (recyklovanou). Tato skutečnost je připisována nehomogenní struktuře způsobené rozdílnou teplotou tavení homopolymeru a kopolymeru. Jejím vlivem dochází ve struktuře matrice k vzniku fází s různou krystalinitou, které působí jako další typ plniva, a zapříčiňují nerovnoměrné obalení zrn plniva, a implicitně nedostatečnou kompaktnost celé kompozitní struktury. Slabá interakce matrice a plniva byla potvrzena také studiem morfologie lomové plochy zkušebních těles po zkoušce tahové pevnosti.



Graf 1 Nasákavost vzorků s příměsí nebo náhradou matrice z primárního polymeru recyklátem: RefMM – pouze s primárním polypropylenem, MM15 – s 15% podílem regranulátu, MM27 – s 27,5% podílem regranulátu, MM55 – s matricí z regranulátu.

Výsledky tahových pevností prokázaly, že při zatížení přenáší tahové napětí kompozitů se směsným polymerem matrice, jelikož k porušení došlo na styku ploch plniva a matrice, kdežto u zkušebních těles s jednodruhovou matricí převládalo porušení ve vláknech. Této skutečnosti odpovídají i výsledky poměrného prodloužení, které bylo vyšší u zkušebních těles se směsnou matricí.

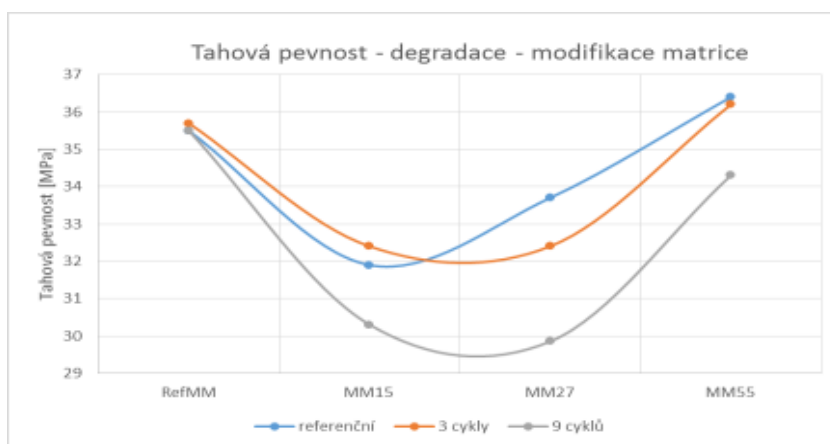


Graf 2 Poměrné prodloužení vzorků s příměsí nebo náhradou matrice z primárního polymeru recyklátem:

RefMM – pouze s primárním polypropylenem, MM15 – s 15% podílem regranolátu, MM27 – s 27,5% podílem regranolátu, MM55 – s matricí z regranolátu.

B) V nepříznivém prostředí dochází k rychlejší degradaci kompozitu s recyklátem v matrici

Studium vlastností zkušebních těles kompozitů s modifikovanou matricí vystavených působení nepříznivého prostředí poukázalo na výrazný pokles mezi hodnotami stanovenými po 3 a 9 cyklech expozice cyklického působení vlhkosti, mrazu a vysoušení. Porušení struktury matrice kompozitu se promítlo do zvýšené 28denní nasákavosti i snížení pevnostních charakteristik v porovnání s původními hodnotami referenčních vzorků stanovených základním laboratorním testováním. Zatímco tahová i ohybová pevnost zkušebních těles s matricí z primárního polymeru zůstala poměrně stabilní, u kompozitů ze směsného polymeru (tzn. s částečnou náhradou recyklovaným polymerem) i u kompozitů s matricí tvořenou pouze recyklovaným polymerem došlo k jejímu snížení pod základní hodnotu blízkou se hodnotě neplněného plastu. Tento jev je jednak způsoben charakterem polymeru, jelikož primární polypropylénový kopolymer se vyznačuje deklarovanou mrazuvzdorností, jednak senzitivitou recyklátu k působení vlhkosti.

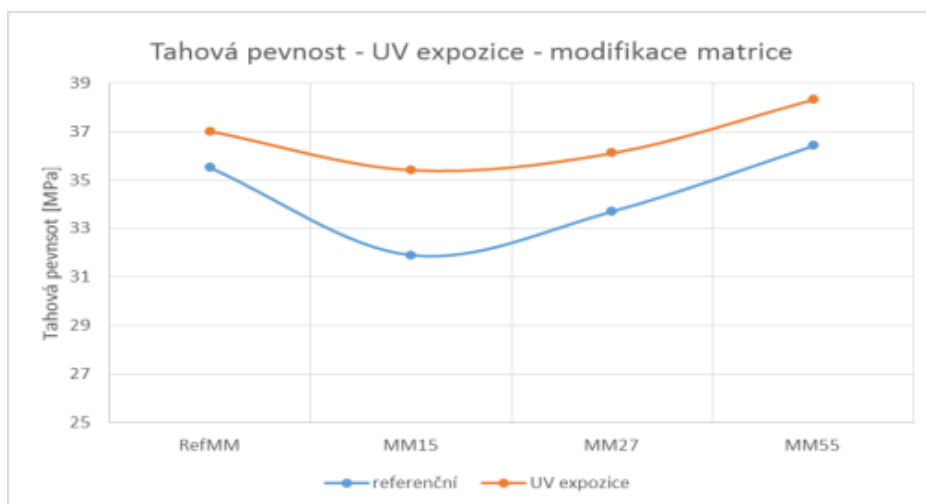


Graf 3 Tahová pevnost vzorků s příměsí nebo náhradou matrice z primárního polymeru a s podílem recyklátu v matrici v postprodukčním stavu a vystavené 3 a 9 cyklům nepříznivým podmínkám:

RefMM – pouze s primárním polypropylenem, MM15 – s 15% podílem regranolátu, MM27 – s 27,5% podílem regranolátu, MM55 – s matricí z regranolátu

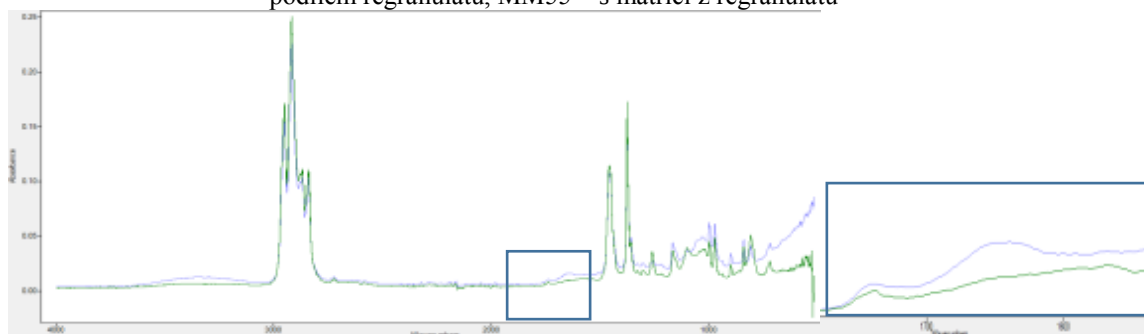
C) Při expozici UV záření dochází i navzdory fotooxidaci povrchové vrstvy v prvotní fázi ke zlepšení vlastností kompozitu

Vliv zatěžování kontinuálním osvitem v UV komoře měl opačný efekt, než bylo primárně předpokládáno. UV záření indukovalo další polymeraci polymeru, která se projevila především u zkušebních těles s vyšším obsahem primárního polymeru. Z této skutečnosti lze usuzovat na působení UV záření převážně na primární polymer. Porušení povrchových vrstev fotooxidací bylo potvrzeno vyhodnocením infračervených absorpčních spektrogramů, na nichž byl patrný vývoj produktů Norrishových reakcí.



Graf 4 Tahová pevnost zkušebních těles s matricí z primárního polymeru a s podílem recyklátu v matrici vystavených UV záření:

RefMM – pouze s primárním polypropylenem, MM15 – s 15% podílem regranulátu, MM27 – s 27,5% podílem regranulátu, MM55 – s matricí z regranulátu



Spektrogram 1 Srovnání spektrogramů referenčních (v postprodukčním stavu) a vystavených UV záření (UV expozice):

A = RefMM – pouze s primárním polypropylenem: referenční (zelený), UV expozice (modrý)

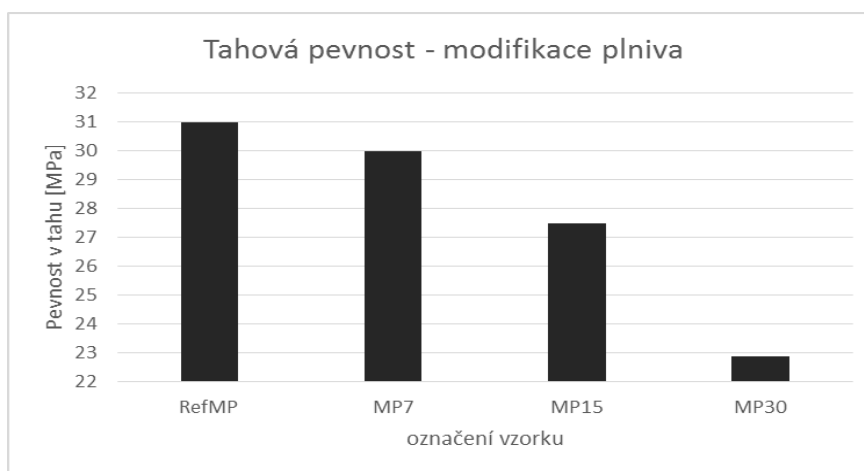
4.3 Etapa III – modifikace plniva

Modifikace plniva dřevoplastového kompozitu byla realizována náhradou 25, 50 a 100 % dřevní moučky popílkem o široké granulometrii. V návaznosti na provedenou rešerši bylo předpokládáno, že příměsí bude dosaženo kompaktnější struktury kompozitu alepší se jak primární (fyzikální a mechanické), tak sekundární vlastnosti.

Z testování základních vlastností v postprodukčním stavu a po vystavení nepříznivým podmínkám vyplynuly tyto výstupy:

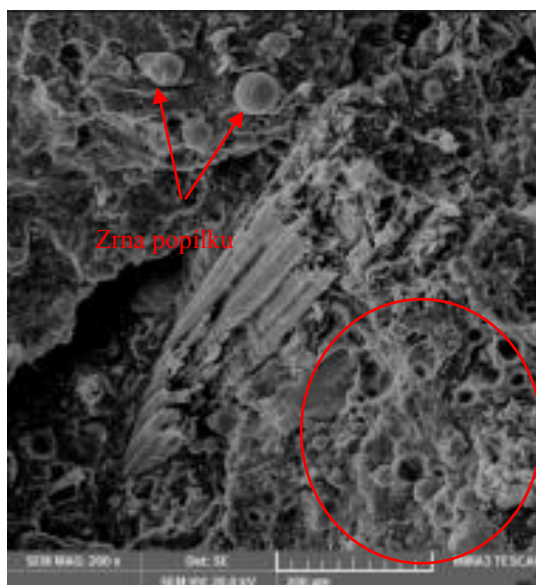
A) Modifikace (částečná náhrada) plniva má negativní vliv na primární vlastnosti důležité pro předpokládanou aplikaci

Testování vlastností kompozitních zkušebních těles s modifikací plniva v postprodukčním stavu poukázalo na výrazné snížení pevnostních charakteristik s narůstajícím podílem příměsi. Zkušební tělesa, která obsahovala pouze anorganické sférické plnivo, nedosáhla deklarované pevnosti v tahu neplněného polymeru, což je důsledek nedostatečného přilnutí matrice k plnivu, a tedy minimálního přenosu zatížení na jeho zrna, které navíc není schopno optimálně tomuto zatížení odolávat.



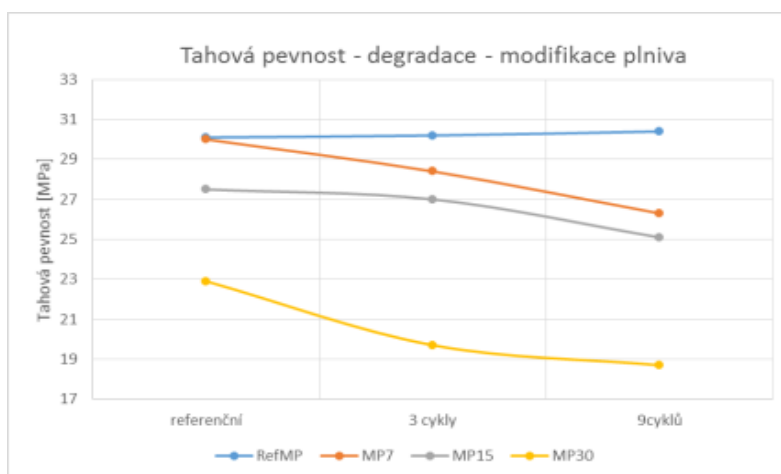
Graf 5 Pevnost v tahu a modul pružnosti vzorků s příměsí nebo náhradou plniva popílkem: RefMP – pouze s dřevní moučkou, MP7 – s 22,5% podílem dřevní moučky a 7,5% podílem popílku, MP15 – s 15% podílem dřevní moučky a 15% podílem popílku, MP30 – pouze s popílkem (30 %).

Tuto skutečnost podporují SEM snímky lomové plochy, na nichž je rozeznatelné porušení na styku fází. Pokles pevností a modulu pružnosti měl s narůstajícím podílem popílku ve struktuře kompozitu přibližně lineární průběh.



Obrázek 2 SEM snímky lomové plochy zkušebních těles s příměsí 15 % popílku při 200× zvětšení.

Obdobných výsledků však navzdory předpokladu bylo dosaženo také při testování pevnostních charakteristik kompozitních zkušebních těles vystavených degradujícím vlivům. Po vystavení působení faktorů zrychleného stárnutí dosáhla zkušební tělesa mnohem nižších hodnot tahových i ohybových pevností, přestože se předpokládala blokáce vniku vlhkosti jemnou frakcí popílku a tím zvýšení odolnosti materiálu.



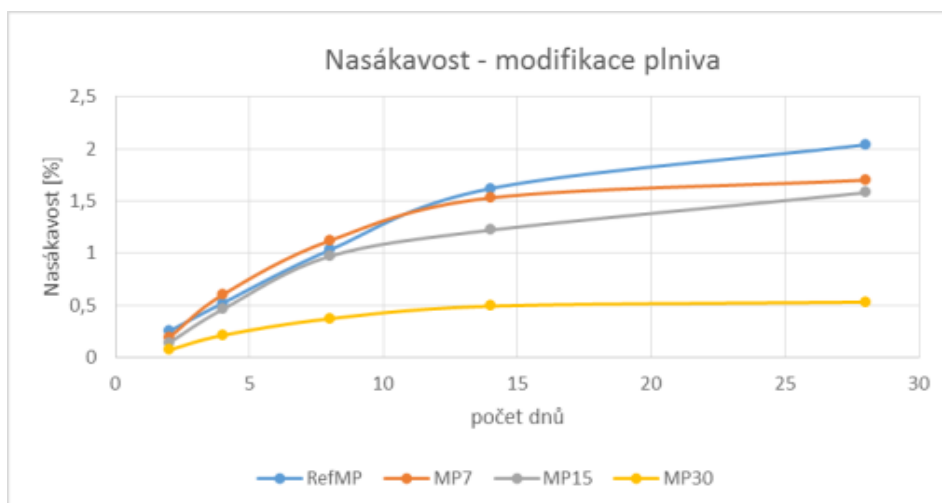
Graf 6 Tahová pevnost vzorků s příměsí popílku po vystavení 3 a 9 cyklům expozice v postprodukčním stavu a vystavené 3 a 9 cyklům nepříznivým podmínkám:

RefMP – pouze s dřevní moučkou, MP7 – s 22,5% podílem dřevní moučky a 7,5% podílem popílku, MP15 – s 15% podílem dřevní moučky a 15% podílem popílku, MP30 – pouze s popínkem (30 %).

B) Modifikace plniva má pozitivní vliv na sekundární vlastnosti kompozitu

Základní laboratorní testování dále poukázalo na pozitivní vliv příměsí na nasákavost kompozitu v postprodukčním stavu. V porovnání se zkušebními tělesy obsahujícími pouze dřevní moučku dosáhla zkušební tělesa plněná pouze popínkem čtvrtinové 28denní nasákavosti. Vliv příměsí se projevil také u zkušebních těles se směsný plnivem, u nichž

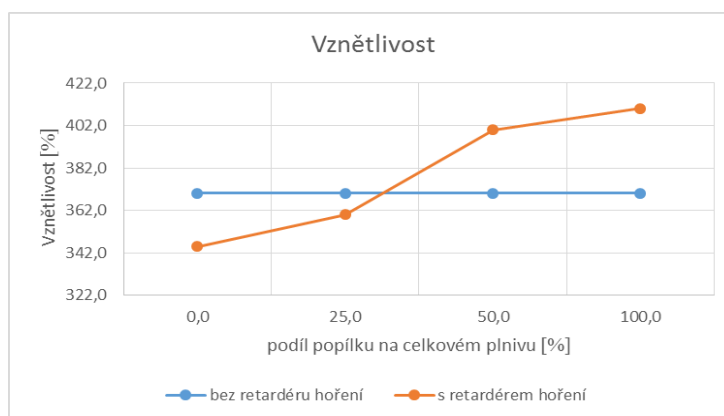
hodnoty nasákavosti dosáhly v porovnání s referenčními dřevoplastovými zkušebními tělesy o téměř 17 resp. 23 % nižších hodnot.



Graf 7 Nasákavost vzorků s příměsí nebo náhradou plniva popílkem:

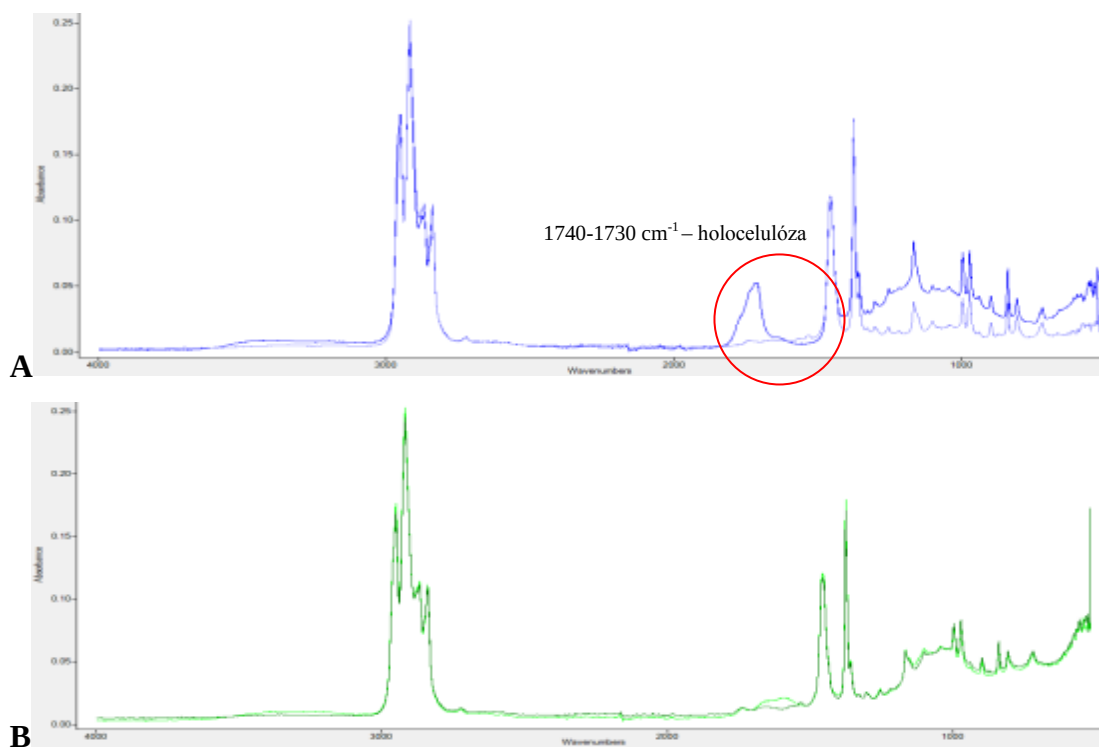
RefMP – pouze s dřevní moučkou, MP7 – s 22,5% podílem dřevní moučky a 7,5% podílem popílku, MP15 – s 15% podílem dřevní moučky a 15% podílem popílku, MP30 – pouze s popílkem (30 %).

Pozitivní impakt má příměs popílku také na vznětlivost kompozitu, ovšem pouze v případě, že je současně směs vylepšena retardérem hoření. Hodnoty kyslíkového čísla se příměsí v porovnání s dřevoplastovými zkušebními tělesy podstatně nesnížily.



Graf 8 Požární charakteristiky zkušebních těles bez a s obsahem retardéru hoření v závislosti na podílu popílku v plnivu

Studiem vlivu příměsí na působení UV záření u nestabilizovaných zkušebních těles byl odhalen pozitivní vliv také na odolnost v této expozici. Zatímco u zkušebního tělesa dřevoplastového kompozitu neošetřeného stabilizátorem došlo po expozici UV záření k odhalení zrn plniva charakterizované přítomností spektrálních pásů holocelulózy, zkušební tělesa plněná pouze popílkem měla po expozici povrch narušený pouze mírně. Infračervený absorpční spektrogram obsahoval pouze spektrální pásy produktů Norishových reakcí nízké intenzity.



Spektrogram 2 Naměřené spektrum zkušebních těles po 1000 hodinách ozařování v UV komoře:

A = plnění dřevní hmotnou: s UV stabilizátorem (bledě modrý), bez UV stabilizátoru (tmavě modrý)

B = plnění popílkem: s UV stabilizátorem (tmavě zelený), bez UV stabilizátoru (bledě zelený)

4.4 Etapa IV

V rámci čtvrté etapy bylo provedeno závěrečné vyhodnocení všech provedených zkoušek a srovnání dosažených výsledků. Současně bylo provedeno posouzení vhodnosti aplikace vyvíjených modifikovaných kompozitů.

5 Diskuze výsledků

Předkládaná disertační práce byla zaměřena na posouzení možností využití sekundárních surovin jako potenciálních modifikujících elementů ve výrobě dřevoplastového kompozitu. Charakter těchto elementů byl zvolen na základě obšírné rešerše aktuálních odborných publikací zabývajících se danou problematikou. Analýzou možných surovin byly vybrány dva směry modifikace WPC materiálu, a to modifikace matrice recyklovaným polymerem a modifikace plniva /částečné náhrady/ anorganickými sférickými částicemi.

V rámci experimentální části bylo následně provedeno posouzení obou typů modifikace dřevoplastového kompozitu druhotnými surovinami. Pro modifikaci matrice byl vybrán běžně dostupný recyklát chemismem příbuzný primárnímu polypropylenu tvořícímu matici. Pro modifikaci plniva byla zvolena sférická anorganická příměs popílku široké frakce, která měla přispět k celkové kompaktnosti struktury materiálu, a být tak prospěšná zejména s ohledem na **životnost** kompozitu.

U obou typů modifikovaných kompozitů bylo realizováno laboratorní zkoušení za účelem stanovení základních fyzikálních a fyzikálně mechanických vlastností a vzhledem k předpokládané aplikaci v exteriéru také vystavení nepříznivým podmínkám zrychleného testování životnosti. Zkušební tělesa modifikovaná anorganickou příměsí byla dále posuzována s ohledem na požární a UV stabilizační vlastnosti. Z výsledků provedeného testování vyplynuly následující skutečnosti:

- dřevoplastový kompozit připravený z primárního polymeru dosáhl v oblasti fyzikálních a fyzikálně mechanických vlastností optimálních hodnot jak v postprodukčním, tak v degradovaném stavu,
- dřevoplastový kompozit modifikovaný recyklátem polymeru vykázal
 - poměrně lepší vlastnosti v případě, že matrice byla v celém objemu tvořena recyklátem, vlivem rozdílné teploty tání bylo u směsných matric dosaženo významného snížení hodnot sledovaných vlastností (zejména pevnostních),
 - dřevoplastový kompozit s podílem recyklátu v matici podléhá rychleji degradujícím faktorům, zejména v případě, že recyklát tvoří pouze část objemu matrice,
- anorganické sférické plnivo – popílek dané široké frakce
 - výrazně snižuje již postprodukční fyzikálně mechanické vlastnosti kompozitu,
 - naopak s narůstajícím podílem popílku se snižuje nasákavost kompozitu, a to i po vystavení degradujícímu prostředí,

- z výsledků sekundárních vlastností (požární odolnost a UV stabilita) lze usuzovat na mírně pozitivní vliv příměsí.

Uplatnění modifikovaného dřevoplastového kompozitu v aktuálně užívaných aplikacích, tedy ve formě exteriérové náhrady masivního dřeva pro nenosné konstrukce většího rozsahu (podlahové a obkladové prvky), lze na základě dosažených výsledků **využít** zejména WPC s modifikovanou matricí. Náhrada primárního polymeru recyklátem by měla být ovšem realizována v celém rozsahu, aby bylo zabráněno vzniku nehomogenit ve struktuře polymeru (fází s různou teplotou tání a krystalinitou). Zkoušený typ polypropylénu vykázal dostatečné pevnostní charakteristiky odpovídající požadavku aplikace, vzhledem k vlivu degradujících faktorů by však bylo optimální využití recyklátu kopolymeru (dosahujícího vhodné mrazuvzdornosti), který ovšem není běžně v dané vzhledové kvalitě dostupný (obvykle obsahuje pigmenty a aditiva, která mají vliv na pocitovou úroveň kompozitu). Před vlastním zahájením výroby je tak vždy nutné stanovit počáteční charakteristiky recyklátu, které by se neměly odchylovat od standardně užívané primární suroviny.

Aplikace materiálu připraveného modifikací plniva v exteriéru se ukázala **jako nevhodná**. Testovaná zkušební tělesa dosáhla velmi nízkých hodnot pevnostních charakteristik, které se expozicí v nepříznivých podmínkách ještě snížily. Použití tohoto materiálu by bylo vzhledem k dobrým požárním vlastnostem vhodnější do interiéru. Jeho uplatnění je však podmíněno ověřením odolnosti vůči chemickým přípravkům.

6 ZÁVĚR

Studium problematiky modifikace dřevoplastového kompozitu druhotnými surovinami realizované v disertační práci bylo rozděleno do dvou rámcových sekcí zahrnujících **teoretickou rešerši** aktuálních odborných poznatků a **experimentální zkoušení** vlivu dvou zvolených **typů modifikace** na vlastnosti WPC materiálu. Teoretická rešerše se dále členila do tří specifických subsekcí orientovaných na komplexní posouzení charakteristik materiálu a možností uplatnění druhotných surovin při jeho výrobě. Základním východiskem studia dřevoplastového kompozitu byl rozbor jednotlivých složek, které se běžně pro jeho výrobu používají, tedy obvyklých termoplastů pro matrici, parametrů dřevní hmoty včetně forem její úpravy pro zvýšení kompatibility s matricí, přísad a příměsí, které se podílejí na řízení vlastností materiálu, způsobů výroby a praktické aplikace. V rámci této subsekcce byla rovněž provedena definice metodiky zkoušení dřevoplastového kompozitu právě s ohledem na obvyklou aplikaci v oblasti stavebnictví. Byl brán zřetel na vývoj prvků pro potenciální uplatnění prvků převážně do exteriéru a vystavené tak nepříznivým podmínkám povětrnosti.

Návaznému rozboru pak byly podrobeny možnosti modifikace dřevoplastového kompozitu druhotnými surovinami se separátním zaměřením na charakter hlavních surovin pro výrobu, tedy termoplastovou matrici a přírodní plnivo. Rozbor byl z tohoto důvodu rozdělen na dvě subsekcce, v nichž byl samostatně analyzován efekt náhrady primární matrice dřevoplastového kompozitu odpadním polymerem a integrace různých typů příměsí modifikujících vlastnosti a chování plniva kompozitu.

Náplň experimentální části disertační práce byla založená na výstupech provedené rešerše a zaměřovala se na posouzení vlivu způsobu modifikace a modifikujících surovin na konečné hlavní aplikační vlastnosti dřevoplastového kompozitu. Posouzení bylo provedeno deskriptivní a komparativní analýzou stanovených hodnot vybraných vlastností, jež byly získány provedením laboratorních zkoušek. V rámci experimentální části byl separátně hodnocen vliv modifikace matrice kompozitu odpadním polypropylénem běžně dostupným ve formě regranulátu na komerčním trhu. Druhou modifikací byla náhrada plniva anorganickou částicovou příměsí vhodných zpracovatelských vlastností.

Hlavním záměrem experimentálních prací zabývajících se modifikací matrice byla verifikace uplatnění recyklátu, který by podpořil **snížení environmentálního dopadu výroby** dřevoplastového kompozitu a **snížení ekonomické zátěže** jeho výroby. Polypropylénová matrice byla modifikována částečnou příměsí a úplnou náhradou primárního termoplastu, přičemž jako referenční vzorek zde sloužil kompozit připravený z primárního kopolymeru

o stejném poměru složek a stejným výrobním procesem jako modifikovaná zkušební tělesa. Z výsledků provedených zkoušek, které se kromě základního laboratorního testování vzhledem k předpokládané exteriérové aplikaci zaměřovaly také na stanovení životnosti v expozici nepříznivých podmínek, vyplynula skutečnost, že **modifikace matrice recyklátem musí být kvůli optimální homogenitě provedena jako celková náhrada primárního polymeru**. Použitý typ polymeru se ukázal jako vhodný pouze zčásti. Vzhledem k nižší mrazuvzdornosti homopolymeru by modifikace měla být provedena recyklátem kopolymeru, u nějž lze předpokládat stabilnější průběh pevností pod zatížením povětrností.

Druhá část experimentálního zkoušení modifikovaného dřevoplastového kompozitu byla zaměřená na posouzení vlivu příměsi popílku v jeho plnivu. Dřevní moučka byla v tomto případě nahrazena 25, 50 a 100% podílem anorganického částicového plniva s cílem definovat optimální množství této příměsi. Jak ale vyhodnocení provedených zkoušek ukázalo, **anorganická příměs měla výrazně negativní vliv na pevnostní charakteristiky materiálu již ve fázi základního postprodukčního laboratorního zkoušení, a to i v minimálním 25% podílu**. Tato skutečnost vylučuje použití takto modifikovaného dřevoplastového kompozitu v běžné aplikaci „decking“ systémů. Působení expozice zrychleného stárnutí cyklickému vystavení vlhkosti, mrazu a zvýšeným teplotám pak vedlo k dalšímu snižování těchto hodnot i navzdory skutečnosti, že použitá matrice byla primární a tedy dosahovala požadované mrazuvzdornosti. Důvodem nízkých hodnot v oblasti pevnostních charakteristik byla nedostatečná interakce na rozhraní matrice a příměsi.

Na rozdíl od primárních charakteristik se **modifikace plniva pozitivně promítla do hodnot vlastností sekundárních**. Zkoušení požární odolnosti poukázalo na zvýšení teploty vznětlivosti materiálu, a také odolnosti proti UV záření při vyloučení stabilizace materiálu. Dobrých výsledků bylo dosaženo také u nasákavosti v základních laboratorních podmínkách. Tyto vlastnosti předurčují použití materiálu spíše v interiéru, případně volbu výrazně nižšího podílu příměsi.

Modifikace surovinového složení dřevoplastového kompozitu druhotnými surovinami představuje rozvíjející se oblast environmentálně přívětivých materiálu, které mohou nalézt uplatnění jak ve stavebnictví, tak v dalších průmyslových oblastech. Přestože částečná nebo úplná náhrada hlavních surovin pro výrobu dřevoplastového kompozitu druhotnými surovinami představuje oblast s vysokým potenciálem, je nutné před vlastním zahájením výroby vždy posoudit vhodnost vybraného typu modifikace, jelikož se tyto suroviny vyznačují značnou variabilitou parametrů na vstupu do výroby. V případě zahájení sériové výroby produktů z dřevoplastového kompozitu modifikovaného druhotnou surovinou je tak

nutné implementovat do předvýrobních procesů kontinuální kontrolu kvality vstupních surovin.

Použitá literatura (výběr)

- [1] KIM, Jin-Kuk. a Kaushik. PAL. *Recent advances in the processing of wood-plastic composites*. New York: Springer, c2010. Engineering materials. ISBN 3642148778.
- [2] ROWELL, Roger M. *Handbook of wood chemistry and wood composites*. Boca Raton, Fla.: CRC Press, 2005. ISBN 0849315883.
- [3] ANSELL, Martin P. *Wood composites*. Waltham, MA: Elsevier, 2015. ISBN 9781782424543.
- [4] KLYOSOV, A. A. *Wood-plastic composites*. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, c2007. ISBN 0470148918.
- [5] AKOVALI, Güneri. *Polymers in construction*. Shawbury, U.K.: Rapra Technology Ltd., c2005.
- [6] LEMON, Craig M. in: XANTHOS, Marino (editor). *Functional fillers for plastics*. 2nd updated and enl. ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2009. ISBN 9783527323616.
- [7] CAMPILHO, Raul D. S. G. *Natural fiber composites*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016. ISBN 1482239000.
- [8] EDITED BY KRISTIINA OKSMAN NISKA AND MOHINI SAIN. *Wood-polymer composites*. Cambridge, U.K: Woodhead Pub, 2008. ISBN 9781845692728.
- [9] *Biofiber reinforcement in composite materials*. Waltham, MA: Woodhead Pub., 2014. ISBN 9781782421221.
- [10] FRIEDRICH, Klaus a Ulf BREUER. *Multi-functionality of Polymer Composites Challenges and New Solutions*. Elsevier Science, 2015. ISBN 9780323264341.
- [11] MIGNEAULT, Sebastien, Ahmed KOUBAA, Fouad ERCHIQUI, Abdelkader CHAALA, Karl ENGLUND a Michael P. WOLCOTT. Effects of processing method and fiber size on the structure and properties of wood–plastic composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* [online]. 2009, **40**(1), 80-85 [cit. 2017-01-12]. DOI: 10.1016/j.compositesa.2008.10.004. ISSN 1359835x. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359835X08002649>
- [12] LA MANTIA, F.P. a M. MORREALE. Accelerated weathering of polypropylene/wood flour composites. *Polymer Degradation and Stability* [online]. 2008, **93**(7), 1252-1258 [cit. 2017-03-19]. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2008.04.006. ISSN 01413910. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141391008001262>
- [13] FABIYI, James S. a Armando G. MCDONALD. Degradation of polypropylene in naturally and artificially weathered plastic matrix composites. *Maderas, Cienc. tecnol.*

- [online]. 2014, vol. 16, n.3 [citado 2017-03-19], pp.275-290. Dostupné z: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2014000300002&lng=es&nrm=iso. Epub 13-Jun-2014. ISSN 0718-221X.
- [14] TURKU, Irina, Anna KESKISAARI, Timo KÄRKI, Ari PUURTINEN a Pasi MARTTILA. Characterization of wood plastic composites manufactured from recycled plastic blends. *Composite Structures* [online]. 2017, **161**, 469-476 [cit. 2017-01-10]. DOI: 10.1016/j.compstruct.2016.11.073. ISSN 02638223. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0263822316320025>
- [15] SOMMERHUBER, Philipp F., Johannes WELLING a Andreas KRAUSE. Substitution potentials of recycled HDPE and wood particles from post-consumer packaging waste in Wood–Plastic Composites. *Waste Management* [online]. 2015, **46**, 76-85 [cit. 2017-03-16]. DOI: 10.1016/j.wasman.2015.09.011. ISSN 0956053x. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X15301203>
- [16] KAZEMI, Yasamin, Alain CLOUTIER a Denis RODRIGUE. Mechanical and morphological properties of wood plastic composites based on municipal plastic waste. *Polymer Composites* [online]. 2013, **34**(4), 487-493 [cit. 2017-01-12]. DOI: 10.1002/pc.22442. ISSN 02728397. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/pc.22442>
- [17] KUO, Pei-Yu, Song-Yung WANG, Jin-Hau CHEN, Huei-Chin HSUEH a Ming-Jer TSAI. Effects of material compositions on the mechanical properties of wood–plastic composites manufactured by injection molding. *Materials & Design* [online]. 2009, **30**(9), 3489-3496 [cit. 2017-01-12]. DOI: 10.1016/j.matdes.2009.03.012. ISSN 02613069. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S026130690900106X>
- [18] HOMKHIEW, Chatree, Thanate RATANAWILAI a Wiriya THONGRUANG. Effects of natural weathering on the properties of recycled polypropylene composites reinforced with rubberwood flour. *Industrial Crops and Products* [online]. 2014, **56**, 52-59 [cit. 2017-03-18]. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.02.034. ISSN 09266690. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926669014001125>
- [19] HUUHILO, Tiina, Ossi MARTIKKA, Svetlana BUTYLINA a Timo KÄRKI. Mineral fillers for wood–plastic composites. *Wood Material Science & Engineering* [online]. 2010, **5**(1), 34-40 [cit. 2017-03-20]. DOI: 10.1080/17480270903582189. ISSN 1748-0272. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17480270903582189>

7 CURICULUM VITAE

Osobní údaje:

Jméno a příjmení: Anna Benešová
 Datum narození: 5.4.1985
 Rodinný stav: vdaná
 Trvalé bydliště: Jánská 454/11, 602 00 Brno

Dosažené vzdělání:

1995 – 2003 Gymnázium Skalica
 2003 – 2008 Vysoké učení technické v Brně
 Stavebnictví, geodézie a kartografie, Bakalářské studium
 Ukončeno titulem Bc.
 2008 – 2010 Vysoké učení technické v Brně
 Stavebnictví, geodézie a kartografie, Magisterské studium
 Obor: Stavebně materiálové inženýrství
 Ukončeno titulem Ing.
 2010 – dosud Vysoké učení technické v Brně
 Stavebnictví, geodézie a kartografie, Doktorské studium
 Obor: Fyzikální a stavebně materiálové inženýrství

Dosavadní praxe:

2012 – 2013 Technický pracovník, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
 2014 – dosud Specialista technické dokumentace, RESEA s.r.o.

Spolupráce na projektech:

2011-2013	Komplexní hodnocení trvanlivosti lepených dřevěných prvků	GAČR ap.	GACR, P 104/11/1557
2013	Optimalizace složení a kvalitativní hodnocení dřevoplastového kompozitu s podílem polymerního recyklátu v matrici	Specifický výzkum	FAST-J-13-1877
2013	Inovace výuky předmětu BJ08 - Kovové a dřevěné materiály	FRVŘ	491/2013/G1
2012	Hodnocení trvanlivosti modifikovaného dřevoplastového kompozitu vystaveného působení ultrafialového záření	Specifický výzkum	FAST-J-12-4
2011	Hodnocení kvality lepidel pro dřevěné konstrukční lepené spoje pomocí infračervené absorpční spektroskopie - vývoj metodiky přípravy vzorků a měření	Specifický výzkum	Specifický výzkum, FAST-J-11-

Publikační činnost:Články s impakt faktorem:

- [1] VANĚREK, J.; BENEŠOVÁ, A.; ROVNANÍK, P.; DROCHYTKA, R. Evaluation of FRP/ wood adhesively bonded epoxy joints on environmental exposures. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 2014, vol. 28, no. 14- 15, p. 1405-1417. ISSN: 0169-4243.

Články v databázích WOS a SCOPUS:

- [2] BENEŠOVÁ, A.; VANĚREK, J.; DROCHYTKA, R.; HAVLÍČKOVÁ, K. Cyclic Weathering of Wood - Polymer Composite Modified by a Fly Ash Admixture. In *ICEBMP - 18. MEZINÁRODNÍ KONFERENCE Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky. Advanced Materials Research*. Switzerland: Trans Tech Publications, 2014. p. 145-149. ISBN: 978-80-87397-16- 9. ISSN: 1022-6680.
- [3] VANĚREK, J.; BENEŠOVÁ, A.; ROVNANÍK, P. Influence of different mixing ratios of adhesives for wood bondline quality. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2012, vol. 70, no. 11, p. 1148-1151. ISSN: 2010-376X
- [4] VANĚREK, J.; DROCHYTKA, R.; BENEŠOVÁ, A. Enhancing the wood glue bond using cellulose modified epoxy. *Advanced Materials Research, (online)*, 2015, vol. 2015, no. 1122, p. 145-148. ISSN: 1662-8985
- [5] VANĚREK, J.; BENEŠOVÁ, A.; RÁHEL, J.; ŠTAHEL, P. The Evaluation of Modifications to Glued Joints Utilizing Epoxy- Based Adhesive for Structural Timber Bonding. In *Proceedings of the Conference on the Rehabilitation and Reconstruction of Buildings CRRB 2012. Advanced Materials Research*. Switzerland: TRANS TECH PUBLICATION, 2013. p. 37-42. ISBN: 978-3-03785-679- 6. ISSN: 1022-6680

Články v recenzovaných časopisech:

- [6] BENEŠOVÁ, A.; VANĚREK, J.; DROCHYTKA, R. VLIV PODÍLU PLASTOVÉHO REGRANULÁTU NA VLASTNOSTI DŘEVOPLASTOVÉHO KOMPOZITU. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava*, 2013, roč. 13, č. 2, s. 81-86. ISSN: 1213-1962.
- [7] BENEŠOVÁ, A.; VANĚREK, J.; DROCHYTKA, R. Základní charakteristiky modifikovaného dřevoplastového kompozitu. *TZB- info*, 2013, roč. 15, č. 18, s. 1-6. ISSN: 1801-4399.

- [8] BENEŠOVÁ, A.; VANĚREK, J. Vliv druhu dřeviny na přídržnost FRP kompozitu. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava*, 2011, roč. XI, č. 2, s. 311-316. ISSN: 1213-1962.

Články publikované v časopisech a sbornících konferencí:

- [9] BENEŠOVÁ, A.; VANĚREK, J. Kvalitativní analýza stavebních materiálů pomocí infračervené spektroskopie. In *Konference Zkoušení a jakost ve stavebnictví, Sborník recenzovaných příspěvků 2010*. Fakulta stavební VUT v Brně: Vysoké učení technické v Brně, 2010. s. 205-211. ISBN: 978-80-214-4144- 6.
- [10] BENEŠOVÁ, A. Hodnocení smykové pevnosti lepidel pro nosné dřevěné prvky a testování analytické metody infračervené absorpční spektroskopie jako možného prostředku k odhalení jeho nesprávného provedení. In *Sborník anotací JUNIORSTAV 2011*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. s. 287-287. ISBN: 978-80-214-4232- 0.
- [11] VANĚREK, J.; BENEŠOVÁ, A.; HALAŠTA, L. Vliv druhu dřeviny na přídržnost vnějšího FRP vyztužujícího systému. In *Sanace a rekonstrukce staveb 2011*. Praha: Vědecko technická společnost pro sanace staveb a péči o památky - WTA CZ, 2011. s. 35-40. ISBN: 978-80-02-02344- 9.
- [12] BENEŠOVÁ, A.; VANĚREK, J.; DROCHYTKA, R. EVALUATION OF DEGRADING AMBIENCE INFLUENCE ON MODIFIED WOOD- POLYMER COMPOSITE PROPERTIES. In *Sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference Mezinárodní Masarykova konference pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky 2013*. Hradec Králové: MAGNANIMITAS, 2013. p. 3270-3275. ISBN: 978-80-87952-00- 9.
- [13] VANĚREK, J.; BENEŠOVÁ, A.; DUFKA, A.; ŽIŽKOVÁ, N.; DROCHYTKA, R. Modification of epoxy adhesives to enhance glue ductility in relation to wood adherends. In *International Conference on Wood Adhesives*. Toronto: Forest Product Society, 2014. p. 314-323. ISBN: 978-0-935018-37- 0.
- [14] BENEŠOVÁ, A.; VANĚREK, J. VLIV NÍZKÉ TEPLoty NA VLASTNOSTI MODIFIKOVANÉHO DŘEVOPLASTOVÉHO KOMPOZITU. In *16. odborná konference doktorského studia JUNIORSTAV 2014*. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2014. s. 319-321. ISBN: 978-80-214-4851- 3.
- [15] BENEŠOVÁ, A.; DUFKA, A.; VANĚREK, J. STANOVENÍ CITLIVOSTI DETEKCE INFRAČERVENÝCH ABSORPČNÍCH SPEKTER POLYMERNÍCH DISPERZÍ V CEMENTOVÝCH KOMPOZITECH. In *Construction materials, Zborník vedeckých*

- prac.* 1. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2013. s. 115-119. ISBN: 978-80-552-1031- 5.
- [16] BENEŠOVÁ, A. Analýza lepidel pro dřevěné konstrukční prvky infračervenou absorpční spektroskopií. In *Sborník anotací 14. odborná konference doktorského studia Juniorstav 2012*. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2012. s. 339-339. ISBN: 978-80-214-4393- 8.
- [17] VANĚREK, J.; BENEŠOVÁ, A. Hodnocení kvality MUF lepidla pro nosné dřevěné prvky. In *Sanace a rekonstrukce staveb 2010*. Brno: Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky - WTA CZ, 2010. s. 287-290. ISBN: 978-80-02-02273- 2.
- [18] BENEŠOVÁ, A. Infračervená absorpční spektroskopie vybraných adheziv pro lepení dřeva. In *Sborník příspěvků Mezinárodní Masarykovy konference pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky 2011*. 1. Hradec Králové: MAGNANIMITAS, 2011. s. 568-573. ISBN: 978-80-904877-7- 2.
- [19] VANĚREK, J.; ROVNANÍK, P.; KRBILA, J.; BENEŠOVÁ, A. Kontrola lepidel z hlediska jejich trvanlivosti. In *Dřevostavby 2011*. Volyně: Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola Volyně, 2011. s. 137-142. ISBN: 978-80-86837-33- 8.
- [20] BENEŠOVÁ, A. Základní charakteristiky modifikovaného dřevoplastového kompozitu. In *Konference Zkoušení a jakost ve stavebnictví, Sborník recenzovaných příspěvků 2012*. Brno: 2012. s. 149-154. ISBN: 978-80-214-4578- 9.
- [21] BENEŠOVÁ, A.; VANĚREK, J. ODOLNOST MODIFIKOVANÉHO DŘVOPLASTOVÉHO KOMPOZITU V DEGRADUJÍCÍM PROSTŘEDÍ. In *Construction Materials*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2014. s. 161-166. ISBN: 978-80-248-3381- 1.
- [22] BENEŠOVÁ, A.; VANĚREK, J. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřevoplastového kompozitu s příměsí popílku a skelného recyklátu. In *Sborník anotací konference JUNIORSTAV 2012*. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2012. s. 361-361. ISBN: 978-80-214-4393- 8.
- [23] BENEŠOVÁ, A.; VANĚREK, J. Evaluation of structural wood glued joint quality, depending on selected type of adhesive. *AD Alta*, 2012, vol. 2, no. 1, p. 98-101. ISSN: 1804-7890.
- [24] NETOPILOVÁ, M.; BENEŠOVÁ, A.; VANĚREK, J. The influence of modification phases on fire-technical characteristics and physical- mechanical properties. In *Wood & Fire Safety*. Štrbské Pleso: EDIS - publishing center of The University of Žilina, 2016. p. 229-236. ISBN: 978-80-554-1201- 6.

- [25] BENEŠOVÁ, A. Fyzikálně- mechanické vlastnosti modifikovaného dřevoplastového kompozitu. In *Sborník 15. odborné konference doktorského studia JUNIORSTAV 2013*. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2013. s. 357-357. ISBN: 978-80-214-4669- 4.
- [26] BENEŠOVÁ, A. Modifikace složení dřevoplastového kompozitu příměsí odpadních a druhotných surovin. In *CONSTRUMAT 2011 Zborník príspevkou zo XVII konferencie s medzinárodnou účasťou*. 1. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2011. s. 10-14. ISBN: 978-80-553-0685- 8.
- [27] BENEŠOVÁ, A.; VANĚREK, J.; DROCHYTKA, R. Construction application of wood-plastic composites and possibilities of using waste and secondary raw materials admixture. In *VI Konferencja Naukowo-Techniczna: Zagadnienia materiałowe w inżynierii lądowej*. Krakow: Politechnika Krakowska, 2011. p. 51-59. ISBN: 978-83-7242-607- 9.
- [28] BENEŠOVÁ, A.; VANĚREK, J. The evaluation of wood adhesives durability using infrared absorption spectroscopy. In *Building Materials and Building Technology to Preserve the Built Heritage Volume 2, Part 1*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. p. 78-84. ISBN: 978-3-937066-21- 9.
- [29] BENEŠOVÁ, A.; VANĚREK, J. Evaluation of structural wood glued joint quality, depending on selected type of adhesive. In *Sborník příspěvků mezinárodní vědecké konference CzechSTAV 2011, Inovace ve stavebnictví*. Hradec Králové: MAGNANIMITAS, 2011. p. 116-122. ISBN: 978-80-904877-5- 8.
- [30] BENEŠOVÁ, A.; VANĚREK, J.; KEJHA, P. INOVACE VÝUKY PŘEDMĚTU KOVOVÉ A DŘEVĚNÉ MATERIÁLY. In *Sapere Aude 2013 POSITIVE EDUCATION AND PSYCHOLOGY*. 1. Hradec Králové: MAGNANIMITAS, 2013. s. 8-11. ISBN: 978-80-905243-6- 1.
- [31] BENEŠOVÁ, A.; VANĚREK, J. Hodnocení trvanlivosti lepeného spoje použitím infračervené absorpční spektroskopie. In *Sborník konference Zkoušení a jakost ve stavebnictví 2011*. Brno: Fakulta stavební, VUT v Brně, 2011. s. 27-35. ISBN: 978-80-214-4338- 9.
- [32] BENEŠOVÁ, A.; VANĚREK, J. Vývoj dřevoplastového kompozitu s příměsí odpadních a druhotných surovin. In *Sborník XV. Mezinárodní konference Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky*. Brno: VUSTAH, 2011. s. 191-194. ISBN: 978-80-87397-06- 0.

ABSTRACT

Wood-polymer composite is a relatively new type of material that combines shattered wood mass and a thermoplastic polymer. This material is utilized especially as an alternative to hard wood in the area of non-bearing exterior elements, as it reaches better properties in terms of the basic durability and low maintenance. Raw material composition and processing of the composite enable to provide a significant modification with further matters leading to an improvement of the end-product properties. Research and development in this field focuses predominantly on the utilization of such modifying additives that either enhance the resistance to weathering or are of the recycled nature, as a significant part of the raw material mixture comprises the constituent obtained from non-renewable resources. The aim of the thesis is the evaluation of the influence of the wood-polymer composite modification separately at two levels. First of them is the modification to matrix by using a recycled polymer, the second one comprises the modification of the wood flour with a secondary spherical filler. Both types of modified composites have been assessed in terms of the prime characteristics and the resistance to adverse ambient.