

**Oponentní posudek**  
**na doktorskou disertační práci Ing. Lukáše Kaliny s názvem**  
**„Syntéza aluminátosilikátových systémů na bázi geopolymérů orientovaná**  
**na využívání sekundárních surovin“**

zpracované v rámci doktorského studia na Fakultě chemické VUT v Brně v doktorském studijním programu Chemie, technologie a vlastnosti materiálů. Vypracováním posudku na disertační práci jsem byla pověřena děkanem Fakulty chemické VUT v Brně prof. Ing. Jaromírem Havlicou, DrSc.

**Cíle práce a aktuálnost tématu**

Cílem disertační práce bylo studium tvorby a vlastností alkalicky aktivované směsi vysokopeční strusky a popílku alkalickým aktivátorem, kde část běžně používaných alkalických sloučenin byla nahrazena cementářskými odprašky. Téma práce je v současné době vysoce aktuální s ohledem na produkci odprašků, které mají řadu negativních vlastností a použití do běžných betonů je problematické. Současně všechny pokusy o náhradu portlandského cementu jinými pojivy, při jejichž vzniku se neprodukuje, nebo alespoň sníží produkce, CO<sub>2</sub> do atmosféry, jsou nanejvýš užitečné.

**Postup řešení problému a výsledky disertační práce**

Disertační práce je sepsána na 90 stranách, na konci práce jsou přílohy na 17 stranách. Práce je rozdělena na část teoretickou a experimentální v 5 kapitolách, 6. kapitola je soupis použité literatury a 7. kapitola jsou použité zkratky, podíl obou částí je obvyklý pro disertační práce. V teoretické části doktorand uvádí přehled dosud známých skutečností o surovinách, které v experimentální části použil a o geopolymerech, včetně jejich tvorby a vlastností. Podrobněji se věnuje příměsím, které následně použil v experimentech, uvádí jejich vlastnosti a reakce s cementem.

Po stránce metodiky experimentů je práce zpracována logickým postupem, nejprve jsou charakterizovány použité suroviny, tj. aluminosilikáty, alkalické aktivátory a cementářské odprašky. Charakterizace je provedena granulometrií, termickou analýzou a RTG difrakcí. Je poněkud nezvyklé, že chemik opomene provést (možná, že jen uvést) chemickou analýzu surovin. Nebyl stanoven obsah těžkých kovů, které činí oprašky nebezpečným odpadem. Chybí také údaje o použité strusce.

Dále je uveden výběr vhodných popílků pro náhradu strusky na základě mechanických vlastností alkalicky aktivovaného pojiva, stanovena objemová expanze, RTG difrakce a průběh tvorby matrice kalorimetrickým měřením. Na základě výsledků pak bylo vyloučeno použití fluidního popílku pro další experimenty.

Vývoj tvorby pojivového systému struska-NaOH-odprašky byl studován RTG difrakcí ve třech časech, po indukční periodě, v maximu vývoje reakčního tepla a za 24 hodin, podobně byla provedena i termická analýza. Výsledky jsou u každého experimentu podrobně diskutovány.

K charakterizaci pojivového systému byla také použita mikroskopie, a to jak elektronová, tak i optická. Podrobně jsou studovány EDX sondou jednotlivé útvary, nalezené na snímcích a získané výsledky jsou rozsáhle diskutovány.

Dále byla věnována pozornost korozní odolnosti vyvinutého pojiva, a to v roztoku  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , v roztoku  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , a dále byl sledován průběh karbonatace. Byly provedeny i testy odolnosti proti zmrazovacím cyklům. Opět je vedena diskuse k získaným výsledkům.

V poslední kapitole je popsán experiment výroby přechodové desky v reálných podmínkách praxe. Tento pokus doplňuje experimentální vývoj pojiva. Je trochu zarážející, že experiment výroby betonového prvku byl proveden na základě získaných vlastností pojiva, kde mechanické vlastnosti byly zkoušeny na tělesech o velikosti  $20 \times 20 \times 100$  mm. V práci nejsou uvedeny žádné experimenty, kde by bylo použito kamenivo, tedy zkoušky betonu. Z toho důvodu došlo k nepředvídané situaci, kdy bylo nutno do směsi přidat vodu, aby bylo dosaženo zpracovatelnosti, vhodné pro uložení betonu do forem. Také nejsou uvedeny výsledky pevností zkušebních těles, která se v praxi běžně vyrábějí, aby bylo možno stanovit mechanické vlastnosti vyrobeného prvku a posoudit kvalitu betonu. Nesmí se také zapomínat na prošetření dalších vlastností, tj. nejen pevností, ale i statický a dynamický modul pružnosti, dotvarování, smršťování ap.

V kapitole 5 jsou shrnuty nejdůležitější výsledky disertační práce.

### **Význam výsledků pro rozvoj vědního oboru a pro praxi**

V předložené disertační práci je velmi podrobně prostudován vliv náhrady alkalického aktivátoru na bázi hydroxidu sodného odpadními cementářskými odprašky. Byla k tomu použita řada moderních přístrojových metod, jako termická analýza s následnou analýzou plynů, elektronová mikroskopie s EDX sondou, kalorimetrie, rentgenová difrakce a další, které umožnily děje vzniku geopolymerního pojiva prostudovat do patřičné hloubky a učinit relevantní závěry. Výsledky řešení disertační práce jsou tedy významné pro rozvoj vědní disciplíny materiálového inženýrství v oboru stavebních pojiv.

Pro stavební praxi mají výsledky řešení disertační práce rovněž význam, ale masovému nasazení vyvinutého pojiva bude muset předcházet ještě aplikovaný výzkum, věnující se zejména mechanickým vlastnostem kompozitního materiálu, mrazuvzdornosti betonu ap..

Nicméně. lze konstatovat, že disertační práce má význam jak z pohledu rozvoje vědní disciplíny materiálového inženýrství, tak i z pohledu praxe.

### **Formální úprava disertační práce a jazyková úroveň**

Osnova práce je plně v souladu se zvyklostmi zpracování disertační práce, chybí popis použitých metod a schéma metodiky práce, která umožňuje čtenáři lepší orientaci v problematice. Výsledky jsou uvedeny v přehledných tabulkách a grafech. Práce je sepsána čtivým slohem, ale je v ní řada chyb v koncovkách podstatných a přídavných jmen. Je nutno konstatovat, že zejména v teoretické části práce, kde doktorand pracoval s anglickou literaturou, jsou používány výrazy, které zcela vhodné, např. formace, strukturální ap.. A dále

v experimentální části jsou použity některé výrazy, které nejsou vhodné pro technický text, např. vypadávání uhličitanu vápenatého, nebo označení popílků v nadpisu “Počerady“, “Poříčí“ ap., kde by čtenář mohl očekávat, že získá informace o obci Počerany, nebo Poříčí, nikoliv o popílku z elektráren, lokalizovaných v těchto obcích. Je poněkud nesystematické označování jednotlivých vzorků, což znesnadňuje čtenáři rychlou orientaci v popisu experimentů. V práci je řada typografických chyb, zejména v psaní složitých chemických vzorců. Citace použité literatury je uvedena v souladu s platnou normou ČSN ISO 690-2011 Informace a dokumentace - Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů.

### **Připomínky k disertační práci**

K práci mám následující připomínky a dotazy:

- str. 10 – mohl by doktorand uvést, kde se v ČR vyrábějí konstrukční prvky z AAS betonů;
- str. 10 – cena surovin, zejména jemně mleté strusky a aktivátoru není nízká až nulová;
- není uvedeno, zda se jedná o odprašky z by-passu, nebo odprašky pecní;
- má doktorand povědomost o dalších složkách odprašků z by-passu?
- str. 17 – znáte nějaké práce alkalické aktivace strusek prof. Brandštetra?
- str. 23 – chybně uvedeno třídění popílků na typ “F“ a „C“ podle ASTM; jak se třídí popílků v evropských normách?
- str. 34 – pokud je v kapitole 4.2.2.3 uvedena charakterizace odprašků jako suroviny, pak maximum při teplotě 381 °C nemůže odpovídat rozkladu portlanditu; jednak je to teplota nižší než obvyklá pro jeho rozklad, a dále RTG difrakční analýzou nebyl portlandit v odprašcích nalezen;
- str. 41 – byla dokázána přítomnost hydrátu křemičitanu sodného?
- str. 46 – snížení nebezpečí ASR přidávkou popílku je známo a zdůvodnitelné v betonech na bázi p-cementu; u AAS pojiv jsou alkálie součástí směsi, jak ovlivní popílek snížení možnosti ASR při náhradě strusky?
- str. 50 – mohl by doktorand nastínit, proč u směsi s fluidním popílkem chybí indukční perioda?
- str. 55 – asi není vhodné používat výraz “volné vápno“ pro oxid vápenatý;
- str. 75 – mohl by se doktorand vyjádřit k formulaci posledního odstavce?
- str. 76 – není uvedeno, zda probíhala za vzdušným CO<sub>2</sub>, nebo byla použita vyšší koncentrace a jaká byla doba karbonatace;
- domnívá se doktorand, že rozdíl pH mezi šedě a fialově zbarveným povrchem při fft zkoušce je výrazný?
- mohl by doktorand definovat rozdíl mezi geopolymery a alkalicky aktivovaným materiálem?
- str. 80 – na jakých tělesech byla stanovena mrazuvzdornost?
- Str. 82 – jaký je poměr mezi cenou 1 m<sup>3</sup> betonu na bázi cementu o shodných mechanických vlastnostech a betonu na bázi zkoumaného pojiva?

- **Závěr**

Závěrem konstatuji, že doktorand ve své disertační práci prokázal systematický přístup k řešené problematice, přispěl k rozvoji studované vědní disciplíny a uvedl i praktický příklad využití vyvinutého pojiva v praxi. Připomínky k disertační práci nejsou zásadního charakteru.

Na základě uvedených skutečností doporučuji, aby Ing. Lukáš Kalina byl připuštěn k obhajobě disertační práce a po jejím úspěšném obhájení mu byl podle zákona č. 111/1998 Sb. a ve znění dalších předpisů **přiznán titul Ph.D.**

V Brně 3. 12. 2011