



Posudek disertační práce

Uchazeč Ing. Alexey Manaenkov

Název disertační práce Geopolymer based composite as a new material in underground building industry

Studijní obor Physical and material engineering

Školitel doc. Ing. Jiří Litoš, Ph.D.

Oponent doc. RNDr. Pavel Rovnaník, Ph.D.

e-mail rovnanik.p@vutbr.cz

Aktuálnost tématu disertační práce

komentář: Ačkoliv počátek studia přípravy a vlastností alkalicky aktivovaných materiálů se datuje již do první poloviny 20. století, v posledních 20 letech se vývoj a výzkum těchto materiálů značně zintenzivnil. V souvislosti s udržitelným rozvojem stavebnictví a se snahou o snižování emisí skleníkových plynů, které jsou spojeny s výrobou portlandského cementu, je snaha využívat alternativní stavební materiály založené na přírodních a druhotných surovinách s vysokou pucolánovou aktivitou. Ve světle tohoto trendu je předložená práce velmi aktuální.

vynikající nadprůměrný průměrný podprůměrný slabý

Splnění cílů disertační práce

komentář: Hlavním cílem bylo nalézt korelaci mezi složením navržených geopolymérů a jejich mechanickými vlastnostmi, včetně odolnosti vůči mrazu a agresivnímu prostředí o nízkém pH. K tomuto bodu lze konstatovat, že byly provedeny všechny navržené testy a byla vybrána optimální receptura. V cílech je uvedeno, že by výsledky mohly umožnit výpočet vlastností materiálů využitelných ve stavebnictví. Ve výsledcích se však neobjevuje žádný matematický model, který by koreloval složení geopolymerního kompozitu s dosaženými vlastnostmi. Z tohoto důvodu si nedokážu představit, jak by se uvedené výsledky daly využít pro jakékoliv výpočty.

Vedlejším cílem pak bylo studium vlivu obsahu kaolinu v surovinové směsi na vlastnosti výsledného geopolyméru. Analýze byly podrobeny směsi o obsahu až 50 % kaolinu a ukázalo se, že množství do 20 % má zanedbatelný vliv na vlastnosti výsledného geopolyméru.

vynikající nadprůměrný průměrný podprůměrný slabý

Metody a postupy řešení

komentář: Pro studium navržených geopolymerních směsí byly využity standardní metody jako stanovení pevnosti v tlaku a v tahu ohybem, stanovení lomové energie a dále měření smrštění laserovým dilatometrem. Změny v mikrostruktuře byly studovány pomocí XRD, FTIR a SEM s nanoindentací. Korozní vlastnosti pak byly sledovány z hlediska odolnosti vůči mrazu a kyselému prostředí. Pro komplexní posouzení vlivu složení a působení agresivního prostředí však postrádám kompletní porozimetrickou analýzu nebo přinejmenší stanovení celkové otevřené porozity na základně např. nasákavosti.

Pro studium bylo použito převážně komerční geopolymerní pojivo Bausic LNa a variabilními parametry byly pouze typ použitého písku a kamenivo, příp. použití skleněných vláken. Pro srovnání pak byl použit cement CEM I 52,5 HRC se zvýšenou odolností vůči korozi (především

síranové). Velkým nedostatkem v kapitole "3.1 Methods" je, že zde není precizně definováno složení zkoumaných směsí. Není zde například uveden vodní součinitel, obsah a typ písku pro referenční směs s cementem. Dále není uvedeno množství použitého hrubého kameniva (viz Tab. 2). V případě studia vlivu kaolinu, pak není uvedeno složení použitého vodního skla a ani jakým způsobem byl připraven výsledný alkalický aktivátor. Bylo aktivátor připraven těsně před namícháním geopolymerní směsi nebo se nechal delší dobu odležet? Tato informace je zcela zásadní. Proč byla použita obyčejná skleněná vlákna, která nejsou odolná v tak silně zásaditém prostředí? Navržené složení směsí (Tab. 2) se jeví značně nesystematické. Byl pro návrh využit nějaký DoE software? Jelikož je hlavní proměnnou množství a typ kameniva, očekával bych komplexnější charakterizaci použitých typů písku (Kaznějov, Zlosyň), především granulometrii, chemické a mineralogické složení. Totéž však platí i pro suroviny týkající se přípravy samotného pojiva (Baucis LNa, metakaolin, kaolin, vodní sklo).

vynikající nadprůměrný průměrný podprůměrný slabý

Výsledky disertace - konkrétní přínosy disertanta

komentář: Výsledky disertační práce jsou prezentovány na 33 stranách textu včetně obrázků, grafů a tabulek. Nejprve byly směsi posouzeny na základě mechanických vlastností, podle kterých byly vybrány nejlepší směsi s písky Kaznějov a Zlosyň. Tyto směsi spolu s referenčním betonem byly podrobeny dalším zkouškám (smrštění, korozní odolnost). Výsledky ukázaly, že smrštění geopolymerního kompozitu je vyšší ve srovnání s PC betonem, což je v souladu s již publikovanými výsledky. Z hlediska odolnosti vůči mrazu se ukázalo, že testované směsi jsou srovnatelné s referenčním betonem, a tedy v praxi použitelné. Odolnost vůči působení silných kyselin se jeví výrazně lepší ve srovnání s klasickým betonem, což je opět v souladu s literaturou. Bohužel následná diskuse k uvedeným zjištěním se neopírá o experimentální data a výklad je v řadě ohledů mylný. Například tvrzení, že geopolymer má ve srovnání s cementovým kompozitem uzavřenou porozitu není podloženo žádnými daty. Rovněž rozpustnost a permeabilita jsou naprosto rozdílné jevy. Jelikož jsou použity vodné roztoky kyselin jako korozní medium, diskutovat rozpustnost chloridů a síranů je poněkud zavádějící. Také zde chybí podrobnější mikrostrukturní analýza materiálu po korozi.

U vzorků se skleněnými vlákny byla stanovena také lomová energie. Z LD diagramu lze poznat, že došlo spíše ke křehkému lomu a střední oblast křivek, těsně za vrcholem, byla aproximována přímkou. Je tedy zřejmé, že skutečná hodnota lomové energie bude nižší, což by bylo více v souladu s literárními údaji. Z výsledků měření rovněž vyplývá, že použití vláken nemá žádný zpevňující efekt, což může být způsobeno např. špatnou volbou vláken. Bohužel zde opět chybí jakákoliv mikrostrukturní analýza lomových ploch, která by dokázala toto chování osvětlit.

Druhá etapa se věnovala zhodnocení vlivu obsahu kaolinu na mechanické vlastnosti a mrazuvzdornost geopolymery na bázi metakaolinu. Výsledky ukazují možnost náhrady až 20 % metakaolinu kaolinem, aniž by došlo ke zhoršení technologických parametrů geopolymery. Tato studie je doplněna i mikrostrukturní analýzou (XRD, FTIR, SEM). Tento výsledek je zajímavý a také velmi přínosný z hlediska dalšího výzkumu i využití v praxi.

Obecně by výsledky měly být konfrontovány s již publikovanými výsledky, které jsou zpracovány na základě literární rešerše v teoretické části práce. Provedená literární rešerše je však málo obsáhlá a nezahrnuje dosavadní state-of-the-art na poli geopolymery. Naopak zde jsou uvedeny zcela zbytečné kapitoly popisující principy některých fyzikálně chemických metod jako XRD a FTIR nebo nemající souvislost s geopolymery, ačkoli to uvádí v nadpise (kap. 1.8). Rovněž náplň kapitoly 1.11 vůbec nesouvisí s jejím nadpisem.

vynikající nadprůměrný průměrný podprůměrný slabý

Význam pro praxi a pro rozvoj vědního oboru

komentář: Předložená disertační práce má nesporný význam pro stavební praxi, jelikož navrhuje optimální geopolymerní směsi a analyzuje jejich mechanické vlastnosti a korozní odolnost. Ukazuje tedy možnosti využití lokálních surovin pro nový typ pojiva ve stavební praxi. Ukazuje také možnost využití slaběji kalcinovaných kaolinitických jílu pro přípravu geopolymérů, což umožňuje snížit především energetické nároky na jejich výrobu při zachování technologických vlastností. Práce je zaměřená spíše na aplikovaný výzkum a ačkoli byla v práci využita řada technik mikrostrukturní analýzy, tak její význam pro rozvoj vědního oboru je malý.

vynikající nadprůměrný průměrný podprůměrný slabý

Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň

komentář: Formální úprava disetace odpovídá standardům kladeným na závěrečnou práci, i když by bylo vhodné sjednotit styl jednotlivých grafů a tabulek. U grafů na obrázcích 29 a 35 chybí popis osy x. Zásadním nedostatkem práce je však jazyková úroveň disertanta. Práce je psána v anglickém jazyce, jehož úroveň je velmi slabá. Je zde obrovské množství gramatických chyb a nepřesností a některé části jsou na hranici srozumitelnosti. Dělá to na mě dojem, že disertant nevěnoval jazykové úpravě dostatečnou pozornost. Odborná jazyková korektura by zde byla bezpochyby na místě. Pro rodilého mluvčího by byla řada vět, kvůli slovanskému slovosedu, naprosto nesrozumitelná.

vynikající nadprůměrný průměrný podprůměrný slabý

Připomínky

Kromě již uvedeného mám k práci následující připomínky a dotazy:

- Na základě jakých parametrů byl zvolen poměr „GP/sand“ v rozmezí 70/30 až 30/70? A jak to koreluje s obsahem kameniva v referenční cementové směsi?
- Jaký byl důvod testování směsi s hrubým kamenivem 8/16? Tato směs neobsahuje střední frakci kameniva 4/8, což odporuje zásadám pro optimální křivku zrnitosti.
- Obr. 17 není v souladu s popisem na str. 67. V popisu je uvedeno třibodové zatěžování, kdežto na obrázku je čtyř bodové. Jak to tedy bylo ve skutečnosti?
- U většiny výsledků nejsou uvedeny směrodatné odchylky, např. formou chybových úseček v grafech. Toto opomenutí mírně snižuje vypovídací hodnotu prezentovaných výsledků.
- Tvrzení, že H₂SO₄ je hlavní složkou kyselých dešťů (str. 56), není v dnešní době, kdy jsou veškeré průmyslové zdroje v Evropě odsířeny, zcela správné. I kdybychom tuto možnost nevyloučili, tak je velmi nepravděpodobné, že by kyselina sírová z tohoto zdroje ovlivnila podzemní konstrukce. Jaké jsou obvyklé zdroje kyseliny sírové a síranů působící negativně na podzemní konstrukce?
- Proč nebyly podrobněji zkoumány vzorky po korozním působení H₂SO₄ a HCl (XRD, SEM)? Tato analýza by umožnila lépe pochopit a vysvětlit korozní chování zkoumaných materiálů.
- Jakým způsobem byla provedena identifikace jednotlivých složek (především metakaolinu a kaolinu) z dat získaných EDAX analýzou (Tab. 7)? Chybí zde srovnání s chemickou analýzou použitých surovin. Jak si vysvětlujete obsah tak velkého množství nezreagovaného metakaolinu?
- Jakou spécií charakterizuje široký pás v oblasti vlnočtů 1400-1500 cm⁻¹, k níž náleží i ostrý pík při 874 cm⁻¹ (Fig. 49) a co z toho vyplývá?
- Byla u naměřených IR spekter provedena ATR korekce? Z hlediska poměru intenzit signálů u vyšších a nižších vlnočtů to spíše vypadá, že ne.
- Z IR spektra cementového kompozitu vyplývá úplná absence portlanditu (Figs. 49 a 50). Čím si tento fakt vysvětlujete?

Závěrečné zhodnocení disertace

Závěrem lze konstatovat, že práce splňuje všechny náležitosti kladené na disertační práci. Student prokázal schopnost samostatné vědecké práce, i když její výsledky budou mít dopady spíše do stavební praxe na lokální úrovni a její význam z hlediska dopadu na rozvoj vědního oboru v mezinárodním srovnání je malý.

I přes značné množství připomínek doporučuji, aby Ing. Alexey Manaenkov byl připuštěn k obhajobě disertační práce a po jejím úspěšném obhájení mu byl podle zákona č. 111/1998 Sb. ve znění dalších předpisů přiznán titul Ph.D.

Doporučuji po úspěšné obhajobě disertační práce udělení titulu Ph.D.

ano

ne

Datum: 5. 11. 2020

Podpis oponenta: *Romaník*