

STANOVISKO ŠKOLITELE DOKTORANDA K DISERTAČNÍ PRÁCI

Název disertační práce:	VÝVOJ SPECIÁLNÍCH SANAČNÍCH HMOT NA BETON PRO EXTRÉMNÍ NAMÁHÁNÍ S VYUŽITÍM DRUHOTNÝCH SUROVIN
Autor práce:	Ing. Jakub Hodul
Vedoucí práce:	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA

Disertační práce Ing. Jakuba Hodula se zabývá aktuálním a důležitým tématem, a to výzkumem a vývojem speciálních sanačních hmot s využitím druhotných a odpadních surovin primárně určených na betonové konstrukce, kde se požaduje vysoká odolnost vůči extrémnímu namáhání. Hlavním úkolem práce bylo vyvinutí speciálních sanačních hmot na beton pro extrémní namáhání využívajících druhotné a odpadní suroviny jako alternativy, jež budou z hlediska ekonomické a ekologické efektivity náhradou za v současnosti běžně používané produkty. Mezi speciální sanační hmoty, které se vyvíjely v rámci této práce, se řadí správkové (reprofilací), zálivkové a kotvící materiály na polymerní (epoxidové) bázi, které obsahují relativně vysoké množství druhotných nebo odpadních surovin při současném zachování nebo zlepšení některých vlastností v porovnání s referenčními hmotami. U těchto hmot se klade důraz nejenom na normové vlastnosti, ale také na ekologickou vhodnost, a to především u hmoty obsahující jako plnivo upravený nebezpečný odpad (EKO-X). Dle dostupných informací z odborných publikací se zatím vůbec nebo jen velmi zřídka využívají druhotné a odpadní suroviny jako plniva do polymerních sanačních hmot na beton.

Disertační práce je vypracována celkově na 196 stranách a sestává z teoretické části, která tvoří odpovídající základ pro navazující praktickou část. Teoretická část práce přehledně shrnuje současné poznatky z oblasti degradace betonu a ochrany betonových konstrukcí. Je zde uvedeno rozdělení používaných sanačních hmot a bližší charakteristika správkových, zálivkových a kotvících hmot s popisem nejpoužívanějších polymerních pryskyřic a vhodných plniv. O pečlivě a přehledně vypracovaném teoretickém podkladu disertační práce svědčí také rozsah vhodně zvolené použité literatury.

Hlavním cílem disertační práce Ing. Hodula bylo nalezení optimálních receptur speciálních polymerních sanačních hmot využitelných pro různé účely a aplikace, tedy takových hmot, které budou splňovat vlastnosti požadované pro jejich využití i v prostředí, kde budou silně namáhány, jak mechanicky, tak jinými agresivními vlivy. V těchto hmotách jsou namísto přírodních surovin zakomponovány suroviny druhotné a odpadní, získané z průmyslových provozů a dalších odpadů nově vznikajících. Důležitou částí provedeného výzkumu bylo sledování mikrostruktury vyvinutých sanačních hmot při použití zařízení jako je CT tomografie a skenovací elektronový mikroskop (SEM) s podporou EDX analýzy, pomocí kterých bylo možné sledovat vnitřní strukturu vyvinutých sanačních hmot a míru inkorporace kontaminantů do epoxidové matrice především u sanační hmoty s označením EKO-X, ve které byl použit upravený nebezpečný odpad (neutralizační kal) jako plnivo. V rámci této disertační

práce byla vytvořena zcela nová metodika posuzování ekologické vhodnosti využívání odpadů do specifických stavebních hmot.

V úvodu praktické části je uvedena metodika prováděných experimentálních prací, která je přehledně graficky zpracována a systematicky rozděluje praktickou část disertační práce do čtyř etap, které na sebe logicky a přehledně navazují. V první etapě se doktorand rozumně věnuje volbě vstupních surovin a jejich bližší identifikací, přičemž zde byly navrženy základní receptury speciálních sanačních hmot na beton. Při návrhu receptur bylo zvoleno množství plniva v rozmezí 30–90 % hm., což souviselo s viskozitou zvolené epoxidové pryskyřice (EP) a granulometrii vybraných druhotných a odpadních surovin. V poslední fázi této etapy byl proveden aplikační test, na základě jehož výsledků byly vybrány receptury pro další základní testování. Jemnějších plniv, např. popílků, bylo do EP možné přidat méně (max. 65 % hm.), než hrubozrnnějších plniv (odpadní skla, slévárenský písek atd.), u kterých bylo maximální možné plnění až 85 % hm.

Ve druhé etapě byly prověřovány základní fyzikálně-mechanické parametry speciálních sanačních hmot. Jednalo se především o stanovení objemové hmotnosti, pevností v tlaku a v tahu za ohybu, přičemž u zálivkových a správkových hmot byla provedena také zkouška soudržnosti. U správkových hmot se zaznamenalo nejvyšší pevnosti v tahu za ohybu (52 MPa) u vzorků obsahujícího 50% množství popílku kontaminovaného vlivem denitrifikace spalin. V porovnání s referenční hmotou byla tato hodnota až o 15 MPa vyšší. Bylo experimentálně prokázáno, že hmoty obsahující jemná plniva dosahují vyšších pevností než hmoty s hrubozrnnějším plnivem. Hodnota pevnosti v tahu za ohybu současně dostupných zálivkových hmot byla překročena u všech zkoušených receptur, kromě těch, u kterých bylo plnění vyšší než 85 % hm. Soudržnost s betonovým podkladem byla u všech zkoušených hmot excelentní (> 4 MPa). Od každé z vyvíjených sanačních hmot byly vybrány tři nejlepší receptury, které se jeví jako nejvhodnější a jedna receptura od ekologické hmoty EKO-X s 40% množstvím upraveného nebezpečného odpadu.

Třetí etapa disertační práce byla věnována pokročilému testování receptur vybraných na základě optimalizace provedené v závěru druhé etapy. V této etapě bylo zjištěno, že nejlepší tahové vlastnosti vykazují kotvící hmoty s optimálním množstvím kontaminovaného popílku (45 hm. %). Dále byla zkoušena tepelná odolnost, přičemž na základě výsledků teploty skelného přechodu lze říct, že typ použitého plniva neměl vliv na tepelnou odolnost vyvíjených hmot. Doktorand zde taky úspěšně prokázal, že hmoty odolávají i většině silnějších roztoků anorganických kyselin a zásadám. V rámci této etapy bylo poukázáno na fakt, že vyvinuté správkové hmoty vykazují vynikající poměr mezi pevností v tlaku a dynamickým modulem pružnosti v tahu a tlaku (110 MPa / 22 GPa). Dlouhodobá trvanlivost byla prokázána stanovením vysoké soudržnosti s podkladním betonem i po zmrazovacích cyklech. U hmoty EKO-X s obsahem upraveného nebezpečného odpadu bylo unikátně potvrzeno, že došlo k výraznému snížení polutantů nacházejících se v neutralizačním kalu.

Poslední čtvrtá etapa byla značně přínosná z pohledu vědy i praxe. Prozkoumáním snímků z výpočtové tomografie bylo úspěšně zjištěno, že vyvinuté polymerní kotvící hmoty vykazují vynikající adhezi ke kotvené ocelové tyči a k betonu i po provedení zkoušky vytržení, a potvrzují

také ideální viskozitu čerstvé hmoty. Dále bylo zjištěno, že ani po přibližně ročním působení povětrnostních vlivů nedochází k žádné degradaci vyvinutých správkových hmot, a ani ke zhoršení kontaktní zóny beton/správková hmota. V závěru etapy bylo prokázáno, že rozložení jednotlivých prvků je u vyvinuté ekologické správkové hmoty EKO-X rovnoměrné a částice nebezpečného odpadu byly úspěšně inkorporovány v uzavřené struktuře hmoty při současném zamezení jejich vyluhování.

Na základě popsanych skutečností je v disertační práci Ing. Jakuba Hodula nutné ocenit rozsah prováděných experimentálních prací, stejně tak jako jejich zřejmou časovou náročnost. Výsledky experimentální části disertační práce jsou komplexně zpracovány a velmi přehledně vyhodnoceny pomocí grafů a tabulek. Formální úpravu práce, včetně gramatického a morfologického zpracování, hodnotím jako výbornou. Za velmi přínosné z pohledu praktického využití výsledků považuji provádění experimentů přímo na reálných vzorcích průmyslových odpadů a především také navázání výsledků práce na praxi prostřednictvím výzkumného projektu, v jehož součinnosti disertační práce vznikala. Stanovené cíle disertační práce považuji za jednoznačně naplněné a jako významný závěr práce hodnotím zejména ověření možnosti využití druhotných a odpadních surovin, včetně nebezpečných odpadů, jakožto plniv do speciálních sanačních hmot na beton pro extrémní namáhání.

Během doktorského studijního programu byl Ing. Jakub Hodul aktivně zapojen do řešení národních výzkumných projektů, jako např. TA04010425, TH02020415, TA04010425, TA01021418, FV20303 atd., ale také projektů programů OPPIK – CZ.01.1.02/0.0/0.0/15_019/0004734, projektů specifického výzkumu, jako např. FAST-J-17-4575, FAST-S-17-3874 atd. a další hospodářské činnosti Ústavu technologie stavebních hmot a dílců. Mimo jiné se Ing. Jakub Hodul podílel na vypracovávání znaleckých posudků v oblasti stavebnictví a zúčastňoval se řady stavebně-technických průzkumů, především betonových konstrukcí. Publikoval přibližně 30 odborných článků na tuzemských i zahraničních konferencích a v odborných časopisech, včetně impaktovaných. Ing. Hodul byl také zapojen do pedagogické činnosti ústavu, kdy se podílel na výuce předmětů Plastické látky ve stavebnictví, Kovové a dřevěné materiály, Speciální izolace. Celkově lze jeho činnost na ústavu během jeho doktorského studia hodnotit jako aktivní a úspěšnou.

S ohledem na výše uvedené skutečnosti doporučuji disertační práci Ing. Jakuba Hodula přijmout k obhajobě.

V Brně dne 3. 1. 2019



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA