

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta stavební

Ústav chemie

Doc. RNDr. Pavla Rovnaníková, CSc.

**STAVEBNÍ POJIVA:
HISTORIE – SOUČASNOST – PERSPEKTIVY VÝVOJE**

**CONSTRUCTIVE BINDER:
HISTORY – TODAY – FUTURE OF DEVELOPEMENT**

TEZE PŘEDNÁŠKY KE JMENOVÁNÍ PROFESOREM
V OBORU
FYZIKÁLNÍ A STAVEBNĚ MATERIÁLOVÉ INŽENÝRSTVÍ



BRNO 2004

KLÍČOVÁ SLOVA

pojivo, vápno, pucolán, cement, struska, popílek, alkalická aktivace

KEY WORDS

binder, lime, pozzolana, cement, slag, fly ash, alkali activation

OBSAH

Představení autorky	4
STAVEBNÍ POJIVA: HISTORIE – SOUČASNOST – PERSPEKTIVY VÝVOJE	5
1 Úvod	5
2 Stavební pojiva z pohledu historie	5
2.1 Podstata dlouhodobé stálosti antických poživ	7
2.2 Pucolány ve vápenných maltách	9
3 Pojiva 20. století	10
3.1 Náhradní paliva	11
3.2 Využívání druhotných surovin	12
3.3 Alternativní druhy silikátových poživ	13
4 Perspektivy vývoje stavebních poživ	17
5 Závěr	18
6 Použitá literatura	19
VĚDECKO VÝZKUMNÁ, ODBORNÁ A PEDAGOGICKÁ ČINNOST AUTORKY	20
Publikační činnost	20
Výzkumné úkoly a granty	22
Pedagogická činnost	24
KONCEPCE DALŠÍ AUTORČINY VĚDECKÉ A PEDAGOGICKÉ ČINNOSTI	25
ABSTRACT	26

Představení autorky

Pavla Rovnaníková (narozená 25.3.1947 v Plzni) absolvovala Přírodovědeckou fakultu MU (dříve UJEP) v Brně v roce 1970, obor odborná chemie, specializaci anorganická chemie. Od roku 1970 až do dnešní doby působí na Ústavu chemie Fakulty stavební VUT v Brně. V roce 1992 byla po habilitačním řízení na FAST VUT jmenována docentkou pro obor Materiálové inženýrství. Od roku 1994 je členkou Vědecké rady FAST a členkou Akademického senátu FAST, kde vede ekonomickou komisi, od roku 1997 je vedoucí Ústavu chemie FAST VUT v Brně. Je členkou dvou zahraničních a dvou českých profesních společností a členkou redakční rady odborného časopisu Minerální suroviny. Je členkou pedagogické rady oboru M a členkou komise pro státní doktorské zkoušky oboru Fyzikální a stavebně materiálové inženýrství na FAST VUT v Brně a FSv ČVUT v Praze.

Na pedagogické činnosti se podílí od roku 1970, nejprve vedením cvičení, později přednáškami. V současné době přednáší 3 předměty v magisterském studiu (v nových studijních plánech 5) a 2 předměty v doktorském studiu. Od roku 1986 se podílela na tvorbě nových studijních programů. Zavedla nebo se podílela na zavedení 8 předmětů magisterského studia. V roce 1994 se plně zapojila do přípravy distančního studia.

Od poloviny 70. let vede talentované studenty v oblasti SVOČ, STČ a SOČ. Od roku 1990 je každoročně vedoucí diplomových prací studentů na oboru M (celkem 23 studentů). Od roku 1996 je školitelkou doktorandů, jedna doktorandka úspěšně studium dokončila, dva doktorandi plánují dokončení v roce 2004. Poskytuje odborné konzultace z oblasti chemických problémů ve stavebnictví doktorandům všech studijních oborů.

V letech 1970 až 1985 spolupracovala na řešení výzkumných úkolů v oboru termochemické analýzy, od roku 1985 se výzkum na ústavu chemie zaměřil na řešení problematiky zpracování druhotných surovin, zejména na alkalickou aktivaci strusek. Řešení této problematiky se v rámci VVZ autorka věnuje dodnes. Jako řešitelka řeší od roku 1993 projekty GA ČR s názvem „Obnova ochranné funkce cementového tmelu v železobetonových konstrukcích“, GA ČR 103/97/0180 a „Vývoj směsí pro obnovu omítek historických staveb a studium jejich vlastností“, GA ČR 103/02/1081. Jako spoluřešitelka grantových projektů GA ČR vedla a vede výzkumnou skupinu na FAST VUT v Brně na šesti projektech a jako spolupracovnice se zúčastnila řešení šesti projektů, včetně VVZ na téma „Výzkum a vývoj nových materiálů z odpadních surovin a zajištění jejich trvanlivosti ve stavebních konstrukcích“, VVZ CEZ J22/98: 261100008, dílčí téma „Zpracování vysokopecních a ocelářských strusek“. Je řešitelkou česko-polského projektu KONTAKT.

Výsledky své práce publikovala v zahraničních (8), českých vydávaných ve světovém jazyce (8) a českých časopisech (27), ve sbornících zahraničních (24) a domácích (106) konferencí. Je autorkou a spoluautorkou 2 zahraničních monografií (1 v tisku), 4 domácích monografií (1 v tisku), je držitelkou 5 autorských osvědčení a je spoluautorkou 8 učebních textů.

Je aktivní členkou zájmového sdružení profesionálů Společnosti pro technologie ochrany památek (STOP), která přispívá ke zlepšení komunikace mezi památkáři, technologi a restaurátory. Dále je členkou České společnosti chemické, výboru odborné skupiny chemické termodynamiky, Komise inženýrů budowlanej při presidiu AV v Katowicích, International Center for the Architectural Heritage Conservation, Itálie, WTA CZ, Stavební společnosti.

Mimoškolní odborná činnost je zaměřena na provádění expertíz a poskytování konzultací v oboru návrhu, aplikace, užití a degradace stavebních materiálů. Samostatně zpracovala nebo se podílela na více než 100 odborných posudcích pro stavební praxi.

Absolvovala 5 zahraničních stáží, v MLR, UK, Itálii, Polsku. Stáž na Dipartimento di Processi e Metodi della Produzione Edilizia, TU Florencie v Itálii byl spojen s přednáškami v oboru degradace betonu pro studenty v postgraduálním doktorském studiu.

STAVEBNÍ POJIVA: HISTORIE – SOUČASNOST – PERSPEKTIVY VÝVOJE

1 Úvod

Stavební pojiva jsou významnou součástí stavebních materiálů a konstrukcí. Používají se k výrobě konstrukčních prvků, slouží k výrobě malt pro spojování konstrukčních prvků a používají se rovněž pro povrchové úpravy. Stavební pojiva zahrnují širokou škálu materiálů, které se vyvíjejí a jsou neustále zlepšovány jejich vlastnosti. Jedná se o zlepšení mechanických vlastností a zlepšení odolnosti proti působení agresivních látek, což se projeví zejména v trvanlivosti materiálů a životnosti konstrukcí.

Stavebnictví je průmyslový obor, který zpracovává obrovské objemy surovin. Výroba stavebních pojiv je často spojena s tvorbou vedlejších produktů, které jsou nepříznivé pro životní prostředí. Jedná se zejména o oxid uhličitý (CO_2), jehož emise do atmosféry porušují rovnováhu koloběhu CO_2 v přírodě. Také spotřeba energie pro výrobu pojiv není zanedbatelná.

Již v osmdesátých letech 20. století byly nastoleny trendy výroby ekologických pojiv, a to zejména z pohledu spotřeby primárních surovin a snížení spotřeby energie pro jejich výrobu. V zájmu trvale udržitelného života na Zemi je nutno řešit ekologické aspekty výroby stavebních pojiv. Jedná se o návrh složení a technologii zpracování malt, betonů a dalších kompozitních materiálů a současně jejich recyklaci po skončení životního cyklu konstrukce.

Využívání druhotných surovin ve stavebnictví je výhodné jak z pohledu ekonomického, tak i ekologického. Zvláště různé druhy silikátových odpadů tvoří významnou základnu druhotných surovin pro stavebnictví.

Studium složení starověkých malt a kompozitů je jednou z cest jak dojít k materiálům s dlouhodobou stálostí, což se následně projeví na životnosti konstrukcí. Důkazem toho jsou dochované stavby z doby Římského impéria (1. století n.l.), ale i z Egypta, které jsou datovány o více než 2000 let dříve.

Teze přednášky jsou věnovány třem oblastem v oboru stavebních pojiv:

- historickým pojivům a jejich složení,
- pojivům 20. století,
- vývojovým trendům nízkoenergetických pojiv s využitím druhotných surovin.

2 Stavební pojiva z pohledu historie

Informace o historických pojivech jsou získávány z chemických a mineralogických rozborů pojiv, nalezených v dochovaných historických stavbách. Nejstarším pojivem byly hlíny s vysokým obsahem plastických jílových minerálů se zrny do 0,002 mm. Tvrdnutí malt probíhalo postupným uvolňováním vody z vrstevnatých minerálů typu kaolinitu, montmorillonitu, illitu a halloysitu, při němž docházelo ke smrštění, které se projevovalo vznikem trhlin. Pro jádrové hliněné omítky se jako plnivo používal jemný písek a plevy, štuk se prováděl jílovou kaší s malým množstvím písku. Nevýhodou hliněných malt je jejich nízká pevnost (pevnost v tlaku 0,4 MPa), bobtnání v přítomnosti vody, mrazová nestabilita a v důsledku toho krátká životnost.

Prvními pojivy, vyráběnými tepelným zpracováním suroviny byly sádra a vápno, nalezené ve zbytcích staveb na území Sýrie, datovaných 7000 let př. Kr. Také Egyptané používali sádra a vápno jako pojivo kvádrů Cheopsovy pyramidy (2650 let př. Kr.), také na štuky a dekorace.

Sádra ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) se vyrábí odvodněním sádrovce ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Při tvrdnutí se nejprve sádra rozpustí a následně krystalizuje ve formě produktu, který má stejné složení jako původní sádrovec. Dochází k prorůstání krystalů a vytváří se pevná struktura. Sádra jako pojivo má přednost v tom, že dosahuje úplné hydratace a konečných vlastností v krátké době (dny). Konečný

produkt je rozpustný ve vodě, a to sádru předurčuje pro použití pouze v interiéru. Přesto v 17. století byla v Paříži použita sádra jako povrchová úprava exteriéru dřevěných staveb, kde sloužila jako ochrana před ohněm. Pro její výrobu se využívala ložiska sádrovce nacházejícího se u Paříže. Tato sádra je dodnes nazývána „Plaster de Paris“ (Pařížská sádra).

V historii byly vyráběny speciální druhy sádry, které po zatvrdnutí měly zvýšenou odolnost proti povětrnosti a vykazovaly vyšší pevnosti. Známé jsou např. Keenova sádrovina, parianská sádra, Schottova sádra a de Wyldova sádra.

V 16. století byl vyvinut nový typ vysoce dekorativních omítek pro interiéry, složených ze sádry, klišu a pigmentů, které se používaly jako náhrada přírodního barevného mramoru. Do této hmoty se přidával jemný písek nebo mramorová moučka, někdy také vápno. Kamenické dílny ve Florencii zhotovovaly obklady chrámových kaplí bohatě intarzovanými obrazy s rozmanitými dekory technikou „pietra dura“ – intarzovaným mramorem. Umělý mramor se na naše území dostal za vlády Rudolfa II., který povolal v roce 1596 mistry z Florencie. Technika umělého mramoru na bázi sádry prošla v 19. a začátkem 20. století renesancí. Interiéry Národního muzea a Národního divadla v Praze, Obecního domu, Rudolfiny a dalších významných staveb, kde chtěl architekt dosáhnout vysokého estetického a vznešeného dojmu, jsou tohoto řemeslného umění dokladem [1]. K masivnějšímu používání sádry jako stavebního pojiva došlo až s rozvojem stavebnictví a technologií průmyslové výroby v druhé polovině 19. století. V zemích s velkými nalezišti sádrovce se stala sádra pro své vlastnosti a nízkou energetickou náročnost výroby oblíbeným a hojně používaným pojivem (např. v Polsku).

Vápno, které lze nalézt ve stavbách na územích starých kultur se nejdříve používalo jako vzdušná maltovina. Již v 10. století př. Kr. však Féničané zjistili, že použijí-li do směsi s vápnem cihelnou moučku, dostanou v konečné fázi zatvrdlé pojivo, které se svými vlastnostmi liší od toho, které je připraveno z čistého vápna. Toto pojivo mělo vyšší pevnosti a po zatuhnutí na vzduchu bylo stálé a nabývalo pevnosti i pod vodou. Proto se již v té době stavěla vodní díla jako vodovody a přístavní hráze. Také staří Řekové mísili vápno s pískem z ostrova Santorin protože věděli, že použití lávové hlíny dává maltu, která je po zatvrdnutí stálá i pod vodou. Podobně Římané používali do směsi s vápnem sopečný popel z oblasti Puzzuoli pod Vesuvem. Odtud mají materiály podobného složení název „pucolán“. Římský spisovatel Marcus Vitruvius Pollio ve svém díle „Deset knih o architektuře“ (De Architectura libri decem) [2] píše: „Existuje také jeden druh práškovitého písku, který vytváří přirozeným způsobem obdivuhodné věci. Vyskytuje se u Bají na území městeček, ležících okolo hory Vesuvu. Tento práškovitý písek, smíšen s vápnem a s kusovým kamenem, dodává pevnosti nejen stavbám vůbec, ale dokonce tvrdnou s jeho pomocí pod vodou i hráze stavěné v moři.“. Ve středověku se používání pucolánů omezilo. Pozapomnělo se na hydraulicitu a pucolánové vlastnosti některých přírodních materiálů.

Roku 1570 upozornil italský architekt Palladius, že vápno pálené z vápenců od Padovy má výjimečné vlastnosti. Vápenec obsahoval jíly, které způsobily, že vápno se stalo hydraulickou maltovinou. Z přítomných jílových minerálů a kalcitu ve vápenci vznikly při pálení sloučeniny, které po zatuhnutí na vzduchu byly stálé i pod vodou. Bylo tak na základě empirických zkušeností vyráběno cíleně jednosložkové hydraulické vápno.

Chemické základy vnesl do výroby hydraulických pojiv L. J. Vicat, který provedl chemický rozbor řady vápenců. Rozpoznal úlohu jílu v surovině a zavedl výrobu hydraulického vápna. Připravil směs vápence a jílu a tuto směs vypálil. Potvrdil tak skutečnost, že je možno do suroviny dodat jílovité minerály, pokud nejsou přirozeně obsaženy ve vápenci. Jílové minerály vnáší do pojiva tzv. hydraulické oxidy, SiO_2 a Al_2O_3 . Když podíl jílu v surovině vzroste na 33 až 40 %, vápna z nich vypálená se nehasí a v přítomnosti vody vytvoří velmi rychle zatvrdlou pastu, stálou i pod vodou [3].

V našich zemích se vápno začalo používat v 10. století. První vápenku vlastnil klášter v Břevnově. Okolo Prahy se později vyrábělo vápno bránické, podolské, zlíchovské a radlické, které se po Vltavě dopravovalo do Prahy. Vápno bylo velmi ceněno v okolních zemích. Vyváželo

se do Itálie pod názvem „Pasta di Praga“, později se dostalo také do Anglie. Tato vápna byla pálena z vápenců s poměrně vysokým obsahem hydraulických složek. Používalo se také vápno kufsteinské z Tyrol, které bylo vysoce hydraulické. Bylo použito na mnoha významných stavbách v Praze a dodnes je na stavebních objektech vysoce ceněno [4].

Velká pozornost byla věnována dokonalému vyhašení a odležení vápna. Nejkratší doba „vyzrání“ vápna byla 3 týdny. Pro významné stavby se nechávalo vápno odležet v jámách i několik let. Bylo zjištěno, že vápno při takovémto dlouhotrvajícím odležení vytvoří hydrogel hydroxidu vápenatého, který je nutnou podmínkou dobré zpracovatelnosti vápenných malt, zvláště pro omítání.

Název cement pochází z latinského slova „caedere“ tj. tlouci. Staří Římané používali tento výraz i pro označení lomového kamene. Zdivo vystavěné z tohoto materiálu nazývali „caementa“ (nebo caementicae structural). Pojem „opus caementicium“ označoval výsledek zvláštní stavební technologie, uplatňované od 2. století př. Kr. K modernímu pojmu „cement“ se došlo náhodou, když v roce 1774 Francouz Lorient překládal dílo Naturalis historia od Gaia Plinia II., přeložil slovo caementa jako „ciment“. Odtud přešel tento výraz do odborné literatury jako označení pro maltovinu tvrdnoucí pod vodou.

V roce 1756 vystavěl anglický inženýr J. A. Smeaton za použití hydraulické maltoviny maják v Eddystonu. Zatvrdlá maltovina se barvou a vlastnostmi podobala stavebnímu kameni z okolí města Portlandu, odtud později dostal křemičitanový cement přívlastek „portlandský“. V roce 1796 byl pak přiznán Jamesi Parkerovi z Northfleetu anglický patent č. 2120 na výrobu cementu. Parker objevil na kentském pobřeží vápenec, který měl vhodný obsah jílových složek. Surovinu rozmělnil a páčil v peci téměř do slinutí. Svůj výrobek nazval románským cementem, protože se svojí barvou podobal pojivu starých Římanů.

Další pokrok v poznání hydraulicity cementu přinesli němečtí badatelé, J. F. John a J. N. Fuchs. John se zabýval rozdíly vlastností maltoviny při výpalu kusového a lasturovitého vápence míšeného s jíly. Fuchs již sledoval poměry složek v surovině, tj. oxidu vápenatého a hydraulických oxidů [4].

V Čechách byla první cementárna postavena v Bohosudově v roce 1860. O něco později, v roce 1868 byla založena firmou Ferdinand Bárta & Comp. cementárna v Praze-Podolí. Cementárna byla vybavena periodickými šachtovými pecemi. Dále byly postaveny cementárny v Radotíně (1871), v Čížkovicích (1898), v Berouně (1900), v Brně-Maloměřicích (1912) a ve Štramberku (1913).

V polovině 19. století se začal vyrábět struskový cement, tvořený jemně mletou vysokopecní granulovanou struskou a práškovým vápenným hydrátem. Tzv. struskový cement se vyráběl ve Vítkovicích a v Králově Dvoře.

Ve druhé polovině 19. století se rozvíjelo i vápenictví. Přešlo se z primitivních šachtových pecí na vlastní tah na pece kruhové. Výroba probíhala ve větších závodech, které se budovaly u dobrých zdrojů vápence, nikoliv u spotřebitele. Na začátku 20. století bylo jen v oblasti Barrandienu přes 40 vápenických pecí [5].

2.1 Podstata dlouhodobé stálosti antických pojiv

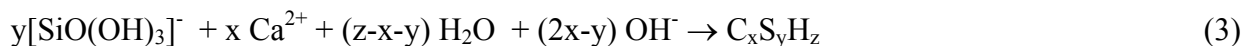
Antičtí stavitelé používali do malt přísadky, které vytvářeli s vápnem po zatvrdnutí pevné produkty stále ve vodě. Petrografickými a chemickými rozbory byly v antických maltách identifikovány materiály s pucolánovým charakterem, tj. drcené či mleté keramické střepy, jemně drcené sklo, různé druhy strusek, popely a popílky po spalování organických přírodních materiálů (slámy, výhonků vinné révy, dřeva) a přírodní vyvěřelé nebo usazené horniny. Pucolán je definován jako „křemičitý nebo křemičito-hlinitý materiál, který sám o sobě má malé nebo nemá žádné pojivové vlastnosti, který v jemně mleté formě a v přítomnosti vlhkosti reaguje s hydroxidem vápenatým při běžných teplotách za tvorby sloučenin s významnými pojivými vlastnostmi“.

Pucolánová reakce probíhá ve směsi hydroxid vápenatý – pucolán – voda. Hydroxid vápenatý je silný hydroxid a ve vodném roztoku je zcela disociován na ionty. Při 25 °C má nasycený roztok hydroxidu vápenatého hodnotu pH = 12,45 a tato koncentrace hydroxidových iontů způsobuje prudký vzrůst rychlosti rozpouštění amorfního SiO₂ již při běžné teplotě (~ 20 °C). Přírodní pucolány obvykle obsahují skelnou formu oxidu křemičitého a reaktivní formy hlinítokřemičitanů. Podle jejich struktury lze usoudit, že vysoká koncentrace OH⁻ iontů bude mít stejný vliv na rozpouštění pucolánů jako na rozpouštění amorfního SiO₂. Sloučeniny hliníku v přírodních pucolánech mají vyšší rozpustnost než SiO₂ v důsledku nižší vazebné energie vazby Al–O v porovnání s vazebnou energií vazby Si–O [6].

Vysoká koncentrace OH⁻ iontů je příčinou depolymerace silikátových nebo alumosilikátových strukturních sítí v pucolánu. Rozkladem pucolánu se současně převedou do roztoku vápenaté, sodné a draselné ionty, které jsou v původních sloučeninách obsaženy. Proces působení OH⁻ iontů na silikáty a alumosilikáty lze popsat schémata (1) a (2)



Depolymerací vzniklé aniony vytvářejí s Ca²⁺ ionty řadu sloučenin. Byly identifikovány zejména alumináty C₄AH_x, C₄AH₁₃, C₃AH₆, C₂ASH₈ a silikáty ve formě CSH gelů [8]. Uvedené sloučeniny vznikají např. reakcemi (3) a (4)



Složení reakčních produktů je závislé na typu pucolánového materiálu a podmínkách průběhu reakce s hydroxidem vápenatým, tj. na okolní teplotě a přítomnosti vlhkosti. Tyto produkty, které jsou obdobou produktů hydratace cementu, byly zjištěny v produktech laboratorně prováděných reakcí a nejsou příčinou dlouhodobé stálosti antických malt. Opravy konané na antických stavbách za použití moderního hydraulického pojiva ukázaly, že opravné malty mají krátkou životnost, v nejlepším případě několik desítek let, zatímco původní malty se dochovaly po několik tisíciletí.

Hlavním nositelem pevností v běžných betonech na bázi portlandského cementu jsou vysoce vápenaté CSH gely, které jsou však málo odolné působení agresivních látek kyselého charakteru, jako jsou oxid uhličitý nebo siřičitý. Obsah alkálií (Na₂O a K₂O) je v portlandském cementu limitován z důvodu možné reakce se silikátovými složkami reaktivního kameniva, kdy může docházet ke vzniku alkalicko silikátového gelu, který má větší objem než původní xerogel a způsobuje porušení betonu.

Zkoumáním antických betonů a malt ze staveb z období Římské říše, které mají stáří více než 2000 let, ale i vodních staveb na ostrově Rhodos, starých více než 2500 let bylo zjištěno, že pojivo se skládá z extrémně jemně krystalického kalcitu, doprovázeného rentgenoamorfními křemičitany (CSH gely) a hydratovanými hlinítokřemičitany vápenatými. Přítomné alkálie se ve směsích s pucolány stávají složkou gelů (A,K)CSAH, které jsou označovány jako prekurzory zeolitů. V antických maltách byly nalezeny skrytě krystalické zeolitické fáze analcimového typu, Na₂O·Al₂O₃·4SiO₂·2H₂O [7]. Použití trasů z Porýní vedlo k obdobným produktům, tedy CSH gelům, hydratovaným aluminátům vápenatým a vápenatým zeolitům philipsitového typu, 3CaO·3Al₂O₃·10SiO₂·12H₂O. Chemie antických pojiv je komplikovanější než chemie portlandského cementu. Existuje velká variabilita ve složení CSH gelů a odlišnost je také ve vysokém obsahu hydraulických oxidů (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃), které vytvářejí kyselejší charakter pojiva v porovnání s portlandským cementem. Nález analcimu a philipsitu (až 40 %) v různých

typech antických pojiv ukazuje, že zeolity jsou nejpravděpodobnější příčinou stálosti antických malt a betonů a dlouhé životnosti konstrukcí, v nichž byla tato pojiva uplatněna. Alkálie pro vznik zeolitů mají původ v pucolánech, v živcích nebo popelu z rostlin (dřevo, sláma), který obsahuje uhličitán draselný (potaš).

Zajímavé názory byly vysloveny na původ stavebních bloků, ze kterých byly postaveny pyramidy v Gize. Byly v nich nalezeny některé složky, které neobsahují vápence z okolních lokalit. Někteří badatelé předpokládají, že bloky byly připraveny litím malt do dřevěného bednění. Analýzami bylo zjištěno, že bloky jsou složeny z vápencového prachu, s minoritním obsahem silikátových, aluminátových a alkalických složek. Příznivé klimatické podmínky přispěly k tvorbě pevného, korozně odolného kompozitního materiálu.

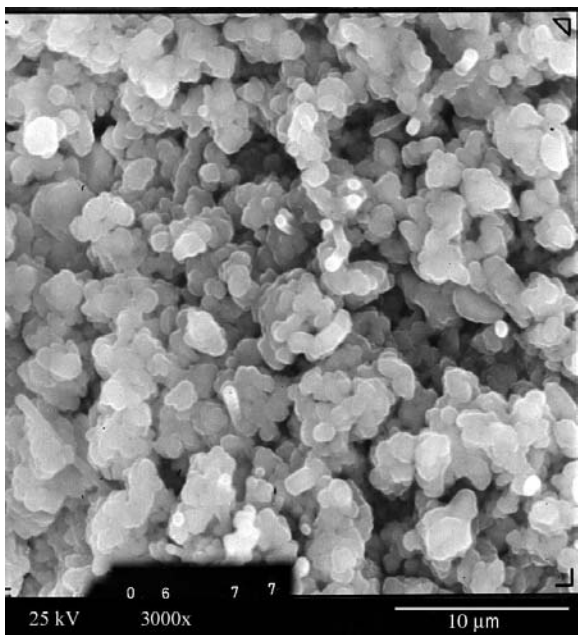
2.2 Pucolány ve vápenných maltách

Při opravách historických staveb se uplatňují pojiva, která kopírují jejich původní složení. Naprostou identitu s historickými pojivy nelze dosáhnout ani v případě použití stejných surovin, zpracovaných v replice původního zařízení na výrobu pojiva, ani stejným způsobem zpracování malty. Proces postupné rekrystalizace zatvrdlého pojiva v průběhu i několika set let při změnách teploty, vlhkosti vzduchu a obsahu agresivních látek v prostředí však nelze simulovat.

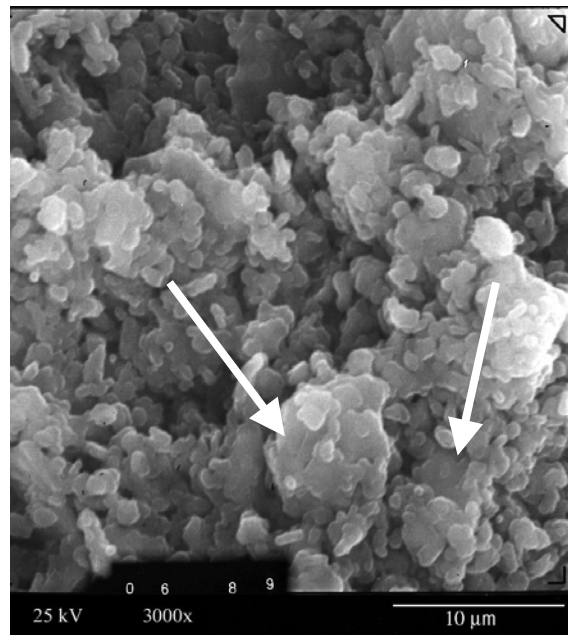
Pro opravy omítek historických staveb jsou požadovány vápenné technologie tj. omítky a nátěry na bázi vzdušného vápna. Zvýšení odolnosti malt lze realizovat přidávkou pucolánu, jehož vhodným výběrem lze dosáhnout zvýšených pevností a odolnosti proti agresivnímu prostředí. Současné experimentální práce ukazují na širokou rozmanitost pucolánově reagujících materiálů jak přírodních, tak i technogenních. Pálením jílu, zejména kaolinitického typu na teploty 600 až 800 °C se získá pucolánový materiál (nazývaný metakaolin), který má rentgenoamorfni charakter a má vysokou porositu. Je vhodný nejen do vápenných malt pro zvýšení pevností a odolnosti proti agresivnímu prostředí, ale má také široké uplatnění v technologii betonu. Metakaolin zvyšuje korozní odolnost betonu proti síranům a kyselinám, snižuje riziko alkaliového rozpínání silikátového kameniva. Reakcí s hydroxidem vápenatým tvoří další podíly CSH gelů a hlinitanů vápenatých, což zvyšuje pevnosti betonu. Díky poréznímu charakteru jím lze nahradit provzdušňovací činidla.

V závislosti na výběru a množství pucolánu vzrůstají pevnosti vápenných malt a snižuje se jejich porosita. U některých měkkých typů pucolánů, jako např. u cihelného prachu z cihel pálených při teplotě 950 °C nebo u metakaolinu, dochází naopak ke zvýšení propustnosti malt. Skelné pucolány, jako vysokoteplotní popílek nebo některé přírodní materiály, vedou ke vzniku nepropustných malt, které mají charakteristiku blízkou maltám cementovým.

Při sledování vývinu pevností v závislosti na čase a množství metakaolinu se pevnost v tahu za ohybu za 3 měsíce pohybovala v rozmezí 0,52 až 0,69 MPa, referenční malta vykazovala hodnotu 0,39 MPa. Ve stejnou dobu pevnosti v tlaku u malt modifikovaných metakaolinem měly hodnoty 1,47 až 4,0 MPa, referenční malta vykazovala hodnotu 1,42 MPa. Pórovitost zatvrdlé malty se zvýšila ze 33,8 % u referenční malty na hodnotu 42,7 % u malty s poměrem vápna ku metakaolinu 1 : 1 [8]. Reakcí metakaolinu s hydroxidem vápenatým za běžných teplot vzniká strätlingit (C_2ASH_8), CSH gely a hydrogranáty nebo C_4AH_x [11]. Mikrostruktura vápenné malty na obr. 1 (zvětšeno 3000krát) ukazuje na krystalický charakter pojiva (karbonatáci vzniká kalcit), přítomnost metakaolinu vede ke vzniku gelové fáze, označené šipkami na obr. 2 (zvětšeno 3000krát). V modifikované vápenné maltě si vzájemně konkurují v závislosti na podmínkách dvě



Obr. 1 Mikrostruktura vápenné malty



Obr. 2 Mikrostruktura vápenné malty modifikované metakaolinem

reakce: karbonatace hydroxidu vápenatého a pucolánová reakce. Karbonatační reakce probíhá nejrychleji při relativní vlhkosti okolního vzduchu v rozmezí 50 až 95 %, vyšší relativní vlhkost vede vlivem kapilární kondenzace ke vzniku kapalné vody v pórech, sníží se rychlost difúze CO_2 do hmoty malty a reakce se téměř zastaví pro nedostupnost CO_2 . Pucolánová reakce naopak probíhá pouze za přítomnosti vody, která tvoří rozpouštědlo pro hydroxid vápenatý reagující s pucolánem.

3 Pojiva 20. století

Mezi základní stavební pojiva 20. století lze zařadit vzdušné a hydraulické vápno a cementy na bázi křemičitanového a hlinitanového slinku. Při výrobě těchto pojiv se spotřebuje značné množství energie a uvolňuje se oxid uhličitý, jehož obsah v atmosféře každoročně stoupá. Oxid uhličitý je jeden z plynů způsobujících „skleníkový efekt“. První polovina 20. století se ve výrobě stavebních pojiv vyznačovala rozvojem strojního zařízení a mechanizací výrobních procesů. S rozvojem přístrojové techniky pokročila úroveň poznání technologických procesů při výrobě a zpracování pojiv, stanovení vlastností pojiv samotných a z nich vytvořených produktů tvrdnutí.

Výroba vápna se realizovala v nízkoefektivních zařízeních, která poskytovala produkty s vysokým obsahem nedopalu a popelovin. Nedopalem se snižovaly pojivové vlastnosti vápna, přítomnost popela s nízkou ztrátou žíhání vedla k pucolánové reakci s vápnem.

Cement se vyráběl mokrým způsobem, který je energeticky náročný. Nedokonalé mletí slinku vedlo k poměrně velkým zrnům, která zcela nezhydratovala, a tedy se nevyužily beze zbytku hydraulické vlastnosti energeticky náročného pojiva.

Ve 30. letech byl vyvinut hlinitanový cement, který se jevil jako vynikající vysokopevnostní pojivo. Po 20 letech jeho užívání se ukázalo, že při hydrataci kalcium aluminátů vznikají hydráty CAH_{10} , C_2AH_8 , které jsou nad 20°C nestálé a konvergují na termodynamicky stálý C_3AH_6 . Tento minerál se vyznačuje menším molárním objemem než dříve jmenované. Konverze vede ke zvýšené porositě, a tím ke ztrátě pevností, a proto se hlinitanový cement jako pojivo konstrukčního betonu nepoužívá.

Druhá polovina 20. století přinesla výraznou kvalitativní změnu ve výrobě stavebních pojiv. Byla zavedena automatizace výroby stavebních pojiv, ve výrobě cementu se přešlo na suchý způsob výroby, byly provedeny úpravy technologie výroby, které vedly k úsporám energie. V trendu trvale udržitelného života na Zemi byly přírodní suroviny cíleně nahrazovány druhotnými surovinami všude tam, kde druhotné suroviny splňovaly kvalitativní požadavky, tj. chemické a mineralogické složení a fyzikální stav. S rozvojem stavební chemie byly zavedeny nové trendy v technologii betonu, zejména užívání plastifikujících přísad a reaktivních prášků, které posouvají úlohu pojiv v kompozitních materiálech na výrazně vyšší kvalitativní úroveň.

V současné době je portlandský cement základní pojivo pro beton a další kompozitní materiály a je předpoklad, že tomu tak bude i nadále. V roce 1995 se vyrobilo 1,4 bilionů tun cementu, do roku 2010 má jeho produkce vzrůst na 2 biliony tun ročně [9].

Výroba portlandského cementu vyžaduje okolo 4 GJ energie na jednu tunu konečného produktu. Neustálá snaha o snížení spotřeby energie vedla ke změně technologie výroby, k výměně primárních paliv za paliva druhotná, k využívání druhotných surovin pro výrobu portlandského slinku a pro výrobu směsných cementů. Výroba portlandského cementu je nejen vysoce energeticky náročná, ale také významnou měrou přispívá ke zvýšení koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře. Při výrobě 1 tuny portlandského cementu suchým způsobem se uvolní do atmosféry cca 0,89 t CO₂, přičemž emise, připadající na kalcinaci vápence jsou téměř konstantní a činí 0,54 t na tunu cementu. Při roční světové produkci cementu 1,6 bilionů tun to v současnosti znamená roční emise CO₂ v množství 1,4 bilionů tun. Uvedené skutečnosti vedou k zamyšlení, jakým způsobem snížit energetickou náročnost a emise CO₂ při výrobě cementu [9].

Zatížení životního prostředí spotřebou energie a emisemi oxidu uhličitého je obdobné také při výrobě vápna z vysokohodnotných vápenců, jejichž kalcinací se uvolňuje 0,78 t CO₂ na tunu vápna. V současnosti je uplatňováno několik směrů vedoucích ke zvýšení ochrany životního prostředí:

- úspora paliv zefektivňováním výroby a využívání náhradních paliv,
- využívání druhotných surovin,
- výroba alternativních druhů silikátových pojiv.

3.1 Náhradní paliva

Významnou úsporu při výrobě cementu a snížení ekologické zátěže představuje využívání náhradních paliv. Vysoká teplota výpalu slinku ~ 1500 °C zaručuje čistý provoz cementáren bez škodlivých exhalací při spalování odpadů. Řada odvětví produkuje energeticky využitelné odpady, zvláště průmysl zpracování ropy, uhlí, plastů, dřeva, papíru a textilu. Nemalým zdrojem jsou komunální odpady, kdy při jejich důsledném třídění lze získat značné množství surovin pro výrobu náhradního paliva a zároveň je nakládání s nimi nejefektivnější. Náhradní palivo, vyráběné z tříděného odpadu je certifikováno a má deklarované vlastnosti.

Výhodným zdrojem náhradního paliva jsou odvodněné kaly z čistíren komunálních odpadních vod. Jsou produkovány ve značných objemech a dodávány ke spalování s obsahem 92 % sušiny. Dalším zdrojem energeticky výhodného odpadu jsou ojeté pneumatiky a drcený pryžový odpad, které mají vysokou výhřevnost. Spalují se buď celé, včetně ocelové výztuže, železo se pak zabuduje do slínekových minerálů, nebo se spalují s odseparovanými kovovými součástmi. Také staré ekologické zátěže deponií energeticky bohatých látek mohou být využity po smísení s uhelným prachem jako náhradní palivo.

Výhodou spalování uvedených odpadů je využití jejich energetického obsahu, a dále významná likvidace odpadu, kdy za vysoké teploty výroby slinku dochází ke zneškodnění mnoha toxických látek v souladu s platnou legislativou.

3.2 Využívání druhotných surovin

Pro výrobu stavebních pojiv jsou vhodné odpady, které mají obdobné složení a vlastnosti jako suroviny primární nebo jako pojivo samotné. Druhotné suroviny s latentně hydraulickými, hydraulickými nebo pucolánovými vlastnostmi jsou vhodné pro výrobu vícekomponentních pojiv, kde se jimi nahrazuje část energeticky náročného pojiva, nejčastěji cementu.

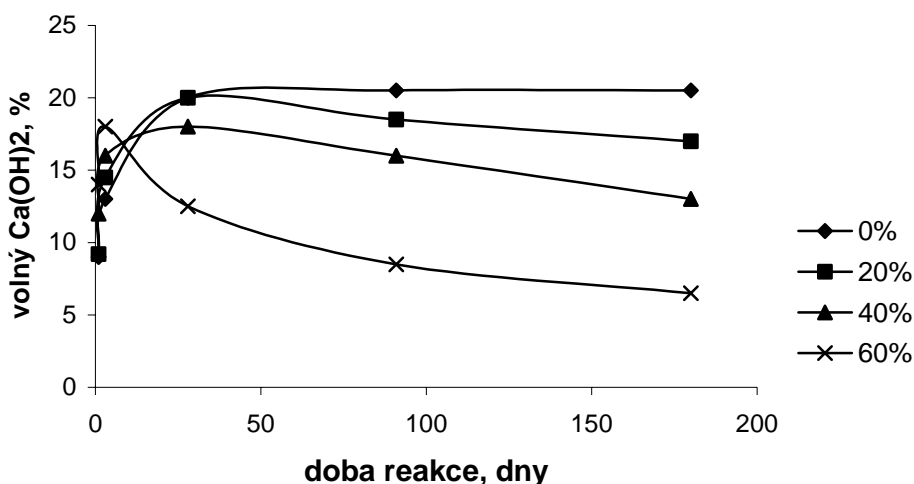
V oboru výroby cementu je od 18. století využívána zásaditá vysokopecní granulovaná struska, která má latentně hydraulické vlastnosti. Vysokopecní struska vytváří s vodou jen nepatrné množství gelových fází, zejména hydratovaný SiO_2 , který se může podílet na vývoji pevnosti jen malou měrou. V přítomnosti Ca^{2+} iontů, které jsou přítomny v záměsové vodě v důsledku disociace hydroxidu vápenatého vznikajícího hydratací cementu, reagují minerály obsažené ve strusce (C_2AS – gehlenit, C_2MS_2 – akermanit, C_3MS_2 – mewvinit, $\beta\text{-C}_2\text{S}$ – belit, $\beta\text{-CS}$ – wollastonit, C_3S_2 – rankinit, CMS – monticelit, M_2S – forsterit) za vzniku hydratovaných křemičitanů vápenatých. V přítomnosti sádrovce vzniká jako pojivá fáze ettringit. Hydratace portlandského struskového cementu, který může obsahovat až 35 % hmot. vysokopecní granulovanou strusku, je velmi složitý proces, který vede ke vzniku gelové fáze CSH (I), metastabilních aluminátů (C_4AH_{13} a C_4FH_{13}), ettringitu ($\text{C}_3\text{A}\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot \text{H}_3\text{O}_2$), který se postupně mění na monosulfát ($\text{C}_3\text{A}\cdot \text{CaSO}_4\cdot \text{H}_2$) a strätlingitu (C_2ASH_8). Ve vysokopecním cementu, který může obsahovat až 95 % vysokopecní granulované strusky, se struska stává hlavní komponentou a portlandský slinek je přítomen pouze jako iniciátor hydratačních reakcí strusky.

V posledních letech je vysokopecní struska využívána jako pojivová složka, dávkovaná přímo do směsi pro výrobu betonu. Tento způsob jejího využití je dokonce efektivnější, protože je možno zcela využít její latentně hydraulických vlastností. Při výrobě směsného cementu se mele současně cementářský slinek se struskou a vzhledem k její horší melitelnosti v porovnání se slinkem, zůstávají zrna větší než jsou po mletí zrna slinku. Při následné hydrataci zrna strusky zreagují pouze částečně na povrchu zrn, uvnitř zůstane struska v původním stavu. Externí přídavek strusky umožňuje mletí strusky na takovou velikost zrna, aby došlo při hydrataci k jejímu úplnému zreagování. Vysokopecní struska je používána také jako částečná náhrada vápence v surovinové směsi, a tím se sníží emise CO_2 , které vznikají při kalcinaci CaCO_3 ve vápenci.

Významnou skupinu odpadů tvoří technogenní pucolány, z nichž nejvýznamnější je elektrárenský popílek z vysokoteplotního spalování, zachycovaný v elektrofiltrech při čištění kouřových plynů. Reaktivita popílků za běžných teplot je závislá na obsahu skelné fáze (obsahující převážně SiO_2), která v našich popílcích představuje 60 až 70 % hmot. Z dalších složek je v popílcích obsažen inertní mullit (A_3S_2), hematit (Fe_2O_3), rutil a anatas (TiO_2), β -křemen a cristobalit (SiO_2). Na pucolánové reakci se podílí převážně skelná fáze, β -křemen reaguje až za hydrotermálních podmínek. Jak je uvedeno v kap. 2.2, pucolánovou reakcí vznikají hydratované křemičitany (CSH gely) a hlinitany vápenaté (C_4AH_{13}), pokud jsou reaktivní hlinité složky v popítku obsaženy.

Dalším významným pucolánově aktivním odpadem jsou popely z obilné slámy, dřeva nebo z rýžových slupek. Největší pozornost je věnována využití popela z rýžových slupek [10], který je k dispozici v zemích produkujících rýži ve významném množství. Popel z rýžových slupek obsahuje až 97 % hmot. SiO_2 a jeho přídavek do betonu zvyšuje již 7denní pevnosti v porovnání s referenčním betonem až o 29 %, výrazné navýšení pevností se projevuje po 180 dnech až o 36 %.

Přídavek reaktivních silikátových materiálů k portlandskému cementu snižuje obsah hydroxidu vápenatého, a to vede ke zvýšení odolnosti proti působení kyselých agresivních látek, a to jak ve formě roztoků, tak ve formě kyselých plynů z atmosféry. Snížení obsahu hydroxidu vápenatého ve směsích se zvyšujícím se obsahem elektrárenského popítku je znázorněn na obr. 3 [11]. Podobný průběh snižování obsahu $\text{Ca}(\text{OH})_2$ vykazují i ostatní směsi s přídavkem látek s pucolánovými vlastnostmi.



Obr. 3 Snížení obsahu hydroxidu vápenatého vlivem přídavku popílku

Přídavkem pucolánových i hydraulických materiálů k portlandskému slinku se výrazně sníží množství hydratačního tepla a jeho vývin je pomalejší. To je významné při betonování velkých bloků, kde rychlý vývin a značné množství hydratačního tepla cementu může způsobit poruchy konstrukčních prvků.

Energosádrovec je produkt odsíření kouřových plynů v elektrárnách a teplárnách. Ročně produkuje elektrárna s pěti bloky o výkonu 210 MW kolem 550 000 tun energosádrovec. V porovnání s přírodním sádrovcem má energosádrovec vysokou čistotu, obsah $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ je až 99 %. Je využíván při výrobě cementu, slouží jako regulátor jeho tuhnutí. Energosádrovec je rovněž využíván jako zdroj druhotné suroviny pro výrobu sádry, která se následně zpracovává při výrobě sádrokartonových desek.

V posledním desetiletí byla zavedena v mnoha elektrárnách metoda fluidního spalování uhlí, která představuje jeden ze způsobů odsíření kouřových spalin. Odpady z fluidního spalování jsou ložový popel a popílky z cyklonů a filtrů. Hlavní reaktivní složkou těchto produktů je anhydrit a amorfní alumosilikáty z jílu obsažených v uhlí. V produktech z atmosférického spalování je navíc přítomno volné vápno, při spalování za vyššího tlaku volné vápno chybí, naopak je přítomen vápenec. Produkty fluidního spalování neobsahují mullit, mrtvě pálené vápno a skelnou fázi. Při tuhnutí a tvrdnutí past vyrobených z produktů fluidního spalování vznikají CSH gely, ettringit a sádrovec. Pokud není externě přidán hydroxid vápenatý, je reakce limitována množstvím volného vápna, přítomného v popelu a popílku [12]. Fluidní popílky lze s výhodou využít do portlandského cementu jako regulátor tuhnutí.

3.3 Alternativní druhy silikátových pojiv

Alternativní silikátová pojiva jsou bezslinková, jejich pevná struktura je vytvářena jiným mechanismem než je hydratace cementu. K významné skupině alternativních bezslinkových pojiv patří pojiva na bázi alkalicky aktivovaných alumosilikátových (AAAS) materiálů, zejména vysokopeční granulované strusky. Na rozdíl od pojiv založených na bázi portlandského slinku, jehož hydratací vznikají vysoce vápenaté hydratované křemičitany a portlandit, jsou potenciálními produkty alkalické aktivace alumosilikátů minerály zeolitického charakteru, které jsou příčinou jejich vysokých pevností a odolnosti proti působení agresivního prostředí.

Vlastnosti AAAS pojiv jsou závislé na mineralogickém a chemickém složení alumosilikátové suroviny, jejím fyzikálním stavu a velikosti zrn, dále na druhu a koncentraci alkalického aktivátoru a podmínkách při vytváření pevné struktury pojiva.

Běžná AAAS pojiva, kde alumosilikátová složka je vysokopecní struska, jsou rychletuhnoucí a vysokopecnostní. Betony s AAAS pojivem dosahují po 28 dnech pevnosti v tlaku až 100 MPa. Pojivo má dobrou soudržnost s ocelí a na oceli udržuje dlouhodobě pasivační vrstvu, která ji chrání před korozí. Vyznačuje se hutnou strukturou [13], vysokou odolností vůči chemické korozí [14] a mrazuvzdorností [15].

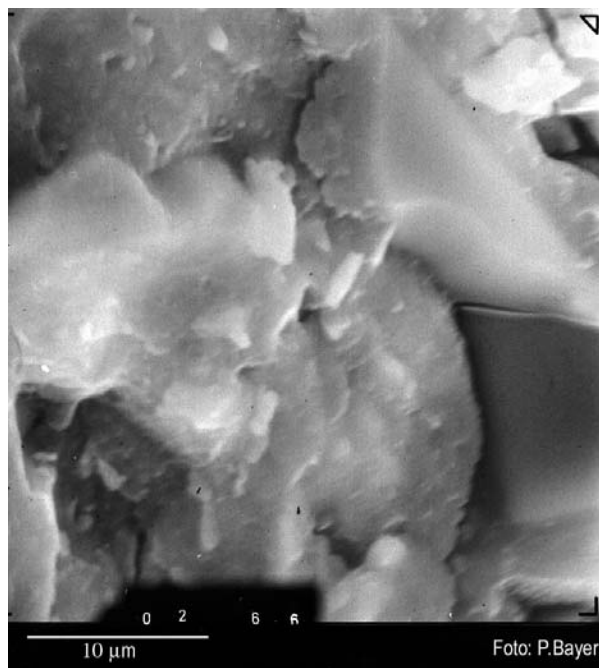
Pro reaktivitu strusek je důležitý podíl sklovité a krystalické fáze, chemické a mineralogické složení. Reaktivnější jsou strusky s vyšší zásaditostí, s vysokým podílem skelné fáze a s vysokým měrným povrchem. Vazby Si–O–Si v křemičtanech jsou atakovány hydroxidovými ionty, dochází k jejich štěpení a spolu s alkáliemi se pak tvoří hydrofilní skupiny typu $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Na}$.

Alkalickou aktivaci alumosilikátů (strusek) lze provést roztoky hydroxidů, uhličitanů nebo křemičitanů alkalických kovů. Nejvýhodnější jsou alkalické křemičitanové silikátové moduly $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} = 1,3$ až 2, vhodný obsah Na_2O je v rozmezí 2 až 7 % hmot., vztaženo k hmotnosti alumosilikátu. S výhodou se používají sušené silikáty se silikátovým modulem rovným 2, z nichž lze připravit spolu s alumosilikátovou surovinou jednokomponentní pojivo. Aktivátor je nejvíce finančně náročnou složkou pojivového systému, proto jsou hledány odpovídající náhrady z oblasti odpadů, které by vyhovovaly svým složením a aktivovaly alumosilikáty se stejnou účinností jako vyráběné alkalické silikáty.

Pojiva na bázi AAAS mají vyšší zásaditost, a to vede k nižší rozpustnosti $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Vyšší koncentrace hydroxidových iontů způsobuje rychlý rozklad alumosilikátové struktury za vzniku hlinitanových a křemičtanových anionů, které reagují s dostupnými Ca^{2+} ionty a produktem reakce jsou pak nízkozásadité křemičitanové a hlinitanové vápenaté. V reakčních produktech byly



Obr. 4 Mikrostruktura AAAS pojiva (1000x)

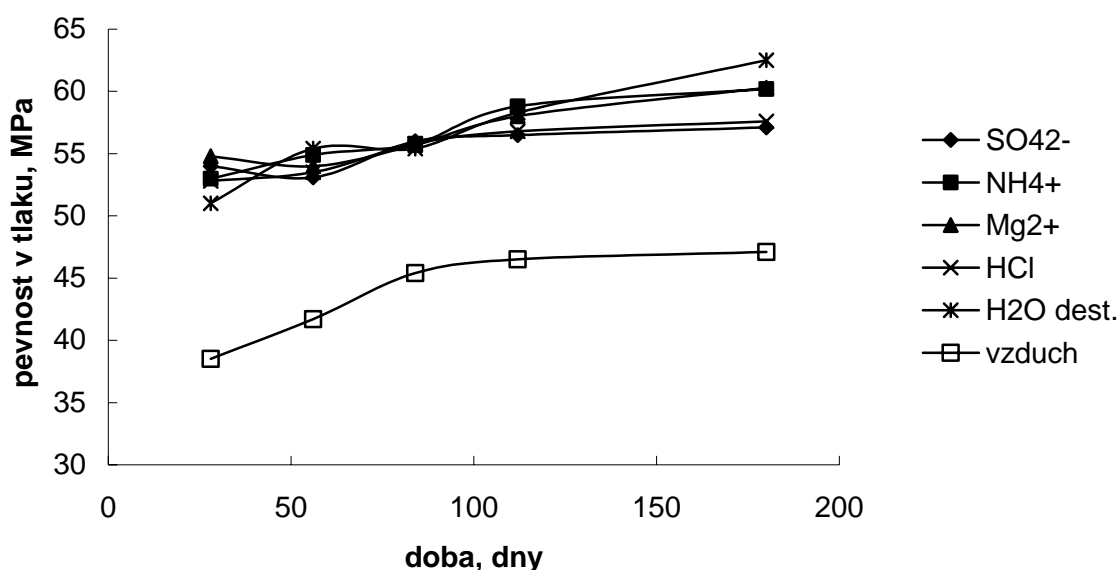


Obr. 5 Mikrostruktura AAAS pojiva (3000x)

nalezeny CSH gely, $(\text{C},\text{M})_4\text{AH}_{13}$, hydrotalcitu podobné fáze a strätlingit (C_2ASH_8) [16]. Jak vyplývá ze snímků mikrostruktury, obr. 4 a 5, gelový charakter převládá. Do struktury křemičtanů a hlinitanů následně vstupují alkálie a vytvářejí sloučeniny zeolitického typu dvou hlavních kategorií: $\text{Me}_2\text{O}-\text{Me}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ a $\text{Me}_2\text{O}-\text{MeO}-\text{Me}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ [17]. Při navázání alkálií do struktury zeolitického hydrogelu není nebezpečí vzniku alkáliového rozpínání kameniva. Produkty

nalezené v zatvrdlém pojivu jsou shodné s minerály, nacházejícími se v přírodě (hydrotalcit a zeolity). Zeolity jsou nestechiometrické sloučeniny obsahující 60 až 70 % SiO_2 , 10 až 15 % Al_2O_3 , CaO , Na_2O a K_2O . Hliník je ve struktuře zeolitů ve formě tetraedrů, stejně jako křemík, to znamená, že jej může ve struktuře nahrazovat [18]. Vzhledem k odlišnému oxidačnímu stupni obou prvků, Si(IV) a Al(III) , kation alkalického kovu kompenzuje záporný náboj Al-tetraedrů. Kationy mají schopnost se ve struktuře zeolitů vzájemně zastupovat, a to umožňuje imobilizovat kationy těžkých kovů v matici z AAAS [19].

AAAS pojiva se vyznačují vysokou odolností proti působení korozních látek. Na obr. 6 je znázorněna závislost pevnosti v tlaku zkušebních těles z AAAS malt na době uložení ve vodných roztocích korozních látek [14]. Z průběhu křivek je patrné, že pevnosti i po 180 dnech neklesají, naopak křivka má vzrůstající charakter. To je způsobeno nepřítomností Ca(OH)_2 a vysoce vápenatých sloučenin, takových, které jsou obsaženy v hydratovaném cementovém tmelu. Výrazně nižší pevnosti při uložení na vzduchu ukazují na nezbytnost přítomnosti vody při reakci.



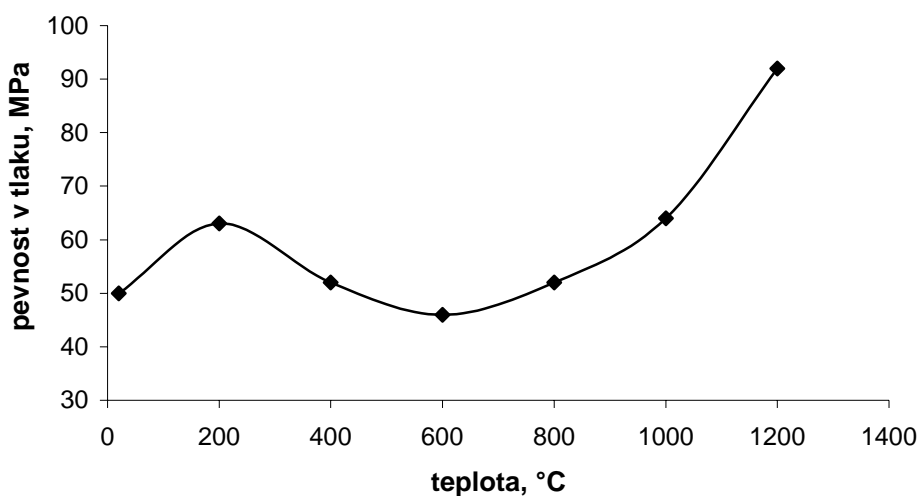
Obr. 6 Pevnost v tlaku AAAS malty v závislosti na době uložení v korozním prostředí

U AAAS pojiv dochází po vysokoteplotním namáhání do teploty 600 °C ke snižování pevností, po vystavení pojiva vyšším teplotám dochází k jejich opětovnému zvyšování. Zkušební tělesa z AAAS malt, vystavených teplotě 1 200 °C po dobu jedné hodiny, vykazovala po ochlazení pevnost téměř dvojnásobnou oproti pevnostem vzorků teplotně neošetřených, jak ukazuje graf na obr. 7 [20]. V důsledku přítomnosti alkálií se snižuje bod tání přítomných produktů tvrdnutí pojiva a dochází až ke slinutí. K výraznému navýšení pevností dochází i přesto, že v důsledku rozkladu hydratovaných sloučenin je mikrostruktura porézní, obr. 8. Mikrostrukturu po vystavení AAAS malty teplotě 1 200 °C ukazuje obr. 9.

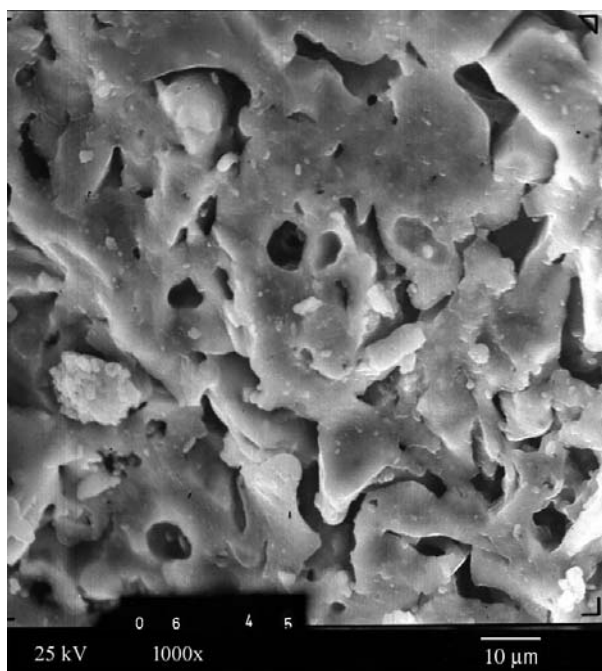
Betony s pojivem na bázi AAAS mají řadu odlišných vlastností v porovnání s betony na bázi portlandského cementu:

- kratší dobu tuhnutí a tvrdnutí,
- vysokou pevnost v tlaku i v tahu za ohybu,
- vysokou adhezi pojiva ke kamenivu,
- vysokou vodonepropustnost,
- odolnost proti působení agresivních látek (SO_4^{2-} , Mg^{2+} , NH_4^+ , H^+ , Cl^-),

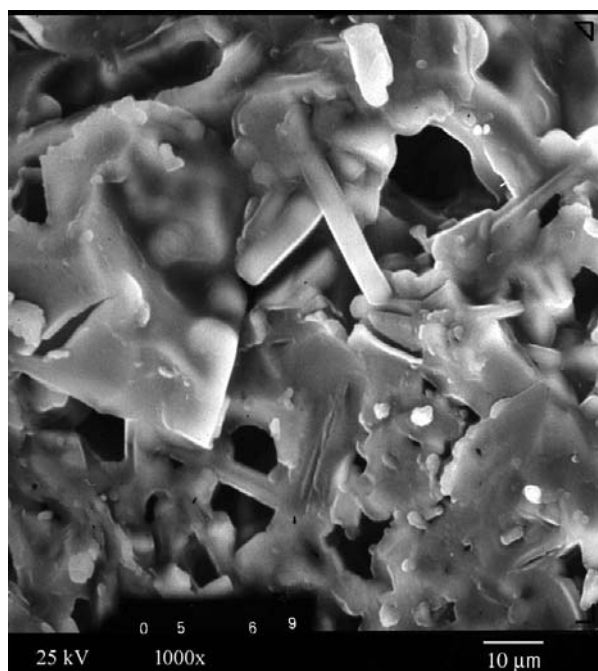
- vysokou mrazuvzdornost,
- nižší reakční teplo.



Obr. 7 Pevnost v tlaku AAAS malty po namáhání vysokými teplotami



Obr. 8 Mikrostruktura AAAS malty (800 °C)



Obr. 9 Mikrostruktura AAAS malty (1200 °C)

Podobnou možnost alkalické aktivace jako vysokopecní struska, skýtají další druhy silikátových odpadů, jako jsou elektrárenské popílků, odpady z výroby různých druhů páleného keramického střepe, ale i některé přírodní suroviny, které jsou odpadem po získání požadované složky.

4 Perspektivy vývoje stavebních poжив

Evropská unie se zaměřuje na integrovanou výrobovou politiku (IPP), tj. nový přístup k ochraně životního prostředí. Bude zahrnovat celý životní cyklus výrobku, od návrhu, přes výrobu, užívání až po likvidaci, tedy „od kolébky po hrob“. Životní cyklus výrobku musí být přátelský k životnímu prostředí (environmentally friendly) a v tomto trendu se bude ubírat i vývoj stavebních poжив. To je hlavní úkol výzkumných pracovníků v oboru stavebních hmot v 21. století. Směry vývoje stavebních poжив lze charakterizovat následujícími oblastmi:

- výrobou poжив s nižší energetickou náročností,
- důsledným využíváním druhotných surovin,
- vývojem nových poжив bez negativních dopadů na životní prostředí,
- vývojem nových technologií zpracování cementových kompozitů (přísady, MDF, HPC).

Z hlediska energetických úspor se budou prosazovat belitické a sulfoaluminátové cementy. Teplota vyžadovaná pro výrobu těchto cementů ležící v rozmezí 1200 až 1350 °C je značně nižší, než teplota potřebná k výpalu portlandského cementu ~ 1500 °C. V belitických cementech zaujímá α -C₂S (alfa belit) pozici slínkového minerálu, odpovědného za pevnosti cementu. Studie ukazují, že belitické cementy mají vyšší odolnost proti karbonataci v porovnání s portlandským cementem i cementy směsnými.

Kalciumsulfoaluminátové belitické cementy jsou speciální variantou belitických cementů. Jsou vyráběny společným mletím belitického cementu a anhydritu a jsou vyvíjeny pro injektáže nebo pro aplikace, kde je vyžadována vysoká počáteční pevnost. Pro výrobu těchto cementů jsou lépe využitelné surovinové zdroje, včetně druhotných surovin, zejména strusky a popílky, které mají výrazný vliv na snížení emisí CO₂ do atmosféry. Další možnost při výrobě nízkoenergetických cementů skýtá přídavek reaktivního metakaolinu, který se sice vyrábí pálením, ale teplota pálení nepřesahuje 800 °C.

V dalším vývoji poжив budou hrát ještě významnější roli druhotné suroviny. Ty jsou využívány již asi 50 let, ale stále se ještě řada velkoobjemových odpadů silikátového charakteru skládkuje. Pokud nemá odpad zcela vyhovující vlastnosti a má naději při změně složení být využit, je nezbytné, aby jeho producent tuto změnu technologie provedl. Např. vyvážení poměru SiO₂/Al₂O₃ u některých druhů strusek zlepšuje jejich pojivové vlastnosti.

Velké rezervy jsou ve využití tuhých odpadů ze spalování uhlí (popílky, škvára, struska), které nejsou stoprocentně využívány. Značné rezervy jsou ve využití energosádrovce, kterého elektrárny produkují statisíce tun za rok a jeho podstatná část se skládkuje. Částečným řešením tohoto problému bude rozšíření výroby α -sádry, která poskytuje širší uplatnění než β -sádra.

Snížení energetické náročnosti výroby stavebních poжив, používání náhradních paliv a důsledné využívání dostupných druhotných surovin bude směřovat k poживům s minimálním dopadem na životní prostředí. Také využívání bezslínkových poжив na bázi alkalicky aktivovaných alumosilikátů ze zdrojů druhotných surovin povede ke snížení negativního vlivu na životní prostředí.

Vývoj poжив úzce souvisí s novými trendy v technologii přípravy, ukládání a ošetřování čerstvých malt a betonů. Vysokohodnotné cementy a betony z nich vyrobené a betony se zvýšenou korozní odolností jsou předpokladem jejich dlouhodobé trvanlivosti, která přispěje k dlouhodobé životnosti konstrukce. Dlouhodobá trvanlivost souvisí s úsporou poжив při opravách a rekonstrukcích, jejichž frekvence je méně častá. Trvanlivost je závislá nejen na složení poживa, ale také na jeho mikrostruktuře. Pokud je mikrostruktura velmi hutná, korozní činitele mají menší naději do hmoty vnikat a poškozovat ji. Hutnou strukturu zatvrdlého poживa lze dosáhnout přidávkem přísad a různými způsoby zpracování čerstvé směsi.

Z chemických přísad používaných ve stavebnictví jsou a do budoucna budou nejužívanější superplastifikátory na bázi polykarboxylátů, mající několikanásobně vyšší účinnost než klasické

superplastifikátory, extrémně snižující dávku záměsové vody při zachování konzistence čerstvého betonu a výrazně se podílející na zvýšení pevností betonu, jeho trvanlivosti, snížení smrštění a dotvarování. Jsou neodmyslitelnou součástí samozhutnitelných, vysokopevnostních betonů a betonů s výraznými užitnými vlastnostmi „High-Performance Concrete“ (HPC). Trendy směřující ke snižování vodního součinitele jsou pro budoucnost nezbytností, protože vedou ke vzniku betonů s výrazně vyššími pevnostmi a vyšší odolností k okolnímu prostředí.

Pojiva založená na směsi hlinitanového nebo portlandského cementu s rozpustným polymerem, např. polyvinylalkoholem a s velmi nízkým vodním součinitelem, poskytují „Macro-Defect-Free“ (MDF) kompozity [21]. Tyto materiály jsou připravovány speciální technologií „high-shear mixing“ a vyznačují se nízkou porositou (pod 2 %) a vysokými pevnostmi v tahu za ohybu (až 150 MPa) a tlaku (až 300 MPa).

Použití mikrosiliky, tj. amorfního SiO_2 s velikostí částic $\sim 0,2 \mu\text{m}$, vede k tvorbě vysokopevnostních, vodonepropustných materiálů, nazývaných „Densified Systems containing ultrafine Particles“ (DSP).

V poslední době byl nastoupen směr technologie betonů s reaktivními prášky „Reactive Powder Concrete“ (RPC), které patří mezi nejprogresivnější betony, navazující na DSP materiály. Vykazují extrémně vysoké pevnosti, až 800 MPa, které se dosahují tím, že kompozit obsahuje pouze jemné složky, jako mikrosiliku, křemen (do $4 \mu\text{m}$), jemný písek (do $400 \mu\text{m}$), cement, superplastifikátor a materiál je vyztužen ocelovými mikrovlákný (do 3 mm délky) při vodním součiniteli 0,18. Do budoucna se počítá s možností částečné náhrady konstrukční oceli.

5 Závěr

Shrnutím znalostí o stavebních pojivech od antiky po pojiva pro 21. století lze učinit závěr, že hlavní složkou v zatvrdlých pojivech jsou CSH gely, které jsou obvykle doprovázeny hydratovanými hlinitany vápenatými, resp. zeolitickými fázemi. Pozornost se obrací k antickým pojivům vzhledem k jejich trvanlivosti a výrazné odolnosti proti působení agresivních látek z okolního prostředí. Na základě získaných informací o nich jsou vyvíjena nízkoenergetická pojiva pro 21. století, ve kterých se ve velké míře uplatňují alumosilikátové odpady.

Pojiva pro budoucnost musí splňovat nízkou spotřebu energie při jejich výrobě a v maximální míře využívat náhradní paliva. V souvislosti s programem trvale udržitelného rozvoje musí nastat také úspory primárních surovin náhradou jejich sekundárními ekvivalenty, a to jak z hlediska zachování současného stavu přírody, tak i z hlediska snížení emisí oxidu uhličitého do atmosféry.

Je nutno zdůraznit, že hlavním pojivem 21. století zůstane portlandský cement, který bude vyráběn s co nejmenšími dopady na životního prostředí. Budou také uplatňovány nové trendy v technologii výroby kompozitních materiálů, zaměřené na zvýšení jejich trvanlivosti. Prodloužením života staveb dojde k úspoře energie i surovinových zdrojů.

6 Použitá literatura

- [1] ROVNANÍKOVÁ, P. *Omítky. Chemické a technologické vlastnosti*. Praha: STOP, 2002.
- [2] VITRUVIUS POLLIO, M. *Deset knih o architektuře*. Praha: SNKLHU, 1953.
- [3] PASLEY, C.W. *Observation on Limes*. London: Donhead Publishing, 1997.
- [4] MATOUŠKOVÁ, A. *Od tradičního vápenictví na území Českého krasu ke vzniku moderní továrny na výrobu portlandského cementu v Králově Dvoře v roce 1911*. Králův Dvůr: Královodvorská cementárna, a.s., 1995.
- [5] LÁNÍK, J., CIKRT, M. *Dvě tisíciletí vápenictví a cementárenství v českých zemích*. Praha: SVCEVA, VUMO, 2001.
- [6] SHI, C., DAY, R. L. Pozzolanic reaction in the presence of chemical activators. Part II. Reaction products and mechanism. *Cem. Concr. Res.*, Vol. 30, 2000, pp. 607-613.
- [7] DAVIDOVITS, J. Ancient and Modern Concretes: What Is the Real Difference? *Concr. International*, Dec. 1987, pp. 23-29.
- [8] ROVNANÍKOVÁ, P., SZATANOVÁ, M., KŘÍSTEK, R. Závislost vlastností vápenopucolánových omítek na době pálení kaolinu. Sborník konference CONSTRUMAT'03, Štúrovo: STU Bratislava, (2003), s. 163-167, 182-190.
- [9] MALHOTRA, V.M. Role of supplementary cementing materials in reducing greenhouse gas emissions. Proc. of the Int. Conf. on Infrastructure regeneration and rehabilitation . Ed. R.N. Swamy, Sheffield: Sheffield Academic Press, 1999, pp.27-42.
- [10] BUI, D.D., STROEVEN, P. Rice husk ash-based binders and their use in high strength concrete in Vietnam. Proc. of the Int. Conf. on Infrastructure regeneration and rehabilitation. Ed. R.N. Swamy, Seffield: Sheffield Academic Press, 1999, pp.263-274.
- [11] TAYLOR, H. F. W. *Cement Chemistry*. 2nd Ed. London: Academic Press, 1992.
- [12] HAVLICA, J., BRANDŠTETR, J., ODLER, I. Possibilities of utilization solid residues from fluidized bed coal combustion (PSBC) for the production of blended cements. *Cem. Concr. Res.*, Vol. 28, No. 2, 1998, pp. 299-307.
- [13] COLLINS, F. G., SANJAYAN, J. G. Strength and shrinkage properties of alkali-activated slag concrete placed into a large column. *Cem. Concr. Res.*, Vol. 29, 1999, pp. 659-666
- [14] ROVNANÍKOVÁ, P., BAYER, P. Corrosion Resistance of Alkali-activated Aluminosilicate Materials. *Innovation and Developments in Concrete Materials and Construction*, Eds.Dhir, K.R., Hewlett, P.C. and Csetenyi, L.J. London: Thomas Telford, 2002, pp. 373-381.
- [15] TALLING, B., BRANDŠTETR, J. Clinker-free concrete based on alkali activated slag. *Progress in cement and concrete*, Vol. 4, abi Books, New Delhi, 1993, pp. 296-371.
- [16] WANG, S.D., SCRIVENER, K.L. Hydration products of alkali activated slag cement. *Cem. Concr. Res.*, Vol. 25, No. 3, 1995, pp. 561-571.
- [17] ROY, D. M. Alkali-activated cements. Opportunities and challenges. *Cem. Concr. Res.*, Vol. 29, 1999, pp. 249 – 254.
- [18] BRANDŠTETR, J., HAVLICA, J. Zeolity v maltách a betonech. *Materiály pro stavbu*, č.6, 2000, s. 48-50.
- [19] DEJA, J. Immobilization of Cr³⁺, Cd²⁺, Zn²⁺ and Pb²⁺ in alkali-activated slag binders. *Cem. Concr. Res.*, Vol. 32, 2002, pp. 1971-1979.
- [20] ROVNANÍKOVÁ, P., BAYER, P., PAVLAS, R. Properties of alkali-activated aluminosilicate materials after high temperature load. Part I. Composition and microstructure. *Non-Traditional Cement and Concrete*, Ed. Bílek, V. and Keršner, Z. Brno:BUT, 2002, pp. 43-51.
- [21] RODRIGUES, F.A., JOEKES, I. Macro-Defect-Free Cements: New Approach. *Cem. Concr. Res.*, Vol. 28, 1998, pp. 877-885.
- [22] FEYLESSOUFI, M.et al, Controlled Rate Thermal Treatment of Reactive Powder Concretes, *Advanced Cement Based Materials*, No. 6 (1), 1997 pp. 21-27.

VĚDECKO VÝZKUMNÁ, ODBORNÁ A PEDAGOGICKÁ ČINNOST AUTORKY

Publikační činnost – Vybrané publikace autorky z celkového počtu 179

- [1] ČERNÝ, R., ROVNANÍKOVÁ, P. Transport Processes in Concrete. 1st ed. London: Spon Press, 2002. 537 pages. ISBN 0-415-24264-94.
- [2] ŠMERDA, Z. a kol. *Životnost betonových staveb*. ČKAIT: Praha 1999. 182 stran. ISBN 80-902697-8-8.
- [3] ROVNANÍKOVÁ, P. *Omítky. Chemické a technologické vlastnosti*. STOP: Praha, 2002, 89 stran. ISBN 80-866657-00-0.
- [4] Kolektiv autorů. *Vápno*. STOP: Praha (2001), 85 stran.
- [5] ČERNÝ, R., DRCHALOVÁ, J., ROVNANÍKOVÁ, P. The effect of thermal load and frost cycles on water transport in two high performance concretes. *Cem. Concr. Res.*, Vol. 31 (2001), pp. 1129-1140.
- [6] ČERNÝ, R., PAVLÍK, Z., ROVNANÍKOVÁ, P. Experimental analysis of coupled water and chloride transport in cement mortar. *Cem. Concr. Comp.*, Vol. 2003, pp. Přijato do tisku.
- [7] KERŠNER, Z., ROVNANÍKOVÁ, P., TEPLÝ, B. Modelling of Concrete Carbonation in presence of Mortar Coating - A Probabilistic Approach. Concrete Repair, *Rehabilitation and Protection*. Ed. R.K. Dhir and M.R. Stones, 1st Ed. London: E+FN Spon, 1996, pp. 747-756.
- [8] ROVNANÍKOVÁ, P., KUTÍNOVÁ, M., KERŠNER, Z. Chloride attack on concrete bridges: Random variability. Proc. of the 6th Int. Conf. on *Concrete Bridges*, Štrbské Pleso: EXPERTCENTRUM, 1997, pp 101-105.
- [9] ROVNANÍKOVÁ, P. Possibilities of Repair of Steel Reinforced Concrete with Chlorides. Proc. of the Int. Conf. on *Concrete and Concrete Structures*, Žilina: FCE TU, 1998, s. 75 – 80, ISBN 80-7099-328-6.
- [10] ROVNANÍKOVÁ, P., KERŠNER, Z. Electrochemical extraction of chloride ions from reinforced concrete structures. Int. Conf. on *Concrete and Concrete Structures*, Žilina: FCE TU, 1999, s. 73 – 76, ISBN 80-7100-589-4.
- [11] ROVNANÍKOVÁ, P., KOKTAVÝ, B., KERŠNER, Z., ADÁMEK, J. Electrochemical Treatment of Concrete Bridges: Knowledge of Electrochemical Extraction of Chlorides. Proc. of the Int. Conf. on *Controlling Concrete Degradation*, Eds. R. K. Dhir and M.D. Newlands, London: Thomas Telford, 1999, pp. 181 – 188, ISBN 0 7277 2819 9.
- [12] ROVNANÍKOVÁ, P., KERŠNER, Z., SCHMID, P., STIBOR, M. Properties of lime plasters with pozzolanic admixtures. Proc. of the Conf. on *Quality and Reliability in Building Industry*, Levoča: TU Košice, 2001, pp. 463-468, ISBN 80-7099-9.
- [13] ROVNANÍKOVÁ, P., BAYER, P., PAVLAS, R. Properties of alkali-activated aluminosilicate materials after high temperature load. Part I. Composition and microstructure. *Non-Traditional Cement and Concrete*, Ed. V. Bílek, and Z. Keršner, Brno: BUT, 2002, pp. 43-51, ISBN 80-214-2130-4.
- [14] ROVNANÍKOVÁ, P., BAYER, P. Corrosion Resistance of Alkali-activated Aluminosilicate Materials. *Innovation and Developments in Concrete Materials and Construction*, Eds. Dhir, K.R., Hewlett, P.C. and Csetenyi, L.J. London: Thomas Telford, 2002, pp. 373-381, ISBN 0 7277 3179 3.
- [15] ROVNANÍKOVÁ, P., MENCL, V. Hodnocení metod stanovení obsahu chloridů v betonu. Sborník IV. Mezinárodního symposia *Sanace betonových konstrukcí*. Brno, 1994, s. 37-40.
- [16] ROVNANÍKOVÁ, P. Sanace budov proti tlakové vodě. Sborník konference *Sanace zavlhklých staveb*, Opava, 1994, s. 65-69.

- [17] ROVNANÍKOVÁ, P., BRANDŠTETR, J. Zakládky vytěžených důlních děl z pohledu stavebně materiálového inženýrství. Sborník sympozia *Hornická Příbram ve vědě a technice*, Příbram, 1994, s. 85-88.
- [18] ROVNANÍKOVÁ, P. Odpady těžebního průmyslu jako druhotné suroviny ve stavebnictví. Sborník sympozia *Hornická Příbram ve vědě a technice*, Příbram, 1994, s. 110-113.
- [19] ROVNANÍKOVÁ, P., KERŠNER, Z. Nedestruktivní metoda obnovy ochranné funkce cementového tmelu pro ocelovou výztuž v betonu. Sborník IX. Mezinárodního Symposia *Sanace betonových konstrukcí*, Brno, 1999, s. 58 – 63, ISSN 1211-3700.
- [20] ROVNANÍKOVÁ, P. Normové metody stanovení hydratačního tepla cementu. Kalorimetrický seminář, Železná Ruda, 1999, s. 7 – 10, ISBN 80-7042-775-2.
- [21] ROVNANÍKOVÁ, P. Elektrochemická extrakce chloridů z ocelí vyztuženého betonu. Sborník XI. Mezinárodní vědecké konference FAST VUT v Brně, 1999, s. 115-118.
- [22] ROVNANÍKOVÁ, P. Využití adiabatického kalorimetru pro studium hydratačních reakcí portlandského cementu. Sborník Kalorimetrického semináře, Zvíkovské Podhradí, 2000, s. 29 – 32.
- [24] ROVNANÍKOVÁ, P., BAYER, P. Korozní odolnost kompozitů na bázi alkalicky aktivované strusky. Sborník mezinárodní konference CONSTRUMAT 2000, Nitra, 2000, s. 58 – 62.
- [25] ROVNANÍKOVÁ, P. Historické omítky a jejich obnova. Sborník 22. konference *Sanace a rekonstrukce staveb*, Praha, 2000, s. 80-86.
- [26] ROVNANÍKOVÁ, P. Problematika stanovení pH betonu. Sborník konference *Sanace betonových konstrukcí*, Brno, 2001, s. 271-277, ISSN 1211-3700.
- [27] ROVNANÍKOVÁ, P., BAYER, P. Vlastnosti kompozitů na bázi alkalicky aktivované strusky namáhaných vysokými teplotami. Sborník konference *CONSTRUMAT 2001*, Brno, 2001, s. 49-55. ISBN 80-214-1936-9.
- [28] ROVNANÍKOVÁ, P., BAYER, P. Vliv zinku a oxidu zinečnatého na hydrataci portlandského cementu. Sborník VII. konference žárového zinkování. Podbanské: Asociace českých zinkoven, 2001, s. 71 –78.
- [29] ROVNANÍKOVÁ, P. Vápenné omítky s pucolánovými přísadami. Sborník konference *Sanace a rekonstrukce staveb*. Praha: WTA, ČSS, 2001, s.118-123, ISBN 80-02-01433-2.
- [30] ROVNANÍKOVÁ, P., BAYER, P. Nové poznatky ve vztahu zinku a cementového tmelu. Sborník VIII. Mezinárodní konference žárového zinkování. Všemina: AČZ, 2002, 6 stran.
- [31] ROVNANÍKOVÁ, P. Využití odpadních keramických materiálů do vápenných malt a omítek, Sborník 7. Mezinárodní konference Recycling 2002, Brno: VUT FS, ed. M. Škopán, 2002, pp.53-58, ISBN 80-214-2078-2.
- [32] ROVNANÍKOVÁ, P. Problémy spojené s využitím pozinkované výztuže v betonu. Sborník konference *Koroze a protikorozní ochrana kovů*. Praha: AKI, 2002, 8 stran, CD.
- [33] ROVNANÍKOVÁ, P., VAVERKA, R., VRAŽIČOVÁ, J. Metakaolin jako pucolánová přísada do vápenných malt. Sborník konference *Sanace a rekonstrukce staveb*. Praha: WTA 2002, s. 88-93, ISBN 80-02-01502-9.
- [34] ROVNANÍKOVÁ, P., HORKÁ, I. Vliv mrazu na vývin pevné struktury vápenných malt. Sborník konference *Sanace a rekonstrukce staveb*. Praha: WTA, 2002, s. 83-87, ISBN 80-02-01502-9.
- [35] ROVNANÍKOVÁ, P., BAYER, P. Vysokoteplotní aplikace alkalicky aktivovaných alumosilikátů. Sborník konference *Anorganické pigmenty a pojiva*. Ústí nad Labem: Silchem, s.r.o., 2002, s.51-54, ISBN 80-238-9507-9.
- [36] ROVNANÍKOVÁ, P., BAYER, P. Poznatky ze studia styčné vrstvy mezi cementovým tmelem a pozinkovanou výztuží. Sborník konference *Korózia úložných zariadení*, TU HF: Košice, 2003, s. 65-70, ISBN 80-7099-251-4.

- [37] ROVNANÍKOVÁ, P., SZATANOVÁ, M., KŘÍSTEK, R. Závislost vlastností vápeno-pucolánových omítek na době pálení kaolinu. Sborník konference CONSTRUMAT'03, Štúrovo: STU Bratislava, 2003, s. 163-167, 182-190, ISBN 80-227-1926-9.
- [38] ROVNANÍKOVÁ, P. Historické omítky pohledem technologa. Sborník semináře *Obnova historických omítek*. Praha: STOP, 2003, s. 4-11.
- [39] DROCHYTKA, R., ROVNANÍKOVÁ, P., HELA, R.: Diagnostika koroze železobetonových konstrukcí. *Sanace betonových konstrukcí*, IV., 4, 1996, s.11-20.
- [40] ROVNANÍKOVÁ, P., TEPLÝ, B., KERŠNER, Z.: Modelování karbonatce betonu s vápenocementovou omítkou. *Sanace betonových konstrukcí*, roč. VI, č.4, 1998, s. 7 – 13.
- [41] ROVNANÍKOVÁ, P. Degradace omítek na bázi vápna. Ročenka Společnosti pro technologie ochrany památek, Praha: STOP, 2003, s. 81-86, ISBN 80-86657-01-9.
- [42] ROVNANÍKOVÁ, P., ZHRADA, J. Elektrochemická extrakce chloridů z betonu mostního nosníku. *Sanace betonových konstrukcí*, VIII, č. 2, květen, 2000, s.13 – 16.
- [43] ROVNANÍKOVÁ, P., NOVÁK, P., HOSTOMSKÝ, J. Elektrochemická extrakce chloridů a realkalizace – prostředek obnovy ochranné funkce cementového tmelu v betonu. *Beton a zdivo*, 7, č. 4, 2000, s. 15-17, ISSN 1211-5444.
- [44] TEPLÝ, B., KERŠNER, Z., ROVNANÍKOVÁ, P. K navrhování železobetonových konstrukcí s ohledem na životnost. *Beton*, č. 6, 2002, s. 41-45, ISSN1213-3116.
- [45] ROVNANÍKOVÁ, P., PAVLÍK, Z., ČERNÝ, R. Měření současného přenosu vody a chloridů jako podklad pro predikci koroze výztuže v betonu. *Beton*, č. 6, 2002, s. 46-49, ISSN1213-3116.
- [46] ROVNANÍKOVÁ, P. Problémy spojené s použitím pozinkované výztuže v betonu. *Koroze a ochrana materiálu*, 46(5), 2002, s. 104-107, ISSN 0452-599X.
- [47] ROVNANÍKOVÁ, P., KERŠNER, Z., SCHMID, P. Properties of lime plasters with metakaolin. Proc. of the III. Int. Scientific Conference on *Quality and reliability in building industry*. Levoča: FCE TUKE, 2003, pp. 467-472. ISBN 80-7099-746-X
- [48] ROVNANÍKOVÁ, P., BAYER, P. Mikrostruktura cementového tmelu v okolí pozinkované výztuže. Sborník IX. Mezinárodní konference o žárovém zinkování. Rožnov p. Radhoštěm: Ekozink, 2003, s. 57-62.
- [49] ROVNANÍKOVÁ, P., BAYER, P. Změny v mikrostruktuře cementového tmelu na styku s pozinkovanou výztuží v čase. Sborník souhrnů příspěvků konference AKI 2003. Bystřice nad Pernštejnem: VŠCHT Praha, 2003, CD, 6 stran.
- [50] ROVNANÍKOVÁ, P. Pucolány ve vápenných omítkách. Sborník konference *Sanace a rekonstrukce staveb*. Brno: WTA CZ, 2003, s. 69-74. ISBN 80-02-01538-X.
- [51] TEPLÝ, B., ROVNANÍKOVÁ, P., KERŠNER, Z. A Risk Analysis Using the Factor Methods. Proc. of the Int. Workshop on *Management of Durability in the Building Process*. Milano: Politecnico di Milano, 2003, CD, paper No. 28, 6 pages. ISBN 88.387.2935.2.

Výzkumné úkoly a granty

- Využití komplexního fluoromanganitanu k termochemickému stanovení manganu. VÚ č. F 33/1970, VUT Brno 1970, 112 stran. Řešitel doc. Brandštetr (FAST VUT), Rovnaníková – spolupracovnice.
- Termochemická analýza některých surovin a výrobků vápenek. VÚ č. F 14/1971, VUT Brno, 1971. 169 stran. Řešitel doc. Brandštetr (FAST VUT), Rovnaníková – spolupracovnice.
- Termochemická analýza (enthalpiometrie). SVÚ IV-2-3/14 (1971-75). Část 1 a 2 (1973), 292 stran. Část 3 (1974), 125 stran. Část IV (1975), 202 stran. Řešitel doc. Brandštetr (FAST VUT), Rovnaníková – spolupracovnice.

- Enthalpiometrická analýza. SVÚ č. IV-2-3/8 (1976-80). Část 1 (1977), 218 stran. Část 2 (1979), 308 stran. Část 3 (1980), 286 stran. Řešitel doc. Brandštetr (FAST VUT), Rovnaníková – spolupracovnice.
- Termochemická analýza. SVÚ č. IV-2-3/01 (1981-85). Část 1 (1982), 243 stran. Část 2 (1984), 110 stran. Část 3 (1985), 203 stran. Řešitel doc. Brandštetr (FAST VUT), Rovnaníková – spolupracovnice.
- Struskoalkalické betony. SVÚ č. III-2-3/01.01 E1, E3 (1986-90). Část 1 (1988), 167 stran. Část 2 (1990), 220 stran. Řešitel doc. Brandštetr (FAST VUT), Rovnaníková – spolupracovnice.
- Kompozity na bázi mleté strusky. VÚ č. 5/91, 135 stran. Řešitel prof. Brandštetr (FAST VUT), Rovnaníková – spolupracovnice.
- Kompozity na bázi mleté strusky. Grant č. 5/92, 150 stran. Řešitel prof. Brandštetr (FAST VUT), Rovnaníková – spolupracovnice.
- Analýza využitelnosti a prognóza životnosti stavebních objektů, GA ČR 103/93/2037. Řešitel prof. Teplý (FAST VUT), Rovnaníková – spolupracovnice.
- Predikce karbonatace betonu, GA ČR 103/95/0781. Řešitel Ing. Keršner (FAST VUT), Rovnaníková – spolupracovnice.
- Diagnostika koroze železobetonových konstrukcí, GA ČR 103/95/1377. Řešitel doc. Drochytka (FAST VUT), Rovnaníková – spolupracovnice.
- Obnova ochranné funkce cementového tmelu železobetonových konstrukcích, GA ČR 103/97/0180. Řešitelka Rovnaníková.
- Fyzikální metody sledování a interpretace hydratačních procesů v betonu, GA ČR 103/99/0024. Řešitel prof. Černý (FSv ČVUT), Rovnaníková – spoluřešitelka.
- Analýza vlastností vláknových kompozitů při namáhání vysokými teplotami, vlhkostí a mechanicky“, GA ČR 103/00/0021. Řešitel prof. Toman (FSv ČVUT), Rovnaníková – spoluřešitelka.
- Transport solí pórovou strukturou betonu a podmínky vzniku eflorescentů na jeho povrchu, GA ČR 103/00/0607. Řešitel Ing. Bauer (REAT), Rovnaníková – spoluřešitelka.
- Centrum aplikací nekovových vláken do stavebních hmot a jiných výrobků, MPO-CENTRA reg. Č. FB-C3/26. Řešitel VÚSTAH, a.s., spoluřešitel prof. Melcher (FAST VUT) Rovnaníková – spolupracovnice.
- Vývoj směsí pro obnovu omítek historických staveb a studium jejich vlastností. GA ČR 103/02/1081. Řešitelka Rovnaníková.
- Studium vlastností modifikované sádry a analýza jejího použití v obvodových pláštích budov. GA ČR 103/03/0006. Řešitel prof. Černý (FSv ČVUT), Rovnaníková – spoluřešitelka.
- Komplexní spolehlivostní model předpovědi životnosti betonu. Grant GA ČR 103/03/1350. Řešitel prof. Bittnar (FSv ČVUT), spoluřešitel Ing. Keršner (FAST VUT), Rovnaníková – spolupracovnice.
- Korozní odolnost alternativních kovových materiálů pro výztuže v betonu, GA ČR 103/02/0282. Řešitel prof. Novák (VŠCHT), Rovnaníková – spoluřešitelka.
- Výzkum a vývoj nových materiálů z odpadních surovin a zajištění jejich trvanlivosti ve stavebních konstrukcích, VVZ CEZ J22/98: 261100008, řešitel prof. Drochytka (FAST VUT), dílčí téma Zpracování vysokopecních a ocelářských strusek – spolupracovnice Rovnaníková.
- Výzkum a posouzení kompatibility nových omítek s historickými omítkami a zdivem, POSTDOC. Řešitel Ing. Válek, Rovnaníková - garant.
- Korozní odolnost betonů s vysokým obsahem druhotných surovin. Grant dvoustranné spolupráce s TU Opole, prof. Grzeczszyk, Rovnaníková – řešitelky.

- Analýza vlastností alkalicky aktivovaných alumosilikátových materiálů namáhaných vysokými teplotami. GA ČR 103/04/0139. Řešitel prof. Toman (FSv ČVUT), Rovnaníková – spoluřešitelka.

Pedagogická činnost

V současné době vyučuje:

- v magisterském studijním programu
 - Stavební chemie – 1. ročník všeobecný
 - Ekologie ve stavebnictví – 5. ročník M
 - Technologie sanace (1/3) – 5. ročník M
 - Stavební chemie I a II v distanční formě studia
- v doktorském studijním programu
 - Sanace vlhkosti a tepelně technické problémy (1/2) – obor M
 - Chemie ve stavebnictví – obor K a V

Autorka vedla 23 diplomových prací, je školitelkou 5 doktorandů, 1 doktorandka úspěšně obhájila v roce 2003. Je členkou oborové pedagogické rady magisterského studia na oboru M, členkou oborové pedagogické komise na oboru K. Od roku 1998 je členkou oborové komise doktorského postgraduálního studia oboru Fyzikální a stavebně materiálové inženýrství a od roku 2003 její místopředsedkyní. Je členkou zkušební komise postgraduálního doktorského studia stejného oboru pro státní doktorské zkoušky a obhajoby disertačních prací. Od roku 2001 je členkou komise pro státní doktorské zkoušky a obhajoby disertačních prací pro obor Fyzikální a materiálové inženýrství (jmenovaná MŠMT) na FSv ČVUT Praha.

KONCEPCE DALŠÍ AUTORČINY VĚDECKÉ A PEDAGOGICKÉ ČINNOSTI

Autorka předpokládá, že se ve vědecko výzkumné a odborné činnosti bude věnovat zejména třem oblastem:

- Historickým pojivům – zkoumání příčin dlouhodobé životnosti vápenných malt a omítek historických staveb, které pocházejí z období středověku a dosud mají zachovány pojivé vlastnosti a přes zhoršené životní prostředí minulého století jsou minimálně degradovány. V rámci zkoumání složení historických pojiv bude další výzkum zaměřen na formulaci technologicky kompatibilních opravných zdících a spárovacích malt a omítek pro opravy architektonického dědictví.
- Vývoji pojiv na bázi druhotných surovin. Při vývoji těchto pojiv bude věnována pozornost vyšetření chemického a mineralogického složení zatvrdlého pojiva, zkoumání stability pojiv v plynných i kapalných korozních prostředích a ve spolupráci s příslušnými odborníky zjišťování mechanických a lomově mechanických vlastností. Zejména se předpokládá alkalická aktivace popílků z vysokoteplotního spalování a dalších odpadních alumosilikátových materiálů.
- Modelování procesu karbonatace se zohledněním přítomnosti vysokopecní strusky a popílků v betonech ze směsných portlandských cementů. Bude modifikován model vytvořený v rámci evropského projektu DuraCrete a model podle Papadakis.

V pedagogické oblasti se chce autorka i nadále věnovat výchově nadaných studentů v postgraduálním studiu, kteří ve svých doktorských disertačních pracích budou přispívat k řešení shora uvedené problematiky. Závěry z vědecko výzkumné práce pak budou uplatňovány ve výběrových předmětech magisterského a zejména doktorského studia.

Při vedení diplomových prací se autorka bude věnovat, stejně jako v minulosti, všem studentům bez rozdílu prospěchu, bude jim ukazovat cesty přístupu k řešení zadaných problémů a učit je orientovat se v dostupné odborné literatuře.

Pro výuku v bakalářských studijních programech plánuje autorka vytvořit nové učební texty v elektronické podobě, které studentům umožní formou otázek a možností výběru odpovědí zhodnotit úroveň svých znalostí před konáním zkoušky. Tato forma se zejména uplatní u kombinované formy studia a u handicapovaných studentů.

Pro komplexnost řešení nastolených oblastí výzkumu bude autorka i nadále spolupracovat s odborníky z Ústavu stavební mechaniky FAST VUT v Brně, kteří řeší lomově mechanické vlastnosti stavebních materiálů a problémy rizikového inženýrství a dále s katedrou mechaniky FSv ČVUT v Praze, kde jsou na vysoké vědecké úrovni řešeny problémy transportních jevů ve stavebních materiálech. V problematice historických pojiv autorka předpokládá prohloubení spolupráce s ÚTAM AV Praha a Národním památkovým ústavem Praha.

Předpokládá, že bude v řešení uvedených oblastí i nadále rozvíjet spolupráci na mezinárodní úrovni, a to zejména s TU Opole (Polsko) a TU Florencie (Itálie). Připravuje se spolupráce s CU v Leuvenu (Belgie).

ABSTRACT

The main topic of the first part of the text deals with structural binders from the oldest history to the prospects of their further development.

In the distant past, the non-hydraulic lime was used as the main structural binder, very often with the addition of reactive materials called pozzolanas. These natural or technogeneous materials contain reactive components of SiO_2 and aluminosilicates that react with calcium hydroxide at ambient temperature. Volcanic rocks, e.g. tuffs or finely ground burnt clays were the most frequently used materials.

Ancient binders have preserved until the present time. These binders are the main cause of the preservation of complete structures or their parts. Their nature was carefully studied so that these binders might be imitated. The investigation of these binders showed that the depolymerisation of silicate or aluminosilicate structural networks occurs when lime reacts with pozzolana under the formation of anions that subsequently react with calcium (II) ions from lime, and form amorphous CSH gels. Furthermore, the binder contains extremely fine crystalline calcite and hydrated calcium aluminosilicates. In mixtures with pozzolana, the present alkalis become components of (Na,K)CSAH gels denoted as precursors of zeolites. In ancient kinds of mortar, latent crystalline zeolitic phases of analcime and philipsite type were found.

The pozzolanas used at the present time for the lime mortar are produced by the burning of clays of a defined composition, most frequently of kaolin. Amorphous porous products form during burning. The addition of these products to mortar or to concrete increases strength, resistance to the aggressive environment and permeability of water vapour.

The technology of the structural binder production was significantly improved in the course of the 20th century. Portland cement became the main structural binder. The current trend is to save energies and primary sources of raw materials in the production of binders. Secondary raw materials as alternative sources of fuels and the silicate waste began to be utilised to a large extent. The granulated blast furnace slag and the power plant fly ash as a product of the high-temperature combustion replacing some portion of a highly energy-consuming clinker in cement were primarily utilised. Fly ash as a product of the fluid combustion and the by-product energogypsum are also used in the production of cement as additives for setting-time of cement.

Clinker-free binders based on the alkali activation of aluminosilicate materials, especially blast furnace granulated slag form a significant domain. The reaction between slag and the alkali activator leads to the formation of CSH phases, $(\text{C,M})_4\text{AH}_{13}$, hydrocalcite-like phases, strätlingite (C_2ASH_8) and the products of the zeolitic character. These binders together with aggregate form high-strength, corrosion-resistant, impermeable and frost-resistant forms of concrete. If such kinds of concrete are exposed to high temperatures above 1000°C , sintering and the increase of the compression strength up to twice as much as the original strength occur.

The development trends in the production of binders are, in particular, focused on:

- the production of concrete type of a lower energy consumption (Green Concrete)
- consistent utilisation of secondary raw materials,
- the development of new technologies of processing cement composites (additives, Macro-Defect-Free Composites, High-Performance Concrete),
- Integrated Product Policy (IPP), i.e. the new approach to the protection of the environment that will include the whole existence of a product from its design, through its production, life cycle as far as the disposal, then “from the cradle to the grave”. The whole existence of a product must be environmentally friendly.

The second part of the text presents a selection of publications, a survey of the grants that have been solved and are currently being solved. Survey of teaching activities is also provided.