

Posudek disertační práce

Autor práce: **Ing. Jan Čermák**

Název práce: **Problematika tepelně zpracovaných odpadních recyklátů a optimalizace vlastností pro jejich využití ve stavebnictví**

Studijní obor: **P3607 Stavební inženýrství (nDK)**

Oponent: **Prof. Ing. Alena Kohoutková, CSc.**
Thákurova 7, 166 29 Praha 6, akohout@fsv.cvut.cz

Datum zadání posudku: **25.9.2017**

Aktuálnost tématu disertační práce

Doktorská disertační práce se zabývá oblastí udržitelnosti stavebnictví týkající se odpadů vzniklých mimo stavebnictví a jejich využití ve stavební produkci a připravující se na hodnocení stavebních výrobků s ohledem na udržitelné využívání přírodních neobnovitelných zdrojů. Zaměřuje se na rozvinutí výzkumu a vývoje metodik pro technologie zpracování především odpadních plastů a silikátových recyklátů ve výrobě konkrétních stavebních prvků a dílců. Hlavní náplň práce tvoří studium vlastností tepelně zpracovaných odpadních recyklátů a optimalizace užitných vlastností výsledné hmoty. Zpracování odpadních a vedlejších produktů a látek pro využití ve stavební výrobě patří k neaktuálnějším úkolům v oboru udržitelného stavění, podporuje racionální přístup k nakládání s přírodními zdroji, umožňuje finanční úspory ve výrobě, snižuje využívání primárních surovinových zdrojů a zmenšuje objemy skládkovaných odpadů, a tím aktivně přispívá k ochraně životního prostředí.

Hodnocení:

<input type="checkbox"/> vynikající	<input checked="" type="checkbox"/> nadprůměrné	<input type="checkbox"/> průměrné	<input type="checkbox"/> podprůměrné	<input type="checkbox"/> slabé
-------------------------------------	---	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

Splnění cílů disertační práce

Obsahem disertační práce bylo zpracování komplexní metodiky a ověření technologie úpravy termoplastových odpadů a jejich aplikace na produkci konkrétních stavebních prvků a dílců. Dílčí cíle disertační práce byly uvedeny hned v úvodu teoretické části a obsahovaly mimo jiné: ověřit možnost užití plastu jako pojiva ve stavební hmotě, optimalizaci receptur stavební hmoty, návrh lisovacího stroje, uspořádání zavážecího mechanismu, experimentální ověření směsi a použitelnosti dalších pojiv, optimalizace výrobního procesu. Nedílnou součástí byla optimalizace užitných vlastností hledaného výsledného produktu. Všem těmto otázkám se disertant pečlivě věnoval. Popsal výchozí stav a zpracoval postupně se vylepšující varianty a navrhnul postup jak cílů dosáhnout. Dalším cílem bylo zahrnutí vlivů technologického postupu, ohřevu, míchání apod. Pozornost dizertant věnoval také bezpečnosti práce a energetické účinnosti procesů, které bylo

nutno několikrát změnit. Časově náročný postup dílčích vylepšujících změn procesů probíhajících opakovaně se podařilo urychlit simulační metodou.

Cíle byly jednoznačně splněny, práce dokládá postupy přípravy směsí a jejich aplikaci na výrobu. Byla provedena komplexní analýza celého procesu. Vlastnosti vyrobených prvků posloužily jako ověření správnosti metodiky. Závěrem disertant porovnal a zhodnotil získané výsledky pomocí grafů a tabulek a provedl celkový rozbor vlastností produktu. Vytčené cíle disertační práce byly splněny na výborné úrovni.

Hodnocení:

<input type="checkbox"/> vynikající	<input checked="" type="checkbox"/> nadprůměrné	<input type="checkbox"/> průměrné	<input type="checkbox"/> podprůměrné	<input type="checkbox"/> slabé
-------------------------------------	---	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

Postup řešení problému – metody zpracování

V úvodu práce disertant uvedl motivaci svého výzkumu. První, přípravná část práce pojednává o jednotlivých aspektech tématu z nejrůznějších pohledů a postupně upřesňuje cíle. V první a druhé kapitole podává přehled současného stavu poznatků problematiky vzniku a zpracování odpadů, komentuje základní problémy a legislativní požadavky na hospodaření a nakládání s odpady, jejich minimalizaci, uvádí podíly recyklace a opětovného využívání v jednotlivých zemích Evropy. Ve třetí kapitole hodnotí důsledky skládkování odpadů.

V kapitole čtyři se věnuje širším souvislostem udržitelné výstavby a environmentálním principům včetně odpadů ve stavebních procesech. V kapitolách pět a šest podrobně popisuje polymery, jejich třídění, vlastnosti, užití a způsob zpracování. Velkou pozornost věnuje parametrům technologií procesu výroby v závislosti na výrobku, druhu polymeru a užitých nástrojů: vytlačování, vstřikování, lisování, válcování, vyfukování apod., v čemž je možno spatřovat budoucí rozhodování o vhodné technologii pro vlastní práci. Odpady na bázi polymerů jsou předmětem rozboru v kapitole sedm, důvody jejich stále rostoucího množství, možné postupy recyklace včetně termického a energetického využití. Kapitola osm končí rešeršní část, z jejíhož souhrnu vyplývá upřesnění jasného cíle práce: najít vhodnou technologii pro zpracování vícedruhového znečištěného termoplastového odpadu.

Druhou část věnoval disertant popisu vlastní výzkumné práce, vysvětlil proces stanovení výsledného produktu a zaznamenal dlouhou cestu k jeho získání. Doložil v etapách hledání receptury materiálu, rozčlenění a vývoj metodiky v jednotlivých krocích, opravy jednotlivých kroků procesů v závislosti na nedostatcích meziproductů a úpravy zařízení a optimalizaci různých druhů. V kapitole devět popisuje možnosti využití odpadních termoplastů ve stavebnictví a určuje cílový produkt, jímž je stavební dílec či prvek vyrobený ze stavební hmoty, kde pojivem je odpadní termoplast a plnivem běžný snadno dostupný materiál – v tomto případě jemné kamenivo. Věnuje se všem stupňům výroby, počínaje drcením odpadních termoplastů, dopravě obou složek, jejich ohřevu, sušení plniva, míchání směsi, dopravou a dávkováním hmoty do forem až k výslednému lisování včetně systému využívajícího spalín pro dohřívání potřebných částí zařízení. Vlastní metodiku určování vlastností produktu rozvíjí v několika etapách, které jsou popsány v kapitolách deset a jedenáct. Určení vhodných hmotnostních podílů složek a jejich teplotních vstupních podmínek, určuje požadavky na správnou konzistenci a soudržnost výsledné hmoty. Výsledným stavebním prvkem měla být plastbetonová dlaždice s požadovanými fyzikálně mechanickými vlastnostmi, jejichž hodnoty platí pro podobné výrobky ze silikátových materiálů: pevnost za ohybu, objemová hmotnost a nasákavost.

Poloprovozní zkoušky umožnily optimalizovat podíl pojiva a odstranit technologické nedostatky, celý vývoj výrobku je dobře doložen fotografiemi. Důležitým krokem bylo určení správné teploty tání pojiva a několikrát úprava forem. Bylo nutno vyřešit nerovnoměrné chladnutí dlaždice, které vedlo k deformacím znehodnocujícím její tvar. V dalších úpravách byla snížena tloušťka dlaždice. Dobrým počinem bylo využití pigmentace hmoty. Důsledkem byla nejen větší estetická působivost výrobku, ale také vyšší odolnost výrobku proti působení UV záření.

Problematicke vhodného chladnutí výrobku byla věnována kapitola dvanáct, která dokumentuje

snahu o vylehčení pomocí perforací na rubu dlaždice. K vyřešení problému napomohla výpočtová analýza chlazení pomocí numerické simulace teplotního chování dlaždice. Modelování teplotního stavu výrobku včetně zahrnutí vlivu okolních souvisejících zařízení pomohla určit vhodnou dobu lisování. Disertant tím prokázal schopnost aktivně využít prostředků numerické simulace.

Metody a postup řešení odpovídají rozsahu a cílům práce. Jedná se o experimentální analytickou práci velkého rozsahu s mnoha výsledky, které přispějí k rozvoji technologií využívajících netříděné odpadní termoplasty jako pojiva.

Hlavním přínosem je ověření možnosti, že odpadové termoplasty fungují jako pojivo ve stavební hmotě. Lze ji připravit nejen laboratorně, ale výsledek byl ověřen v poloprovozu. Podařilo se mu vyrobit dlaždice s požadovanými vlastnostmi jako konkrétní příklad výstupu, kde pojivem ve hmotě byl recyklát z netříděného PET s příměsemi.

Velkou předností práce je, že přináší komplexní řešení. Disertant se zasloužil jak o optimalizaci výsledného produktu, který postupně dovedl až ke zdárnému konci, ale také přispěl ke stanovení reálné metodiky celého procesu a ke zkvalitnění technologie výrobní linky, kterou rozšířil o optimalizaci závazujícího mechanismu a modernizaci lisovacího zařízení.

V rámci práce ověřil jako pojivo ještě další odpadní polymer ze skupiny polyamidů, dále ověřoval možnost využití rozptýlené výztuže v procesu a potvrdil možnost využití odpadního skla z fotovoltaických panelů jako inertního pojiva.

Řešení je originální, dosud známé prameny uvádějí jen několik málo údajů o podobných snahách. Toto bádání přispívá k rozšíření poznatků v oblasti stavební teorie a praxe. Výzkum vhodně navazuje na dlouholeté zkušenosti pracoviště.

Hodnocení:

<input type="checkbox"/> vynikající	<input checked="" type="checkbox"/> nadprůměrné	<input type="checkbox"/> průměrné	<input type="checkbox"/> podprůměrné	<input type="checkbox"/> slabé
-------------------------------------	---	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

Význam disertační práce pro praxi a pro rozvoj vědního oboru

V dnešní době se klade velký důraz na využití odpadů a druhotných surovin. Stavebnictví hledá náhradní postupy k vysoce energetickým procesům jako je výroba cementu např. záměnou cementu za jiné pojivo. V případě polymerů, jejichž produkce celosvětově každoročně narůstá, je důsledkem také velký nárůst nezpracovaných netříděných odpadů a jakékoli řešení snižující skládkování je pozitivní. Je tak přínosem k ochraně životního prostředí, zvláště když vede také k ekonomickým úsporám, protože snižuje finální cenu výsledného produktu.

Práce přispěla k rozšíření znalostí o možnostech využití odpadních termoplastů ve stavebnictví a konkrétně ke zjištění, že hydraulická pojiva lze v některých případech nahradit tepelně zpracovanými polymerními odpady. Přínos je významný pro udržitelný koncept částečné náhrady cementu ve stavebnictví, který povede k poklesu emisí CO₂, a také ke snížení energetické náročnosti.

Významná je komplexnost metodiky postupu, která umožní v budoucnosti rozvíjet získané poznatky a navazovat na ně. Hlavní význam tkví zejména ve snaze o automatizaci celého procesu, která může přinést reálné ekonomické přínosy ve výrobě.

Výsledky jsou původní, a proto velmi cenné jak pro rozvoj oboru, tak pro konkurenceschopnost odvětví zpracování polymerních odpadů.

Hodnocení:

<input type="checkbox"/> vynikající	<input checked="" type="checkbox"/> nadprůměrné	<input type="checkbox"/> průměrné	<input type="checkbox"/> podprůměrné	<input type="checkbox"/> slabé
-------------------------------------	---	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň

Práce Jana Čermáka obsahuje všechny požadované náležitosti, jako jsou: přehled poznatků doposud publikovaných v literatuře, vytýčení cílů, popis užitých metod, souhrn předběžných výsledků a jasně formulované závěry disertační práce. Formální uspořádání práce je přehledné, textová část je dobře zpracována po stránce stylové i formulační. Podíl překlepů nepřesahuje únosnou míru. Práce se dobře čte a je vhodně doplněna obrázky a grafy.

Hodnocení:

<input type="checkbox"/> vynikající	<input checked="" type="checkbox"/> nadprůměrná	<input type="checkbox"/> průměrná	<input type="checkbox"/> podprůměrná	<input type="checkbox"/> slabá
-------------------------------------	---	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

Hodnocení publikační a jiné činnosti doktoranda

Publikační činnost je přiměřená zkušenosti a zaměření doktoranda.

Hodnocení:

<input type="checkbox"/> vynikající	<input type="checkbox"/> nadprůměrná	<input checked="" type="checkbox"/> průměrná	<input type="checkbox"/> podprůměrná	<input type="checkbox"/> slabá
-------------------------------------	--------------------------------------	--	--------------------------------------	--------------------------------

Poznámky a připomínky k textu práce

1) Bylo by účelné do metodiky zahrnout další stavební prvky a výrobky? Jaké změny v technologii byste navrhoval?

2) Ovlivňují reologické jevy podobných materiálů výslednou dlouhodobou užitnou hodnotu prvku n. dílce, popř. jeho trvanlivost? Jakým způsobem by se to dalo ověřit?

3) Překlepy a nepřesnosti, které není třeba komentovat, jsou:

str.9 neznámé odkazy (1) a (2) za prvním a druhým odst.

str.14, odst.2.2 využívající místo využívané

str.24 ř.3 více funkčnost místo funkčnost ve více.....

str.39 ř.1 chybí mezera

str.41 ř.5 odspodu chybí mezera

str.57 bod 1) vážené n. vážící, bod 6) plnivo místo pojivo

str.66 předposlední ř. chybí čárka

str.72 ř.2 chybí mezera

str.80 ř.7 abych místo aby

str. 89 13.5 nadpis

str. 96 ř.3 zatřídění místo zatřídění

str.115 ř.6 chybí mezera

4) Nesprávné číslo obrázku

str.35 ř.6 odspodu odkaz na nesprávné č. obrázku

Závěr

Předložená práce obsahuje řadu původních cenných výsledků získaných experimentálním výzkumem. Všechny výsledky přispívají k rozvoji metodik zpracování plastových odpadů a jejich praktickému využití velmi potřebných jak v teorii, tak i v aplikacích stavební praxe. Disertant prokázal schopnosti samostatné a soustavné tvůrčí výzkumné práce v dané oblasti výzkumu, potvrzené doloženými výsledky.

Práci hodnotím jednoznačně kladně.

Uchazeč zpracováním disertační práce prokázal způsobilost k samostatné tvůrčí vědecké práci ve smyslu § 47 zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a změnách a doplnění dalších zákonů.

Doporučuji, aby disertační práce **byla** přijata k obhajobě a aby v případě jejího úspěšného obhájení byl

Ing. Janu Čermákovi

udělen akademický titul „doktor“ (ve zkratce „Ph.D.“ uváděné za jménem).

Datum: 22. ledna 2018

Podpis oponenta: 