

OPONENTNÍ POSUDEK

k doktorandské disertační práci Ing. Štěpána Bohuše, na téma „Vývoj nových druhů plynotěsných a vodotěsných povrchových úprav“. Disertační práce je vypracovaná ve studijním programu: „Fyzikálně a stavebně materiálové inženýrství“, studijního oboru: 3911 V006 Fyzikální a stavebně materiálové inženýrství. Oponentní posudek je vypracován ve smyslu článku 45, odst. 3 Studijního a zkušebního řádu doktorského studijního programu VUT v Brně.

Oponentní posudek vypracoval na základě vyžádání děkana fakulty stavební VUT v Brně prof. Ing. Rostislava Drochytky, CSc., MBA, ze dne 20.11.2013, pod č. j. 996/2013, Ing. Pavel Dohnálek, Ph.D., autorizovaný inženýr pro zkoušení a diagnostiku staveb, Hospodářská 218/15, 143 00, Praha 4.

Datum zhotovení: 2.12.2013

Podle ustanovení článku 45, odst. 3 Studijního a zkušebního řádu doktorského a studijního programu je povinností oponenta se vyjádřit zejména k:

- A. Aktuálnosti tématu disertační práce
- B. Zda disertace splnila stanovený cíl
- C. K postupu řešení problému a k výsledkům disertace s uvedením konkrétního přínosu doktoranda
- D. K významu pro praxi nebo rozvoj vědního oboru
- E. K formální úpravě disertační práce a její jazykové úrovni

Všeobecně k předložené disertační práci

Předložená disertační práce si bere za cíl vytvořit materiálovou bázi chránící betonové a železobetonové konstrukce před agresivními vlivy prostředí, které způsobují korozní rozpad hmoty betonu, zejména za přítomnosti vody, jejíž přítomnost umožňuje intenzifikaci průběhu korozních reakcí. Z hlediska praktických příkladů najdeme na existujících betonových a železobetonových konstrukcích řadu příkladů agresivního napadení betonu, když nejčastěji se projevuje efekt působení roztoku rozmrazovacích solí za současného opakování zmrazovacích cyklů, což u mnohých konstrukcí či jejich prvků z nemrazuvzdorného betonu vede ke značnému poškození. Z plyných agresivních prostředí se vyskytuje v největší míře průnik vzdušného CO_2 , což má za následek vznik karbonatů a pokles pH betonu, který pak nemůže chemicky chránit vložené výztužné ocelové prvky před jejich korozi.

Na současném trhu se v ČR vyskytuje značné množství technologií a výrobků, které si berou za cíl vytvářet ochranu proti korozi a bariéru pro průnik výše uvedených agresivních prostředí do hmoty betonu. Je však skutečností, že nátěrů na bázi sekundární krystalizace cementu se využívá ve stále přibývajícím rozsahu, ale zdaleka ne v tak široké míře, jaká by byla odůvodněna jejich technickou a mnohdy i finanční výhodností oproti alternativním řešením. Zmíněné perspektivní vlastnosti krystalizačních hydroizolačních materiálů proto zcela odůvodňují snahu disertační práce tyto materiály zlevnit, což by jim umožnilo získat větší ekonomickou výhodu. Práce si současně vytyčuje cíl jejich výrobu environmentálně optimalizovat využitím vhodných odpadních surovin.

Tedy cílem předkládané disertační práce má být sestavení nových receptur krystalizačních nátěrů a stěrů, za využití směsných pojiv a za současného využití vhodných odpadních surovin, které mají pucolánové nebo latentně pucolánové vlastnosti. Disertační práce se ve své první části zabývá podrobným uvedením poznatků a skutečností charakterizujících současný stav řešené problematiky. V této části jsou probírány polymercementové nátěrové a stěrkové hmoty, polymercementové hydroizolační stěrky. V další části pak práce

představuje hydroizolační hmoty na bázi sekundární krystalizace cementu, jejich princip působení, vznik krystalů v pórech betonu, způsob aplikace atp. V následující části disertační práce jsou uvedena kapalná a plynná agresivní prostředí působící na betonové stavby a následně jsou dále popsány vybrané mechanismy degradace železobetonu, jako je napadení sírany, chloridy, dále pak karbonatace atd.

Následně je z uvedené úrovně stávajícího poznání definován vlastní cíl disertační práce jako vývoj nových druhů plynatěsných a vodotěsných povrchových úprav a to na bázi sekundární krystalizace cementu, za současného využití vhodných odpadních látek.

Metodika práce je rozdělena do tří etap, když etapa I. se zabývá vlastním vývojem modifikovaných krystalizačních nátěrů a její náplň spočívá především v návrhu receptur modifikovaných hydroizolačních hmot, ve zkoušení navržených nátěrů, ve výběru nejvhodnějších receptur hydroizolačních hmot k navazující optimalizaci a přezkoušení pomocí dlouhodobých expozic v kapalných a plynných agresivních prostředích.

Etapa II. se zaměřuje na vlastní provádění zkoušení šesti receptur nově navržených nátěrů pomocí dlouhodobých expozic v kapalných a plynných agresivních prostředích. A zkoumá jejich vliv na výsledné pevnosti takto exponovaných vzorků, výslednou vodotěsnost exponovaných nátěrů a současně využívá i rastrovacího elektronového mikroskopu (REM) pro potvrzení tvorby krystalů v pórech ošetřeného betonu a zároveň pro zjištění vlivu dlouhodobé expozice v agresivních prostředích na tyto krystaly.

Etapa III. se zabývá prováděním rozšířené analýzy vlivu navržených nátěrových hmot na beton a jeho mikrostrukturu. Jedním z cílů je i studium pórové struktury betonu v čase po aplikaci nátěru s krystalizační přísadou pomocí REM. Dále se část této etapy zabývala studiem dotěsňování trhlin pomocí krystalizačních hmot.

Tedy metodicky a systémově je celá disertační práce předem koncipována tak, aby mohlo být dosaženo takových výsledků, které bude možno následně začlenit do výrobního programu a uvést na trh.

Vyjádření oponenta k jednotlivým aspektům disertační práce:

- A. Aktuálnosti tématu disertační práce
- B. Zda disertace splnila stanovený cíl
- C. K postupu řešení problému a k výsledkům disertace s uvedením konkrétního přínosu doktoranda
- D. K významu pro praxi nebo rozvoj vědního oboru
- E. K formální úpravě disertační práce a její jazykové úrovni

- A. Aktuálnosti tématu disertační práce --- Aktuálnost disertační práce je nesporná a zejména zdůrazněná třemi aspekty, tj. snahou chránit betonovou či železobetonovou konstrukci proti vnikání vody a dalších agresivních tekutin a plynů, a umožňovat tak její co nejkvalitnější a nejdelší využití v rámci její plánované životnosti. Dále je práce aktuální vzhledem k využití principu hydroizolace pomocí sekundární krystalizace cementu, který v posledních letech neustále získává na stále větší oblibě, právě i díky dalším inovativním metodám a materiálům, který jej využívají. Dále je pak téma aktuální vzhledem k cíli vytvářet tuto bariérovou vrstvu za použití vhodných odpadních surovin, čímž dochází nejen k ekonomickému efektu, ale i k smysluplnému využití těchto surovin oproti jejich pouhému skládkování, čímž rovněž dochází k omezení jejich vlivu na životní prostředí.
- B. Zda disertace splnila stanovený cíl --- Primární cíl disertační práce je prokazatelně naplněn tím, že výsledkem jsou dvě typově odlišné receptury polymercementového nátěru s krystalizační funkcí, což je hlavním cílem práce. Dále byly plně splněny sekundární cíle práce a to konkrétně ověření těsnících vlastností navržených materiálů po expozici v agresivních prostředích a dále analýza vlastního primárního funkčního principu růstu krystalů v pórové struktuře po nanesení materiálů na beton. Lze tedy konstatovat, že všech vytýčených cílů bylo dosaženo.
- C. K postupu řešení problému a k výsledkům disertace s uvedením konkrétního přínosu doktoranda --- Systémově je celá práce postavena tak, že důsledně dodržuje etapové uspořádání a diskutuje postupně experimentální výsledky dosažené při řešení jednotlivých etap a současně konfrontuje stav mikrostruktury betonu s naaplikovaným krystalizačním materiálem. V práci ukázaná struktura stavu betonu v závislosti na prodlužující se době krystalizace sledovaná pomocí REM zachycuje nárůst krystalů s přibývajícím časem. Práce a její experimentální část byla vedena tak, že hlavní cíle disertační práce byly splněny a odzkoušené prakticky použitelné bariérové nátěry a stěrky na bázi sekundární krystalizace cementu s použitím odpadních surovin mají zcela jednoznačně možnost praktického použití. Podařilo se využít odpadních surovin, konkrétně elektrárenský popílek. Práce prokázala, že nároky na vyvíjené materiály splňují podmínky trvalé vodotěsnosti, malé nasákavosti, vyhovující mechanické vlastnosti, zpracovatelnost a zejména odolnost vůči průniku ekologicky nebezpečných látek.
- Navržené receptury úspěšně prošly přísnými zkouškami ekotoxicity, obsahu radionuklidů a hygienické nezávadnosti. Výsledné receptury se pak ukázaly jako optimální kompromis mezi bariérovými vlastnostmi materiálu a jeho cenou, která se

zvyšuje se zvyšováním objemu použité krystalizační přísady. Nejvhodnější odpadní surovina byla vybrána z potencionálních druhotných surovin v rámci grantového projektu, na který tato práce navazuje a v rámci kterého byla provedena.

V první etapě disertační práce byl proveden vývoj a optimalizace modifikovaných krystalizačních nátěrů a stěrů vyvíjených jako bariérové nátěry a stěrky se zaměřil na tvorbu 24 receptur s použitím krystalizačních přísad Xypex Admix a odpadních surovin popílek Chvaletice a struska Štramberk. Na základě zkoušek zpracovatelnosti byl počet receptur zúžen na šest, které byly podrobeny experimentálnímu ověření bariérových a fyzikálně mechanických vlastností a jejich výsledky byly porovnány s referenčním betonem.

Tyto receptury byly v rámci druhé etapy práce podrobeny dlouhodobým korozním zkouškám a to ve třech plynných a třech kapalných agresivních prostředích. Současně byla jedna sada vzorků pro porovnání uložena ve venkovním prostředí. K vyhodnocení těchto dlouhodobých zkoušek bylo použito nejen metod měření pevností a hloubky průsaku tlakové vody, ale v rámci třetí etapy práce bylo využito i rastrovacího elektronového mikroskopu (REM) pro potvrzení tvorby krystalů v pórech ošetřeného betonu a zároveň pro zjištění vlivu dlouhodobé expozice v agresivních prostředích na tyto krystaly.

Třetí etapa se také zaměřuje na detailní rozšířenou analýzu vlivu navržených hmot na beton a jeho mikrostrukturu. Jedna z položek bylo studium pórové struktury betonu v čase po aplikaci nátěru s krystalizační přísadou pomocí REM. Dále se část této etapy zabývala studiem dotěsňování trhlin pomocí krystalizačních hmot. Celkově lze tedy říci, že práce přistupuje k dosažení vytýčených cílů odborně, systematicky a s náležitým důrazem na detail.

- D. K významu pro praxi nebo rozvoj vědního oboru --- Z hlediska významu pro praxi a rozvoj vědního oboru považuji předloženou disertační práci za kvalitní a ucelený systém pracovních postupů důsledně vedený v předem stanovených etapách umožňujících dílčí diskuze a závěrečnou analýzu s reálným výstupem dokladovaným konkrétními vyvinutými recepturami dvou nových materiálů.

Hlavním přínosem je v daném případě ověření krystalizačních efektů při použití odpadních surovin jako částečné náhrady cementu a dále se pak jedná o ověření kombinovatelnosti sekundární krystalizace cementu se zvolenou odpadní surovinou, kterou byl elektrárenský popílek.

Dalším přínosem je pak ověření úspěšné kombinovatelnosti sekundární krystalizace cementu s polymercementovou matricí.

Pro rozvoj vědního oboru je pak zejména důležitá část práce studující rozvoj krystalů v pórech betonu, čímž přispívá svou částí k dalšímu pochopení a všeobecně vědeckému studiu této metody či materiálové báze. Provedené dlouhodobé korozní zkoušky pak prokazují funkčnost vyvinutých materiálů i ve velmi agresivních prostředích a může tudíž následně dojít k certifikaci těchto materiálů a k jejich uvedení na trh. V důsledku svých výborných bariérových vlastností pak tyto nové materiály budou přínosem při aplikaci na nejrůznější betonové a železobetonové stavby, jejichž životnost významně prodlouží i v extrémních korozních prostředích.

E. K formální úpravě disertační práce a její jazykové úrovni --- Práce je z formálního hlediska na velice dobré úrovni, nicméně v práci lze najít několik drobných chyb v úpravě:

- a. Obrázek 12 – testování – zdvojený nápis ČSN EN u zkoušky příčného tahu dle ČSN EN 1338,
- b. Problém s číslováním zkušebních metod v sekci 8.1 – Použité metody. Sekce s popisem jednotlivých metod jsou správně číslovány od 8.1.1 – 8.1.12, ale poté začíná nové číslování od 8.1.1 – zde by číslování metod mělo být průběžné.
- c. V ojedinělých případech nejsou jednotky odděleny od číslic. Např. v sekci 8.1.12 $5\pm 1\text{mm}$, kde má správně být $5\pm 1\text{ mm}$,
- d. Popisky os grafu na obrázku 18 jsou v angličtině, když by se u práce na této úrovni slušelo je rovněž převést do češtiny.

K formální úpravě disertační práce a její jazykové úrovni nemám zásadní připomínky, práce je na požadované úrovni.

Závěrem tedy konstatuji, že předložená disertační práce je pečlivě zpracována, s odpovídajícím vědeckým přístupem a to včetně logického představení a popsání celé problematiky. Získané poznatky je možno hodnotit jako úspěšné dosažení vytýčených cílů práce s prokázanou možností konkrétního využití na trhu sanačních a hydroizolačních materiálů. Posuzovanou disertační práci doporučuji k obhajobě jako úspěšně zvládnutý úkol, zejména také s ohledem na obsažné a současně pečlivé zpracování řešeného tématu.



Ing. Pavel Dohnálek, Ph.D.