

CIVAK PO PRVNÍM ROCE ŘEŠENÍ

Josef Knězek, Jaroslava Ledererová

Anotace

V rámci veřejné soutěže MŠMT ČR získal v roce 2006 Výzkumný ústav stavebních hmot v Brně projekt „Centrum integrovaného výzkumu anorganických kompozitů“ (dále jen CIVAK) s plánovanou dobou řešení v období 2006 až 2009. Spoluřešiteli projektu jsou Stavební fakulta VUT v Brně, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity v Brně a firma DAKO Brno, s.r.o.

Projekt je zaměřen na integrovaný výzkum základních problémů, podmiňujících tvorbu nových variant vysoce jakostních anorganických kompozitů, určených pro následné užití na produkty pro stavební a technické aplikace. Základní pozici v program výzkumu tohoto projektu zaujímá Výzkumný ústav stavebních hmot, a. s., Brno (dále VUSTAH Brno), kterou tvoří program výzkumu a optimalizace specifických vlastností vápna, cementu a aktivních přídatných anorganických složek, program výzkumu možností a podmínek tvorby rovnoměrných heterogenních směsí a programy výzkumu technologie vápennokřemičitých a extrudovaných vláknocementových kompozitů. Rovněž se podílí na problematice vysoce jakostních vláknocementových kompozitů, předurčených pro užití na tenkostěnné prvky a konstrukce, které řeší DAKO Brno, s.r.o.. Za výzkum vstupních komponent, struktury složek i výsledných kompozitů odpovídá Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity v Brně . Komplexní výzkum specifických vlastností výsledných kompozitů spolu s adekvátními zkušebními metodami a hodnotícími postupy realizuje Fakulta stavební Vysokého učení technického v Brně, jehož poznatky otevřou cestu pro následné dopracování v technické praxi. Součástí CIVAK jsou i výrobní organizace Českomoravský cement, a.s., nástupnická společnost, Lafarge

cement, a.s., Vápenka Vitošov, s.r.o., České lupkové závody, a.s., KM Beta, a.s., Linde Vítkovice a.s., Lineta Severočeská dřevařská společnost, a.s., Horizont, spol. s r.o. a Brněnské vodárny a kanalizace, a.s., které budou mít možnost ve své činnosti bezplatně využívat dílčí výsledky výzkumu příslušných problematik.

Poslání a očekávané přínosy projektu

Úspěšné řešení výzkumných témat v projektu CIVAK ve svém závěru poskytnete:

- nové poznatky o vhodných metodách posuzování specifických charakteristik struktury anorganických kompozitů pro stavební a technické užití
- nové poznatky o vhodných, přednostně nedestruktivních metodách hodnocení specifických vlastností anorganických kompozitů, možnostech na identifikaci imperfekcí ve struktuře kompozitů, včetně základních statistických charakteristik lomové mechaniky kompozitů, které vytvoří předpoklady pro následné pravděpodobnostní metody navrhování stavebních prvků a konstrukcí
- koncepční řešení nových variant vysoce jakostních anorganických kompozitů poskytnou podněty pro možnost následné zavedení výroby prvků a konstrukcí z nich v provedení odpovídajícím požadavkům trhu
- původní technická řešení nových anorganických kompozitů s potenciálem ochrany až po úroveň patentů
- technickou a vědeckou veřejností akceptované publikace v periodickém odborném tisku doma i v zahraničí
- podněty pro výchovu a vědeckou přípravu nových mladých specialistů v oboru anorganických silikátů na specializovaných ústavech vysokých škol
- rozšíření a prohloubení spolupráce specializovaných ústavů vysokých škol s výzkumným ústavem a s odpovídajícími našimi průmyslovými podniky v oblasti nových variant anorganických nekovových kompozitů.
- v neposlední řadě se očekává i zvýšení prestiže našeho vědeckého a výzkumného potenciálu v oblasti anorganických kompozitů doma i v zahraničí, který by měl být zúročen i ve zvýšeném zájmu našich specializovaných průmyslových podniků o svůj další efektivní technický rozvoj .

Členění projektu CIVAK

Naplnění programovaných cílů je organizačně zabezpečeno rozdělení programu prací do výzkumných oblastí (VO) s blíže specifikovanými dílčími cíli (DC):

- VO 1: Nová vápenná pojiva optimalizovaných vlastností pro stavební a technické kompozity. DC: Optimalizovat vybrané vlastnosti vápenných pojiv pro stavební a technické kompozity
- VO 2: Cementy a netradiční silikátová pojiva optimalizovaných vlastností pro anorganické kompozity. DC: Optimalizovat vybrané vlastnosti cementu a netradičních silikátových pojiv pro anorganické kompozity
- VO 3: Vymezení podmínek tvorby heterogenních vláknových směsí pro anorganické kompozity. DC: Vymezit podmínky tvorby heterogenních vláknových směsí pro anorganické kompozity
- VO 4: Nové technologické systémy pro přípravu extrémně lehčených, polokonstrukčních a hutných silikátových kompozitů. DC: Vyřešit nové technologické systémy v oboru silikátových kompozitů.
- VO 5: Technologie výroby vláknocementu extruzí. DC: Vyřešit vláknocement pro technologii výroby extruzí
- VO 6: Nový vláknový kompozit vysoké jakosti pro tenkostěnné prvky. DC: Vyřešit vysoce jakostní anorganické vláknové kompozity pro tenkostěnné prvky
- VO 7: Metodika hodnocení určujících chemických a fyzikálně chemických vlastností vstupních komponent, meziproductů a výsledných anorganických kompozitů s orientací na trvanlivost. DC: Definovat určující vlastnosti vstupních komponent, meziproductů a výsledných produktů z anorganických kompozitů v technologických souvislostech, včetně metod hodnocení chemických a fyzikálně chemických vlastností.
- VO 8: Soubor metod hodnocení specifických vlastností nových vysoce jakostních anorganických kompozitů konstrukčního určení. DC: Navrhnout nové metody hodnocení specifických vlastností nových vysoce jakostních anorganických kompozitů pro stavební užití a jejich aplikace v praxi.

Charakteristika výsledků dosažených v prvním roce řešení CIVAK

Hlavní důraz výzkumných prací CIVAK byl v prvním roce řešení položen na pojivové složky vztahující se k řešení programovaných nových kompozitních materiálů na jedné straně a k formulování základní metodiky navrhování stavebních prvků z heterogenních kvazikřehkých kompozitů na principech nelineární mechaniky na straně druhé. Z takto vytýčeného rámce výzkumných prací je účelné prezentovat výsledky, jak byly formulovány do dílčích dokumentů.

„Vliv výběru vápenců a technologie výpalu na vlastnosti speciálního vápna“

Přehled výsledků technologických vlastností vápenců z vybraných lokalit a výsledků technologických vlastností vypálených vápen.

V současné době je pálené vápno vnímáno více jako chemikálie než jako stavební hmota. Použití vápenců pro výpal vápna je ovlivněno nejen jeho čistotou co do obsahu CaCO_3 , a příměsemi, ale také jeho fyzikálními vlastnostmi, danými mnohdy geologickým původem. Vápno pro mnohé účely není používáno v podobě čistého oxidu vápenatého, ale hlavně ve formě hydroxidu, který vzniká reakcí oxidu s vodou. Tato reakce je zajímavá a složitý proces. Cílem práce bylo ověřování vhodných typů vápenců pro výrobu speciálního vápna, sledování parametrů výpalu a dále zkoumání jejich vlivu na hlavní vlastnosti suspenze hydroxidu vápenatého, její viskozitu, případně na další chemické nebo fyzikální vlastnosti vápna pro speciální účely. Bylo potvrzeno, že fyzikální vlastnosti se mohou měnit v relativně velkém rozsahu s malými změnami v pálicím a hydratačním procesu.

„Vliv různých druhů vápen na vlastnosti hydrosilikátů“

Vápenec vhodný pro výrobu vápna nejvyšších kvalit v parametrech podstatných pro tvorbu superlehkých vápenokřemičitých kompozitů.

Práce posuzovala vlastnosti hmoty používané jako výplňová hmota do acetylenových tlakových lahví. Klíčovou surovinou předmětného kalciumsilikátu obsahujícího vláknovou výztuž je vápno speciální kvality. Pro zajištění této kvality byl v první fázi proveden výběr vhodných vápenců, laboratorní zkoušky těchto vápenců a z nich vypálených vápen. V druhé fázi již byly zkoumány dosažené fyzikálně mechanické vlastnosti kalciumsilikátů z takto získaných různých druhů vápen. Výsledkem práce bylo doporučení

vápence z konkrétní lokality, který poskytoval v konečném výsledku nejlepší parametry kalcium silikátu a nejlépe naplňoval i bezpečnostní požadavky kladené v tomto směru na acetylenové lahve.

„Zavádění klasifikace a kategorizace surovin pro průmysl maltovin“

Základem úspěšné výroby v silikátovém průmyslu je výběr surovin odpovídajících vlastností. Vlastnosti surovin přímo ovlivňují volbu úpravárenského procesu, který v podstatné míře rozhoduje o plynulosti provozu výroby i o budoucí kvalitě hotového výrobku. Byla sestavena systematická klasifikace, která člení vlastnosti do základních skupin, v rámci kterých je provedena kategorizace.

Zpracovaný souhrn kvalifikačních a klasifikačních parametrů je určen jako podklad pro projektování strojně technologických zařízení jednotlivých dílčích úseků případně celého závodu.

„Síranová degradace betonu a metody jejího studia“

Bylo prokázáno, že metody běžné v geologické praxi mohou přispět k objasnění procesů vzniku síranových minerálů podílejících se na degradaci betonu. Aplikace optické mikroskopie, skenovací elektronové mikroskopie a geochemického modelovacího software Phreeqc for Windows umožnila vyhodnocování experimentů se vzlínavostí roztoku síranu sodného a konstrukci teoretických křivek chemické rovnováhy degradujících minerálů.

Experimentálně byla ověřena možnost využití výsledků geochemického modelovacího software pro předpověď změn koncentrace roztoku solí v pórovém systému betonu a určení indexu nasycení jednotlivých síranových solí.

Použití mineralogických a geochemických metod studia degradace betonu není dosud zcela běžné v technické praxi.

„Problematika stanovení fázového složení portlandského slínku“,

Správné stanovení kvantitativního fázového složení portlandského slínku má pro výrobní praxi velký význam, neboť fázové složení slínku do značné míry rozhoduje o vlastnostech z něho vyrobeného cementu. V současnosti jsou k dispozici tři metody stanovení kvantitativního fázového složení - výpočet z chemického složení, optická mikroskopie a RTG difrakční

analýza. Nejvěrohodnější údaje zatím poskytuje metoda optické mikroskopie, která navíc vypovídá i o struktuře sledovaného materiálu. V praxi však v současnosti začíná dominovat, i nad běžně používaným výpočtem z chemického složení, prozatím méně přesná a méně správná, ale z hlediska přípravy vzorku, rychlosti a pohodlnosti měření výhodnější, metoda RTG difrakce. Proto je třeba se zabývat zdokonalováním kalibračních a vyhodnocovacích postupů pro stanovení kvantitativního fázového složení slínku touto metodou s cílem zkvalitnit její výsledky k větší spokojenosti uživatelů v cementářského průmyslu.

Doporučení na využívání metod optické mikroskopie pro zvýšení správnosti a přesnosti stanovení kvantitativního fázového složení portlandského slínku metodou RTG difrakce.

„Vliv dávkování a jemnosti surovin na vlastnosti cementových směsí“

V laboratorních podmínkách byly sledovány technologické vlastnosti cementových směsí, pro jejichž přípravu byly použity dva druhy vysokoteplotních popílků, jeden zástupce fluidních popílků, zeolit, odpadní křemelina a opuka. Základní referenční cement byl připraven z průmyslového slínku s 5 % energosádrovce. Cementové směsi obsahovaly 10 a 20 % výše uvedených surovin. Všechny cementy byly laboratorně pomlety na měrný povrch kolem 350 m².kg⁻¹. Kromě sledování vlivu dávkování těchto surovin na technologické vlastnosti cementu byl také sledován vliv jejich jemnosti. K tomuto účelu byly cementy připraveny homogenizací referenčního cementu s 10 a 20 % použitých surovin pomletých na dva různé jemnosti. Z dosažených výsledků stanovení pevností, tuhnutí a průběhu hydratace vyplývá, že použité materiály mohou sloužit jako kvalitní náhrada portlandského slínku v cementech.

Přehled výsledků technologických vlastností cementových směsí s různým obsahem a různou jemností vybraných sekundárních surovin využitelný v praxi při přípravě směsných maltovin požadovaných vlastností. Při realizaci náhrady slínku dojde k úsporám při jeho výrobě a ke snížení emisí CO₂.

„Vliv dávkování vybraných složek a jejich mechanické úpravy na vlastnosti směsných cementů“

Je popsána příprava směsných cementů obsahujících 10 a 20 % sekundárních surovin, zejména popílků a odpadních hornin, nahrazujících

průmyslový slínek. Všechny připravené cementy byly pomlety na shodný měrný povrch a byl sledován vliv přídatku suroviny na pevnosti směsných cementů. Dále byly připraveny směsi se surovinami pomletými na různé vysoké jemnosti a byl sledován vliv této úpravy surovin na výsledné pevnosti směsných cementů. U všech připravených směsných cementů byly stanoveny také normální hustota cementových past, počátek a konec tuhnutí a průběh tuhnutí dle Tussenbrocka. Pro posouzení účinku surovin a jejich jemnosti na technologické vlastnosti směsných cementů byly jako standardy použity vedle referenčního cementu také cementy s 10 a 20% jemně mletého inertního písku.

Přehled výsledků technologických vlastností cementových směsí s různým obsahem a různou jemností vybraných sekundárních surovin je využitelný v praxi při přípravě směsných maltovin požadovaných vlastností. Při realizaci náhrady slínku dojde k úsporám při jeho výrobě a ke snížení emisí CO₂.

„Návrh a ověření metodiky navrhování stavebních prvků z heterogenních kvazikřehkých kompozitů na principech nelineární mechaniky“.

Byly zvládnuty experimentální techniky a úspěšně identifikovány lomové mechanické charakteristiky užitím 3D software ATENA pro typický heterogenní kvazikřehký kompozit (sklavláknobeton). Ověřením aplikovatelnosti těchto technik i za podmínek degračních procesů ovlivňujících deformační chování kompozitu byl vytvořen základ pro následné řešení stavebních prvků a konstrukcí pravděpodobnostními metodami hodnocení spolehlivosti stavebních prvků a konstrukcí na jejich bázi.

Vypracovaná komplexní metodika experimentálního stanovení lomové mechanických vlastností kompozitů s následnou identifikací parametrů výpočtových modelů založených na nelineární lomové mechanice kontinua umožňuje následné modelování postupného vzniku trhlin a lomové procesní zóny na stavebních konstrukcích. Velká heterogenita kompozitních materiálů vyžaduje statistické zpracování experimentálních údajů. Výpočtové postupy/odhady spolehlivosti stavebních prvků a konstrukcí využívají numerických simulacních metod typu Monte Carlo.

Komplexní metodika navrhování stavebních prvků z heterogenních kvazikřehkých kompozitů je koncipována na experimentálním stanovení lomové mechanických charakteristik, jejich identifikaci s vhodným numerickým modelem deformačního chování přímou inverzní stochastickou

analýzu, příp. v kombinaci s umělými neuronovými sítěmi, jako základu pro hodnocení spolehlivosti stavebních prvků a konstrukcí.

„Zhodnocení stávajících přístupů k navrhování stavebních prvků a konstrukcí a formulace obecných přístupů k navrhování z nových typů kvazikřehkých kompozitů“,

Byly objasněny základní rozdíly v přístupech navrhování a vhodných výpočtových algoritmech na příkladech vybraných konkrétních typech stavebních prvků a konstrukcí.

Srovnání stávajících norem pro navrhování betonových konstrukcí (americké, EN) a doporučení výrobců nekovové vláknové výztuže bylo použito jako východisko pro sestavení návrhu na doplnění způsobů navrhování stavebních prvků a konstrukcí z kompozitů na bázi portlandského cementu. Zjednodušené srovnání konstrukce vyztužené různými typy výztuže (ocel B490, nerez EN 1.4301, uhlíková vlákna a skelná vlákna).

Byly zpracovány základní principy navrhování stavebních prvků a konstrukcí z heterogenních cementových kompozitů s nekovovou vláknovou výztuží různých typů.

Závěr

Výzkumný program prací je dále úspěšně rozvíjen ve všech citovaných výzkumných oblastech.. Odborná veřejnost bude i nadále v jednotlivostech informována o dosažených poznatcích.

Tento příspěvek byl zpracován v rámci řešení projektu MŠMT reg. č. 1M05006.

Přehled vybraných publikací o výsledcích řešení

- [1.] V. Těhnik, R. Nečas, D. Kubátová: Vliv výběru vápenců a technologie výpalu na vlastnosti speciálního vápna vyrobeného na rotační peci VUSTAH, Sb. konference „Cement 2006“, Stará Lesná, Slovensko 2006, str.1., ISBN 80-214-3322-1.
- [2.] V. Těhnik, R. Nečas, D. Kubátová: Vliv výběru vápenců a technologie výpalu na vlastnosti speciálního vápna vyrobeného na rotační peci VUSTAH, Sb. X. konference „Ekologie a stavební hmoty a výrobky“ Telč 2006, str. 260-264, ISBN 80-214-3322-1.
- [3.] V. Těhnik, R. Nečas, D. Kubátová: Influence of raw material selection and of lime burning technology on rheology of special lime produced by VUSTAH., Sb. „International Mining Symposium – Exploration, exploitation and processing of solid raw materials“, Dubrovnik – Chorvatsko 2006 , str.236 – 243, ISBN 80-214-3322-1
- [4.] V. Těhnik: Einfluss der Auswahl des Rohstoffes und Brandtechnologie auf die Rheologie des in Forschungsinstitut für Baustoffe erzeugten Spezialkalkes, Sb. 11TH INTERNATIONAL LIME ASSOCIATION CONGRESS – Book of Abstracts str. 40-41, ISBN 80-214-3322-1
- [5.] V. Těhnik, R. Nečas, D. Kubátová: Posouzení vlastností hydrosilikátů připravených z různých druhů vápen, Sb. „Vápno, cement, ekologie“, 2006 Skalský Dvůr, str. 121-132, ISBN 80-214-3322-1.
- [6.] V. Těhnik: Evaluation and categorization of raw materials for the mortar production, Sb. „International Mining Symposium – Exploration, exploitation and processing of solid raw materials“ Dubrovnik – Chorvatsko 2006 str. 210-215.
- [7.] D. Všianský: „Síranová degradace betonu a metody jejího studia,“ sborník z „V. Odborná konference o vědě, výzkumu a aplikacích v oboru maltovin – Maltoviny 2006“ str. 221-225, FAST VUT Brno, ISBN 80-214-3322-1
- [8.] T. Staněk, H. Szklorzová: „Vliv dávkování a jemnosti surovin na vlastnosti cementových směsí“, Sb. 13. Betonářské dny 2006, str. 369-378, ISBN 80-903807-2-7.
- [9.] T. Staněk: „Problematika stanovení fázového složení portlandského slinku“, Sb. „V. Odborná konference o vědě, výzkumu a aplikacích v oboru maltovin – Maltoviny 2006“, str. 176-183, FAST VUT Brno, ISBN 80-214-3322-1 .

- [10.] H. Szklorzova, D. Všianský, T. Staněk, L. Tomancová: „Vliv dávkování vybraných složek a jejich mechanické úpravy na vlastnosti směsných cementů“, Sb. CEMENT 2006, str. P1-P9.
- [11.] D. Novák: Modelování vláknobetonu: Experiment – identifikace – nelineární analýza – spolehlivost, Sb. „Ekologie a nové stavební hmoty, X. Konference VUSTAH, Telč, 2006“ str. 405-409, ISBN 80-239-7146-8
- [12.] D. Lehký: Identifikace parametrů vláknobetonu, Sb. Ekologie a nové stavební hmoty, X. Konference VUSTAH, Telč, 2006, str. 414-418, ISBN 80-239-7146-8.
- [13.] L. Řoutil, V. Veselý, Z. Keršner: Degradace sklovláknových kompozitů: Lomové parametry a jejich statistiky, Sb. Ekologie a nové stavební hmoty, X. Konference, Telč, 2006., str. 410-413, ISBN 80-239-7146-8
- [14.] J. Podroužek, D. Novák: Analýza vláknobetonových fasádních panelů I: Nelineární 3D modelování, Sb. Ekologie a nové stavební hmoty, X. Konference VUSTAH, Telč, 2006., str. 419-423, ISBN 80-239-7146-8
- [15.] L. Řoutil, J. Podroužek, D. Novák: Analýza vláknobetonových fasádních panelů II: Statistická simulace, Sb. Ekologie a nové stavební hmoty, X. Konference VUSTAH, Telč, 2006., str. 424-428, ISBN 80-239-7146-8
- [16.] Laníková, P. Štěpánek: Optimalizovaný návrh železobetonových, předpjatých a kombinovaných stožárů z odstředovaného betonu podle zásad ČSN EN 1992-1-1, Sb. Betonářské dny 2006, Hradec Králové, p. 256-161, ISBN 80-903807-2-7.
- [17.] P. Štěpánek, M. Zlámal, M. Filip: Masonry structures with an additional reinforcement, 10th International Conference on Inspection, Appraisal, Repairs and maintenance of Structures, 24-26 october 2006, Eaton Hotel, Kowloon, Hong Kong SAR, CHINA., pp. 371-378, ISBN: 981-05-5562-8.
- [18.] P. Štěpánek, J. Fojtl, D. Horák, M. Filip, J. Prokeš: Pull-out test of non-metallic FRP reinforcement for concrete structures, 4th International Specialty Conference on FIBRE REINFORCED MATERIALS (incorporating, FRC, FRP and others) 29-31 October 2006, Eaton Hotel, Hong Kong SAR, China. Sborník konference, pp. 165-172, ISBN: 981-05-5563-6.

- [19.] P. Štěpánek, D. Horák, J. Fojtl, M. Zlámal: Reinforcing of concrete structures with non-metallic FRP, QUALITY and RELIABILITY in BUILDING INDUSTRY International Scientific Conference LEVOČA, 17.-19.10.2006, Levoča, ISBN 80-8073-594-8.
- [20.] R. Hela, P. Klablana, J. Krátký, J. Procházka, P. Štěpánek, J. Vácha: Betonové průmyslové podlahy. EBS – edice Betonové stavitelství, ČKAIT, ISBN 80-86769-73
- [21.] L. Janda, P. Štěpánek: Návrh betonového průřezu vyztuženého nekovovou výztuží. Design of concrete cross-section with non-metallic reinforcement. Stavební obzor, No. 8, pp. 232-237, 2006, ISSN 1210-4027.
- [22.] J. Plšek, P. Štěpánek, P. Popela: Optimization of concrete structures, 16th international symposium on mathematical programming, Rio de Janeiro, September 2006.
- [23.] P. Krůpa, D. Horák, J. Fojtl, P. Štěpánek: Návrh vnitřní nekovové výztuže a uplatnění při sanacích, příspěvek na konferenci WTA Praha, 2006.
- [24.] M. Zlámal, P. Štěpánek: Vliv zesílení dodatečně vkládanou kovovou a nekovovou výztuží na únosnost zděných kleneb, Sb. Zděné a smíšené konstrukce 2006.