



ČESKÁ SPOLEČNOST PRO VÝZKUM A VYUŽITÍ JÍLŮ

Česká společnost pro výzkum a využití jílů (ČSVVJ), ustavená v roce 1998, sdružuje zájemce a stimuluje teoretický i aplikovaný výzkum, vzdělávání a mezinárodní styky v oblasti argilologie. ČSVVJ je pokračováním „Československé národní jílové skupiny“, která byla založena v Československu v roce 1963.

Číslo 59

Květen 2017

SLOVO EDITORA

Vážení přátelé,

tak se nám snad blýská na lepší časy, neboť dnešní číslo Informátora má opět bohatý obsah. Mimo tradičních rubrik přináší i velmi zajímavý článek o metakaolinu a abstrakty ze zeolitového semináře.

Chystáme 20. jílovou konferenci, která bude spojena se zeolitovým seminářem. Konference bude pouze jednodenní a bez exkurze. Je to dáno především předpokládaným počtem účastníků. Druhý cirkulář bude na webu, jinak je součástí dnešního čísla.

Protože končí volební období výboru Společnosti, tak společně s Informátorem dostáváte hlasovací lístky pro novou volbu.

Pokud máte něco zajímavého ze života Vašich pracovišť, či něco převratného z Vašich výzkumů nebo nějakou zajímavost z terénu (třeba i fotografii), neváhejte se s námi i čtenáři podělit.

Na závěr ještě upozorňuji na **uzávěrku podzimního čísla, která je 6. 10. 2017**.

Všechna dosud vyšlá čísla a další informace jsou na webových stránkách Společnosti na adrese: www.czechclaygroup.cz

Závěrem přeji všem čtenářům hezké a klidné léto s mnoha krásnými zážitky i maximální relaxací.

*Martin Šťastný, editor
Rozvojová 269, 165 00 Praha 6
tel.: 233 087 233
e-mail: stastny@gli.cas.cz*

OBSAH PŘEDNÁŠEK Z PODZIMNÍHO SEMINÁŘE

Dne **24. 11. 2016 od 10.40 do 12.15 hod.** pořádala MFF UK Praha ve spolupráci s Českou společností pro výzkum a využití jílů podzimní seminář, který se konal na MFF UK Praha v posluchárně KCHFO, Ke Karlovu 3, 1. suterén. V následujících rádcích přinášíme rozšířené abstrakty přednesených přednášek.

JSOU LOŠTICKÉ POHÁRY ZBAVENY TAJEMSTVÍ?

Martin Šťastný (Geologický ústav AV ČR, v.v.i., Praha), Josef Dudek (ZUŠ Praha 10)

V Lošticích se od počátku 15. do poloviny 16. století vyráběly zajímavé poháry hnědě barvy s povrchem pokrytým puchýřky. Některé z nich pak mají věnec zcela nefunkční oušek na podhrdlí. Z podobného materiálu se vyráběly také hrnce, poklíčky a jiné předměty např. „bota“. Hrnčíři navázali na starší tradice z 11.–12. století. Změny vkusu v polovině 16. století „zlikvidovaly“ loštické hrnčíře a jejich receptury byly zapomenuty. První poháry byly nalezeny v 19. století a od té doby původ puchýřů na pohárech nedá spát celým generacím odborníků. Vše začalo v roce 1874, když stavitel K. Hladiš „chtěje si zahrádu svou v Lošticích náležitě upravit“ nalezl při terénních úpravách „140 podivných nádob“, které rozeslal do nejdůležitějších muzeí Rakousko-Uherska. Ty se tak staly předmětem veřejného zájmu a začaly být vědecky zpracovávány. První zevrubné hodnocení provedl na počátku nového století významný historik umění Walcher von Molthein (1910). Jeho pozorování byla ve střední Evropě citována velmi dlouho a jsou použitelná i v dnešní době.

Mezi válkami věnoval tomuto problému pozornost významný vlastivědný pracovník A. Lang. Své poznatky pak populární formou zveřejnil po 2. světové válce v několika článcích na stránkách vlastivědného časopisu Severní Morava. Vědecky zhodnotila poháry prvně Drobňá (1957) a o deset let později celou produkci nádob s povrchem pokrytým puchýřky v Lošticích, tedy i hrnce a pokličky Měřinský (1969). Jeho třídění je použitelné i dnes a stalo se podkladem poslední klasifikace vypracované Gošem (2007).

Terénní pozorování a archeologické výzkumy prokázaly, že hrnčíři specializovaní na výrobu keramiky „s puchýřky“ pracovali v hrnčířském okrsku, který se rozkládal mezi výchozy grafitu u Svinova, ložiskem kvalitní hlíny v okolí Masnic a středověkým městem Loštice. Hlavní otázkou výzkumu byl výchozí materiál pro výrobu pohárů. Byly analyzovány veškeré suroviny v blízkém okolí. Výdypřítomné spraše v okolí nejsou vhodné pro keramickou výrobu. Hlína z Masnic se také ukázala jako nevhodná, neboť při vypalování na vysokou teplotu se výrobky hroutí. Rtg. analýzou byl v této hlíně identifikován minerál ze skupiny smektitu – montmorillonit, který v tomto procesu hraje negativní roli. Výzkum ukázal, že nevhodnější se zdají hlíny z okolí Ujezda a některé jíly z okolí Svinova. Většinou jsou to hlíny s vysokým obsahem kaolinitu a illitu, s minimálním obsahem jiných jílových minerálů.

K pokusům byla využita jednak žlutá hlína z Újezda a jednak černá hlína z Újezda. Obě dvě jsou si mineralogickým složením podobné, jsou převážně illiticko-kaolinitické. Z nich byly připraveny vzorky s různými příměsemi a pokusně vypáleny jedním z autorů. Původním studovaným materiélem pro srovnání byly úlomky loštické keramiky typu (010). To jsou poháry s oušky na podhrdlí.

První data o minerálním složení loštických pohárů přinesly Měchurová et al. (1992), kteří na základě rtg. fázové analýzy rozpoznali minerály obsažené v základní hmotě pohárů. Identifikovali vysokoteplotní minerální fáze, z čehož usoudili na velmi vysoké teploty výpalu. Mezi identifikovanými minerály byl cristobalit, u kterého se předpokládala teplota vzniku 1470 °C. Dnes víme, že cristobalit začíná vznikat při teplotě 1050 °C. V poslední době se pokusili vysvetlit technologii výroby loštických pohárů na základě chemických a mikrochemických analýz Gregerová et al. (2010). Mimo analyzování materie pohárů dělali experimentální výpaly s hlínou nalezenou v archeologických nálezech v hrnčířské dílně, ale ty nevedly ke vzniku puchýřků (Gregerová et al. 2010). Na základě zkušeností R. Škody přimíchali do hlíny minerál granát almandinového typu. Až po přidání almandinu získali kýžený efekt bublinek. Tato teorie nás neuspokojovala. Našimi pokusy jsme prokázali, že pece se čtyřmi vstupními otvory jsou velmi vhodné pro dosažení teplot vyšších než 1200 °C, které jsou pro puchýřkovitý efekt nutné.

Bыlo zjištěno, že základní hmota loštické keramiky typu (010) je tvořena cordieritem, konkrétně jeho vysokoteplotní modifikací indialitem, mullitem, cristobalitem a křemenem. Zcela chybí kaolinit, který byl přeměněn na amorfní metakaolin (teplota 550 °C), chybí i za vysokých teplot rozkládající se illit. Toto složení indikuje vysokou

teplotu výpalu, neboť cristobalit se začíná vytvářet při teplotě okolo 1000 °C a mullit vzniká při teplotách nad 1100 °C. Na základě tohoto složení lze předpokládat, že teplota výpalu se pohybovala okolo 1200 °C. Střep pokusných výpalů má obdobné složení, převládá mullit, cordierit, křemen, cristobalit a anortit. Otázkou je složení oněch puchýřků.

Goš (2007) na základě prací Gregerové et al. (2005) a dále Čopjaková et al. (2008), Gregerová et al. (2010) uvádějí, že na základě mikrochemického studia loštické keramiky (010) nebylo potvrzeno, že puchýře vznikaly v souvislosti se sloučeninami železa, protože nebyl zjištěn mezi vzniklými spinelidy magnetit ani žádný jiný oxid železa. Vyseparovali jsme z pokusných výpalů s granátem a pyritem vzniklé puchýřky a analyzovali je. Na základě rtg. studia puchýřků jsme zjistili, že u granátu skutečně nevzniká žádný oxid železa, ale u pyritu vzniká hematit. Na skenovacím mikroskopu jsme také studovali povrchovou morfologii krystalů blublin a morfologie je zcela odlišná.

Výsledky studia experimentálních výpalů potvrdily shodu mezi fázemi identifikovanými v pohárech i replikách (např. výskyt vysokoteplotního polymorfu indialitu). Nepodařilo se identifikovat fáze vzniklé termálním rozkladem granátu (Všianský, Gregerová, 2011). U experimentů s pyritem naopak byl zjištěn magnetit, který může vzniknout při termálním rozkladu pyritu. Síra nemohla být zjištěna, neboť vytékala. Domníváme se, že původní myšlenka je správná, že žlutá hlína železnice využívá všem požadavkům bez nutnosti dovážet některou ze surovin z širšího či vzdáleného okolí.

Jaké by mohly být zdroje granátu pro přimíchávání do suroviny pro výrobu pohárů? Nejbližší lokalitu, kde by mohl být granát získáván je JZ od obce Líšnice, kde se vyskytuje pruh dvojslídých svorů, který by měl být s obsahem granátů. Z této lokality byl odebrán vzorek, který po rozdrcení a separaci však neobsahoval žádné granaty. Tato lokalita by přicházela v úvahu, neboť je nedaleko. Idea, že granaty byly dopravovány ze vzdálenějších oblastí, není příliš reálná. V dřívějších dobách se většinou využívaly blízké zdroje, aby výroba byla energeticky co nejméně náročná. Dalšími nejbližšími lokalitami s horninami obsahujícími granát je např. Petrov nad Desnou, kde v blízkosti vystupuje tzv. granátová skála tvořená granatickými svory s granátem bohatým almandinovou složkou. Další lokality jsou v okolí Jeseníku. Všechny tyto lokality jsou už poměrně vzdálené. Všianský a Gregerová (2011) předpokládají využití druhotných nálezů granátů, které byly ze vzdálenějších lokalit dopraveny a nalezeny jako součást aluviaálních sedimentů. Toto tvrzení by bylo třeba ověřit pomocí sond v nivních sedimentech řeky Moravy

Výzkum ukázal, že keramika s povrchem pokrytým puchýřky byla ve vrcholném středověku s největší pravděpodobností, hraničící téměř s jistotou, vyráběna z místní hlíny zvané železnice, která obsahuje veškeré ingredience nutné ke vzniku slinutého středu pokrytého „puchýřky“. Lze předpokládat, že byly využívány místní suroviny bez transportu některých složek z bližšího či vzdálenějšího okolí.

Výzkum tajemství oněch krásných či ošklivých puchýrků, které tolik lákaly středověké myslitele, se nám podařilo, věříme, že definitivně, osvětlit. Musíme se v úctě sklonit před jejich umem, neboť jen svou intuicí dokázali před pěti sty lety vyrobit nádoby špičkové úrovňě, které si nalezly čestné místo na trzích střední Evropy.

Literatura:

- Čopjaková R., Goš V., Gregerová M., Hložek M., Škoda R. (2008): Chemické složení loštických pohárů. *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku* **15**, 76-85.
- Drobňá Z. (1957): Loštické poháry. K otázce jejich datování a slohového zařazení. *Český lid*, **XLIV**, 98-110.
- Gregerová M., Čopjaková R., Beránková V., Bibr P., Goš V., Hanuláková D., Hložek M., Holubová-Závodná B., Kristová L., Kuljovská Z., Macháček J., Mazuch M., Škoda R., Všianský D. (2010): Petroarcheologie a geochemie loštické hrnčiny. In *Petroarcheologie keramiky v historické minulosti Moravy a Slezska*. Brno: Masarykova Univerzita Brno, 153-174.
- Goš V. (2007): *Loštice město středověkých hrnčířů*. S. 126, Slezská univerzita v Opavě.
- Měchurová Z., Zalabák P., Čejka J. (1992): Příspěvek k problematice tzv. loštické keramiky v souvislosti s rentgenovou fázovou analýzou vzorků z Konůvek (okr. Vyškov). *Acta Musei Moraviae - Časopis moravského muzea*, **77**, 201-215.
- Měřínský Z. (1969): Přehled typů loštické keramiky, jejich vývoj a datování. *Vlastivědný věstník moravský*, **21**, 89-105.
- von Molthein A. W. (1910): Beiträge zur Geschichte mittelalterliches Keramik. *Kunst und Kunsthandwerk*, **13**, 73-80, 404-417.
- Všianský D., Gregerová M. (2011a): Metodologie studia historické i současné keramiky. *Keramický zpravodaj*, **27**, 18-25.
- Všianský D., Gregerová M. (2011b): Metodologie studia historické i recentní keramiky. 13th International conference: Ecology and new building materials and products, 1-10.

TEKTONICKÉ JÍLY A JÍLOVÉ MINERÁLY

Martin Šťastný, Miroslav Coubal (*Geologický ústav AV ČR, v.v.i., Praha*)

Horniny, které vznikají na zlomech, popsal poprvé Lapworth (1885). Následně vzniklo mnoho prací, které popisují a klasifikují tyto horniny (např. Waters, Campbell, 1935; Hsu, 1955; Christie 1960, 1963; Reed, 1964; Spry, 1969; Higgins, 1971, Sibson, 1977). V roce 1984 vyšla zásadní práce Wise et al., která shrnula terminologii hornin vznikajících na zlomech. Autoři vyčlenili tři základní typy hornin, a to kataklasity, mylonity a metamorfované horniny. Mezi kataklasity patří vedle brekcí a mikobrekcí i dislokační jíly.

| | | non-foliated | foliated |
|-------------------------------------|------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| >30% large clasts >2 mm | 75-100% large clasts (>2 mm) | fault breccia | cackle breccia |
| | 60-75% large clasts (>2 mm) | | mosaic breccia |
| | 30-60% large clasts (>2 mm) | | chaotic breccia |
| incohesive ¹ | | fault gouge | |
| <30% large clasts >2 mm cohesive | glass or devitrified glass | pseudotachylite | |
| | 0-50% matrix (<0.1 mm) | protocataclasite | protomylonite |
| | 50-90% matrix (<0.1 mm) | (meso)cataclasite | (meso)mylonite |
| | 90-100% matrix (<0.1 mm) | ultracataclasite | ultramylonite |
| | pronounced grain growth | | blastomylonite ² |

¹incohesive at present outcrop

²some blastomylonites have >30% large porphyroclasts

Obr. 1 Klasifikace hornin vznikajících na zlomech podle Sibsona (1977) revidovaná Woodcockem a Mortem (2008).

Tyto jíly jsou typickým produktem vznikajícím na zlomových plochách. Teprve v poslední době je více studována otázka autigenních minerálů jako klíče k pochopení mechaniky křehké tektoniky a procesů na zlomových zónách. Ve světě jsou dislokační jíly podrobně po stránce mineralogické studovány již dlouhou řadu let (např. Wu et al., 1975; Wu, 1978; Riedmüller, 1978; Solum et al., 2005; Schleicher et al., 2006; Uysal et al. 2006; Hashimoto et al. 2007 a další). Avšak první pokus o studium novotvořených minerálů udělali Vrolijk a van der Pluijm (1999). Předpokládali, že jde o jemnozrnné nízkoteplotní jíly, které jsou produktem drcení. Většinou se předpokládalo, že hlavním procesem je illitizace smektitu. Nové práce vedly k uznání i jiných procesů. Jílům jako takovým bylo věnováno mnoho prací (Meunier, 2005, Bergaya et al., 2012), ale systematické studium transformace a neomineralizace nebylo prováděno. Křehké poruchy byly studovány od 19. stol., ale poznání, že růst autigenních minerálů může být základním procesem ve vývoji zlomů v křehkém procesu je relativně nedávný (např. Vrolijk a van der Pluijm, 1999; van der Pluijm, 2011 aj.). Začala se věnovat i pozornost určení jejich stáří (např. Parry et al. 2001; Zwingmann a Mancktelow, 2004; Zwingmann et al., 2004). Přesto i v současnosti, kdy je věnována velká pozornost tektonickým jílům (např. Haines, van der Pluijm, 2008, 2010; Solum, van der Pluijm, 2009; Zwingmann et al., 2010; Bautier et al., 2011; Surace et al., 2011) je stále mimo zřetel neoformace. Zatím nejrozsáhlejším přehledem je publikace Haines, van der Pluijm (2012). Na mineralogické složení hornin tohoto typu u nás poukázali Hájek a Šťastný (2007). Publikovali výsledky základního studia zmíněných hornin na lokalitě Pražský zlom v Hloubětině. Data tohoto výzkumu byla publikována poprvé u nás.

Tektonické jíly a jejich mineralogie byly demonstrovány na výsledcích mineralogického studia dislokačních hornin, jednoho z nejvýznam-

nějších zlomů na území České republiky, lužického zlomu.

Vzorky byly odebrány na lokalitě Doubice. Horniny v okolí zlomu jsou tvořeny:

Křídové sedimenty – jsou reprezentovány jednotvárnými středně zrnitými kvádrovými pískovci. Podél lužické poruchy byly křídové pískovce vztyčeny a jeví zřetelné prokřemenění, způsobené hydrotermálními roztoky. Vyznačuje se hojnými křemennými žilkami.

Jurské sedimenty – byly objeveny při lužickém zlomu nejméně na 6-ti místech, mimo jiné i u Doubice. Nejlépe byly odkryty v dnes opuštěných lomech. Na výskytu u Doubice byl proveden podrobný výzkum. V našem případě jsou reprezentovány pískovci různé zrnitosti.

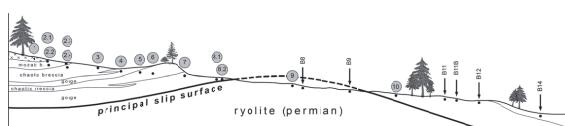
Permské sedimenty – vyskytuje se na 4 lokalitách, mimo jiné i u Doubice. Jsou reprezentovány především ryolity a jejich zvětralými ekvivalenty.

Rumburská žula – vyskytuje se v okolí Doubice ve dvou variantách, a to jako drobně až středně zrnitá žula a jako hrubě zrnitá žula. Většinou je modravě šedé barvy podle barvy křemene. Je tvořena křemenem (25–35 %), mikroklinem (20–45 %), albitem (15–45 %), biotitem (6–14 %), muskovitem (okolo 1 %), apatitem, zirkonem a monazitem, popř. rutilem.

Tektonické jíly vznikly na ploše nasunutí rumburské žuly na sedimenty křídy. V jádru zlomu se vyskytují tektonické jíly a směrem od jádra se vyskytují různé druhy tektonických brekcí.

Kataklastický materiál s jílovou matrix je tvořen křemencem, živci a jílovými minerály (převážně illit, v menší míře kaolinit a smektit), mimo to se objevuje ještě sádrovec. V jádru zlomu se v dislokačním jílu vyskytuje pouze illit, ostatní minerály byly přeměněny na illit.

Minerální složení **tektonických brekcí a jílů** se v průběhu zlomové linie mění. Blíže ke granitu převládá z jílových minerálů illit doprovázený smektitem (Obr. 2), jehož obsah klesá od vzorku 2.1 ke vzorku 5 a malou příměsí kaolinitu, která naopak roste od vzorku 2.1 až ke vzorku 5. Z nejílových minerálů se vyskytuje křemen, K-zívce a plagioklas, místy pak se objeví sádrovec (rosté od vzorku 2.1 do vzorku 5) či amfibol. Od vzorku 6 do vzorku 8 převládá illit, kaolinit se objevuje jen akcesoricky a zcela mizí u vzorku 8.1 (Obr. 2), monominerální je i vzorek 10 a 11, pouze se smektitem. U vzorku 11a se objevuje příměs křemene (možná splavená z křídových sedimentů). Vzorek 12 odpovídá vzorkům 6–8, kdy je převažující illit doprovázen kaolinitem. Konečně u vzorku 14 je převládající illit doprovázen kaolinitem a také smektitem, tak jako u vzorků 2–5. Liší se však nepřítomností živců.



Obr. 2 Studovaný profil na lokalitě Doubice

Jílová frakce hornin byla studována podrobněji, byly definovány vyskytující se polytypy illitu a K-Ar metodou na 1Md polytypu illitu bylo stanoveno stáří pohybu na zlomu.

Literatura:

- Buatier M., Chauvet A., Kanitpanyacharoen Wenk, H., Ritz J., Jolivet M. (2011): Origin and behavior of clay minerals in the Bogd fault gouge, Mongolia. *Journal of Structural Geology*, **34**, 77-90.
- Haines S., van der Pluijm B. (2008): Clay quantification and Ar-Ar dating of synthetic and natural gouge: application to the Miocene Sierra Mazatlán detachment fault, Sonora, Mexico. *Journal of Structural Geology* **30**, 525-538.
- Haines S., van der Pluijm B. (2010): Dating the detachment fault system of the Ruby Mountains, Nevada: significance for the kinematics of low-angle normal faults. *Tectonics* **29**, doi:10.1029/2009TC002552.
- Haines S., van der Pluijm B. (2012): Patterns of mineral transformations in clay gouge, with examples from low-angle normal fault rocks in the western USA. *Journal of Structural Geology*, **43**, 2-32.
- Hájek P., Šťastný M. (2007): Mineralogy of the clay gouge on Prague fault. *Acta Geodyn. Geomater.*, **4**, 3(147), 33-37.
- Hashimoto Y., Ujiie K., Sakaguchi A., Tanaka H. (2007) Characteristics and implication of clay minerals in the northern and southern parts of the Chelung-pu fault, Taiwan. *Tectonophysics*, **443**, 233-242.
- Higgins M. W. (1971): *Cataclastic rocks*. Prof. Paper U.S. geol. Survey, 687.
- Hsu K. J. (1955): Granulites and mylonites of the region about Cucamonga and San Antonio Canyons, San Gabriel Mountains, California. *Univ. Calif. Publs. geol. Sci.*, **30**, 223-352.
- Christie J. M. (1960): Mylonitic rocks of the Moine Thrust Zone in the Assynt district, north-west Scotland. *Trans. geol. Soc. Edinb.* **18**, 79-93.
- Christie J. M. (1963): The Moine Thrust in the Assynt region, north-west Scotland. *Univ. Calif. Publs. geol. Sci.* **40**, 345-419.
- Lapworth C. (1885): The highland controversy on British; its causes, course and consequence. *Nature, Lond.* **32**, 558-559.
- Parry W. T., Bunds M. P., Bruhn R. L., Hall C. M., Murphy J. M. (2001): Mineralogy, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating and apatite fission track dating of rocks along the Castle Mountain fault, Alaska. *Tectonophysics*, **337**, 149-172.
- Reed J. J. (1964): Mylonites, cataclasites and associated rocks along the Alpine Fault, South Island New Zealand. *N.Z. Jl. Geol. Geophys.* **7**, 645-684.
- Riedmüller G. (1978): Neoformations and Transformations of Clay Minerals in Tectonic Shear Zones. – *Tscherm. Min. Petr. Mitt.*, Wien.

- Schleicher A. M., Warr L. N., van der Pluijm B. A. (2006): Fluid focusing and back-reactions in the uplifted shoulder of the Rhine rift system: a clay mineral study along the Schauenburg Fault zone (Heidelberg, Germany). *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.)*, **95**, 19-33.
- Sibson R. H. (1977): Fault rocks and fault mechanisms. *J. Geol. Soc. Lond.*, **133**, 191-213.
- Solum J. G., van der Pluijm B. A., Peacor D. R. (2005): Neocrystallization, fabrics and age of clay minerals from an exposure of the Moab Fault, Utah. *Journal of Structural geology*, **27**, 1563-1576.
- Solum J., van der Pluijm B. (2009): Quantification of fabrics in clay gouge from the Carboneras fault, Spain and implications for fault behavior. *Tectonophysics*, **475**, 554-562.
- Spry A. (1969): *Metamorphic Textures*. Pergamon London.
- Surace I., Clauer N., Thelin P., Pfeifer H.-R. (2011): Structural analysis, clay mineralogy and K-Ar dating of fault gouges from Centovalli Line (Central Alps) for reconstruction of their recent activity. *Tectonophysics*, **510**, 80-93.
- Uysal I. T., Mutku H., Altunel E., Karabacak V., Golding S.D. (2006): Clay mineralogical and isotopic (K-Ar, $\delta^{18}\text{O}$, δD) constraints on the evolution of the North Anatolian Fault Zone, Turkey. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, **243**, 181-194.
- van der Pluijm B.A. (2011): Natural fault lubricants. *Nature Geoscience* **4**, 217-218.
- Vrolijk P., van der Pluijm B.A. (1999): Clay gouge. *Journal of Structural geology*, **21**, 1039-1048.
- Waters A. C., Campbell C. D. (1935): Mylonites from the San Andreas Fault zone. *Am. J. Sci.*, **29**, 473-503.
- Woodcock N. H. and Mort K. (2008): Classification of fault breccias and related fault rocks. *Geol. Mag.* **145** (3), 435-440.
- Wu F. T. (1978): Mineralogy and physical nature of clay gouge. *Pageoph.*, **116**, 655-689.
- Wu F. T., Blatter L., Roberson H. (1975): Clay gouges in the San Andreas fault system and their possible implications. *Pageoph.*, **113**, 87-95.
- Zwingmann H., Mancktelow N. (2004): Timing of Alpine Fault gouges. *Earth and Planet. Lett.*, **223**, 415-425.
- Zwingmann H., Offler R., Wilson T., Cox S. F. (2004): K-Ar dating of fault gouge in the northern Sydney basin, NSW, Australia - implications for the breakup of Gondwana. *Journal of Structural geology*, **26**, 2285-2295.
- Zwingmann H., Mancktelow Antognini M., Lucchini R. (2010): Dating of shallow faults: new constraints from the AlpTransit tunnel site (Switzerland). *Geology*, **38**, 487-490.

JARNÍ SEMINÁŘ

Česká společnost pro výzkum a využití jílů pořádá opět ve spolupráci s katedrou chemické

fyziky a optiky Matematicko-fyzikální fakulty UK jarní seminář, který se uskuteční ve čtvrtek dne 1. 6. 2017 v 9.30 hod. na MFF UK, Ke Karlovu 3, 121 16 Praha 2 v posluchárně KCHFO, 1. suterén.

Program semináře:

1. **RNDr. Anna Žigová, CSc. (Geologický ústav AV ČR, v.v.i.)**

Charakteristika mineralogického složení vybraných půdních typů z referenčních tříd LUVISOLY a KAMBISOLY

2. **RNDr. Petr Kovář, Ph.D. (Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta)**

Teoretické studium absorbce thiabendazolu na montmorillonitu pro dekontaminaci vod.

SEMINÁŘ ZEOLITY 2016 NA VŠCHT

Dne 7. září roku 2016 byl na půdě VŠCHT uspořádán seminář s názvem Zeolity na VŠCHT 2016. Pozváni byli členové České zeolitové skupiny a České společnosti pro výzkum a využití jílů. Akce se zúčastnilo 22 přednášejících a zájemců, kteří přišli do styku s přírodními či syntetickými zeolity. Přípitkem jsme rovněž pochlubili bývalému předsedovi České zeolitové skupiny Ing. Rudolfo Rychlému, CSc. k jeho 70. narozeninám.

V následujícím přehledu jsou uvedeny abstrakty příspěvků účastníků semináře.

PŘEDSTAVENÍ FIRMY ZEOCEM, a.s.

Martin Dzivák, Pavel Kobulej
Zeocem, a.s. Bystré, Slovensko

Zeocem, a.s. (SR) je dynamicky sa rozvíjajúca spoločnosť s 60-ročnými skúsenosťami so spracovaním prírodných materiálov. Hlavným výrobným programom spoločnosti v súčasnosti je **tažba a spracovanie prírodného zeolitu** a výroba produktov na báze prírodného zeolitu.

Postupným prechodom od výroby stavebných hmôt sa ZEOCEM stal jedným z najvýznamnejších producentov zeolitových výrobkov v Európe.

Výrazným posilnením reklamných aktivít, ako aj postupným zaradzovaním nových certifikovaných produktov do ponuky, sa podarilo stabilizovať a následne prehĺbiť podiel predaja na svetových trhoch a rozšíriť exportné aktivity popri Európe aj o oblasť juhovýchodnej Ázie, strednej a južnej Ameriky. **Jedno z najkvalitnejších ložísk klinoptilolitu** v celosvetovom meradle a starostlivý spôsob jeho spracovania umožňuje ponúkať špičkové produkty.

Zeocem, a.s. má vlastné ložiská vysokokvalitného **prirodného zeolitu** v určených dobývacích priestoroch Nižný Hrabovec a Pusté Čemerné. Zeocem, a.s. má taktiež vlastné spracovateľské a výrobné kapacity v lome Nižný Hrabovec a v Bystrom.

Víziou spoločnosti je vybudovať **vyspelú spoločnosť európskej úrovne** a byť spoľahlivým výrobcom, predajcom a dodávateľom výrobkov na báze zeolitu. Pre zabezpečenie dlhodobého trvalo-udržateľného rastu a záväzku zaistenia plnenia požiadaviek a očakávaní zákazníkov sa na trhu s vysokou konkurencieschopnosťou snaží medzi ostatnými konkurentmi vynikať v oblasti **kontinuálnej technologickej optimalizácie a inovácie produktov**.

MOŽNOSTI ČIŠTENÍ ODPADNÍHO VZDUCHU Z CHOVÚ HOSPODÁRSKÝCH ZVÍRAT

Karel Ciahotný

Ústav plynných a pevných palív a ochrany ovzduší,
VŠCHT Praha

Přednáška byla zaměřena na testování různých adsorbentů pro záchyt amoniaku (NH_3) z odpadního vzduchu produkovaného v provozech zemědělské živočišné výroby. Testování adsorbentů bylo prováděno nejdříve v laboratorních podmínkách s použitím modelových směsí plynů. Adsorbenty s dobrou adsorpční kapacitou pro amoniak byly následně testovány také v pilotním měřítku s použitím vzduchu produkovaného ve stáji velkochovu prasnic a vzduchu produkovaného ve velkovýkrmně brojlerů. Adsorbenty saturaované amoniakem byly dále testovány jako vhodné dusíkaté hnojivo. Toto testování bylo prováděno ve VÚRV Praha - Ruzyně. Výsledky laboratorních testů prokázaly, že přírodní zeolit klinoptilolit je vhodným adsorbentem pro záchyt amoniaku z odpadního vzduchu. Adsorpční kapacitu klinoptilolitu pro amoniak je možné zvýšit úpravami pomocí minerálních kyselin až na zhruba trojnásobek. Jako nejvhodnější úprava se osvědčila dvoustupňová úprava kyselinou sírovou a následně kyselinou fosforečnou. Klinoptilolit upravený pomocí minerálních kyselin vykazuje adsorpční kapacitu pro amoniak srovnatelnou s impregnovaným aktivním uhlím vyráběným speciálně pro záchyt amoniaku z plynů. Vliv teploty na průběh adsorpce se nepodařilo jednoznačně prokázat, z většiny výsledků získaných v rozmezí teplot 20–50 °C je však patrný minimální vliv teploty na adsorpční schopnost zeolitu pro NH_3 . Testy adsorpce amoniaku z odpadního vzduchu produkovaného ve velkovýkrmně prasat a velkovýkrmně drůbeže na přírodním a impregnovaném klinoptilolitu potvrzily dosažené laboratorní výsledky i vhodnost dané metody čištění odpadního vzduchu od amoniaku pro provozní měřítko.

Nádobové vegetační pokusy prokázaly, že amoniak adsorbovaný na zeolitu je možno efektivně využít jako zdroj dusíku při pěstování rostlin. Z hlediska dynamiky uvolňování živin byl vhodnější materiál impregnovaný před adsorpcí kyselinou, z něhož byly živiny uvolňovány pomaleji, a dodávány rostlinám postupně po delší úsek vegetačního období.

POUŽITÍ ZEOLITŮ V ZAHRADNICTVÍ

Martin Dubský

Výzkumný ústav Sylva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i., Průhonice

Minerální komponenty (jíly, sprašové hlíny) se v zahradnictví používají při přípravě organických rašelinových substrátů pro úpravu jejich fyzikálních vlastností a zvýšení sorpční kapacity. Používají se v dávkách do 3–10 % obj. (tj. kolem 30–100 kg/m³). Zeolity se vzhledem k vyšší kationtové kapacitě používají v nižších dávkách 15–25 kg/m³, používá se jemná frakce 0,5–1 mm (CEC testovaných zeolitů > 1000 mmol⁺/kg, bentonity 500 mmol⁺/kg, sprašové hlíny 180 mmol⁺/kg).

Při vyšších dávkách minerálních komponentů (10–50 % obj.) se již jedná o substráty s vyšším podílem minerálních komponentů, které mají nízký obsah spalitelných látek (pod 50 %) a odlišné hydrofyzikální vlastnosti (snížený obsah lehce dostupné vody pro rostliny) oproti substrátem organickým. Při přípravě těchto směsí, určených především pro předpěstování sazenic pro mimoprodukční výsadby domácích dřevin, se používají především sprašové hlíny místní provenience.

Zeolity se používají při přípravě speciálních minerálních substrátů, kde se vedle vysoké kationtové kapacity využívá jejich vysoká nasákovost zrna (EN 1097-6). Testované zeolity měly nasákovost zrna 38 % obj., srovnatelnou nasákovost měly spongility, ale výrazně nižší nasákovost měla pemza (9 % obj.) a dcené expandované jíly – liadrein (14 % obj.), hlavní komponenty používané v ČR pro přípravu střešních substrátů a hydroponických substrátů pro pěstování rostlin v interiéru. Pro přípravu střešních substrátů se používá frakce zeolitů 2,5–5 mm v podílu do 10 % obj., pro přípravu hydroponických substrátů pak frakce 2–5 a 3–8 mm v podílu kolem 30 % obj. Zeolity ve frakci 1–2,5 mm se používají pro přípravu trávníkových substrátů v podílu 10 % obj.

V současné době používá slovenské zeolity v ČR pro přípravu organických a trávníkových substrátů jeden výrobce.

ODSTRAŇOVÁNÍ CESIA Z VODNÝCH ROZTOKŮ POMOCÍ ZEOLITŮ

Pavel Kús

Centrum výzkumu Řež, Husinec-Řež 130,
250 68 Řež

V kapalných odpadech z jaderných elektráren se běžně vyskytují radioisotopy cesia a stroncia. Tyto radioisotopy se podílejí ve velké míře na celkovém dávkovém příkonu a proto je dobré tyto kovy separovat. Separace těchto radioisotopů lze provádět pomocí iontové výměny na zeolitech (aluminosilikátech či silikotitanátech).

Cílem této práce je sledování adsorpce neradioaktivních prvků cesia a stroncia v přítomnosti kyseliny borité na přírodním zeolitu – klinoptilolitu, syntetickém geopolyméru na bázi zeolitu A a syntetickém silikotitanátu – Ionsiv. Byly prováděny vsádkové rovnovážné experimenty. V rámci

vsádkových experimentů se sledovala účinnost odstranění kovů v závislosti na různých hodnotách pH. Při vsádkových experimentech byla zjištována i maximální absorpcní kapacita (Langmuirova izoterma) zeolitů vůči cesiu.

Výsledky z experimentů vsádkovým způsobem ukazují možné využití těchto zeolitů pro odstraňování cesia za přítomnosti kyseliny borité. Hodnota pH sorpčních roztoků se liší použitým zeolitem.

Poděkování: Tato práce vznikla za finanční podpory projektu SUSEN CZ.1.05/2.1.00/03.0108, který je realizován v rámci Evropského fondu regionálního rozvoje (ERDF).

SYNTÉZA ZEOLITŮ V GEOPOLYMERECH VYUŽITELNÝCH V AKVAKULTUŘE

David Koloušek¹⁾, Barbora Doušová¹⁾, Pavel Hájek¹⁾, Martina Urbanová-Čubová²⁾, Roman Slavík³⁾

¹⁾VŠCHT Praha; ²⁾ÚMCH Praha; ³⁾UTB Zlín

V přednášce byla diskutována možnost využití zeolitů připravených v matrici geopolymérů, připravených z českých kaolinů. Úpravou poměru $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ základní směsi a její tepelnou úpravou je možno syntetizovat zeolity s různými možnostmi využití.

Zeolity byly testovány při chovu ryb. Velice efektivně totiž vychytávají z vody produkt metabolismu – NH_4^+ kation. Iontová výměna je charakterizována rychlou kinetikou a zároveň vysokou kapacitou, která dosahuje 2–3× vyšších hodnot než je typické pro přírodní zeolity typu klinoptilolitu, a je srovnatelná s fázově čistými syntetickými zeolity typu LTA.

VYUŽITÍ POVRCHOVĚ UPRAVENÝCH A NEUPRAVENÝCH TEKTOSILIKÁTŮ PŘI CHOVU AKVARIJNÍCH RYB – MIKRO-BIOLOGICKÉ ASPEKTY

Kateřina Skleničková¹⁾, Eva Šviráková²⁾, David Koloušek³⁾,

¹⁾Ústav technologie vody a prostředí, VŠCHT Praha; ²⁾Ústav konzervace potravin, VŠCHT Praha;

³⁾Ústav chemie pevných látek, VŠCHT Praha

Tato práce byla věnována charakterizaci tektosilikátových minerálů, a to z hlediska sorpce NH_4^+ z akvarijních vod. Důležitým stanovovaným parametrem byla vzájemná interakce tektosilikátových materiálů a nitrifikaci bakterií.

Byly testovány čtyři tektosilikátové preparáty (klinomangan, MHZ, BBC a geopolymerní zeolit A), dva z nich byly přírodního typu a povrchově neupravené a jeden byl povrchově upravený. Posledním testovaným preparátem byl v laboratoři připravený geopolymerní zeolit A. Všechny sorbenty byly vloženy do vnitřního filtru, přes který cirkulovala akvarijní voda v týdenních cyklech. Žádný z preparátů negativně neovlivnil život ryb. Jediný negativní účinek těchto filtrů byl spojen se zvyšováním pH akvarijní vody díky iontové výměně kationtů alkalických kovů a alkalických zemin během průběhu experimentů. Ze všech testovaných

materiálů se ukázal být nevhodnějším přírodní povrchově upravený tektosilikát klinomangan, který udržoval hodnotu pH vody v optimálním rozmezí hodnot 7,0–7,2. Tento sorbent je možno dlouhodobě používat při filtrace akvarijních vod.

Byla prokázáno, že všechny preparáty snižovaly koncentrace NH_4^+ na hodnotu kolem 1 mg l^{-1} . Z hlediska snižování obsahu amonného kationtu se ukázal být nevhodnější geopolymerní zeolit A. Přestože voda z vodovodního řadu obsahovala 5 mg l^{-1} Na^+ , 21 mg l^{-1} K^+ , 8 mg l^{-1} Mg^{2+} a 50 mg l^{-1} Ca^{2+} , tak afinita všech preparátů byla výrazně posunuta ve směru sorpce NH_4^+ .

Nezanedbatelné při redukci obsahu NH_4^+ bylo působení mikroorganismů, které byly součástí laboratorního biosystému akvária. Hlavními bakteriálními zástupci zde byly zjištěny především β -proteobakterie oxidující amoniak, za pomocí molekulárně biologické metody FISH. Bakterie rodu *Nitrospira* a *Nitrobacter* nebyly ve vzorcích vod z akvária po následné kultivaci zjištěny.

ABSOLUTIZACE ETHANOLU GEOPOLYMERNÍMI ZEOLITY

Eliška Gáliková
VŠCHT Praha

Geopolymerní zeolity (alkalicky aktivované aluminosilikáty) se vyznačují vysokou adsorpční kapacitou vůči polárním adsorbátům. V systému $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{O} - \text{H}_2\text{O}$ byly připraveny produkty alkalické aktivace, které se vyznačovaly vysokou afinitou vůči vodě. Na základě RTG fázové analýzy a měření adsorpčních tepel byly vybrány vzorky, které byly testovány pro absolutizaci alkoholu v azeotropickém bodu. Výsledné koncentrace vody v produktech se u nejlepších vzorků pohybovaly v rozmezí 0,08–0,09 obj.%.

NOVÉ MOŽNOSTI GEOPOLYMERACÍ PRO VÝROBY PODLAHOVÝCH SMĚSÍ A JEJICH OCHRANY

Pavel Hájek¹⁾, David Koloušek²⁾, Martin Vavro³⁾, Kamil Souček³⁾

¹⁾Techfloor s.r.o., hajek@techfloor.cz, ²⁾VŠCHT Praha, ³⁾ÚG AV ČR v.v.i.)

Materiálům připravených na bázi geo-polymerních reakcí je v poslední době celosvětově věnovaná velká pozornost. Představují totiž energeticky méně náročné a vůči životnímu prostředí šetrnější typy v porovnání s materiály založené na cementu. Souhrnně se nazývají též alkalicky aktivované materiály (alkali activated materials). Podstatou těchto směsí je silně aktivní reakce jednotlivých složek v alkalickém prostředí.

Při alkalickém působení vhodných materiálů vznikají tzv. CSH gely s pojivovými účinky. Lze zmínit reakce metakaolinu s vodním sklem a dalšími aditivy v prostředí hydroxidu sodného či draselného, jejichž výsledkem jsou tzv. geocementy. Geocementy jsou považovány za materiály s výhodnými fyzikálními a chemickými vlastnostmi, neboť mohou dosáhnout hodnoty pevnosti v tlaku až k 100 MPa a pevnosti tahu za ohybu až 30 MPa.

V našem případě jde o využití zmíněných reakcí v akrylátovém, respektive cemento-akrylátovém podlahovém systému. V této souvislosti musíme připomenout využití znalostí geopolymerních reakcí pro tvorbu struktur s vysokou odolností vůči mechanickým a dalším vlivům. Geopolymer, lépe řečeno umělý kámen, byl údajně připraven již ve starověku. Bohužel v moderní době geopolymery vystřídaly hlavně cement a jeho směsi. Až v posledních letech se na celém světě snaží lidé najít náhradu za vysoce energeticky náročnou výrobu cementu. Cement se tak postupně nahrazuje odpadními a méně energeticky náročnými surovinami, které vylepšují jeho vlastnosti, a to jak fyzikální, tak chemické.

Ve firmě Techfloor s.r.o. se podařilo připravit ve spolupráci VŠCHT Praha a ÚG AV ČR v.v.i. velmi zajímavou geopolymerní směs s kombinací polymerace cementoakrylátů dosahující pevnosti v tlaku až 75 MPa. Směs je tvořena podstatnou částí křemenem a alitem (repektive hatruritem). Dopravázejí je v malé míře kalcit, portlandit, mulit a polymery akrylátu s hliníkem. Obdobně byl připraven i kompozit se živičnou složkou, čímž se docílilo využití vlastností jak plasticity živice, tak cemento-geopolymerní matrice. Využití těchto hybridních systémů, kde spolu koordinují geopolymerní a polymerní reakce tak ukazují zřejmě budoucí směr inovací úpravy cementových preparátů s organickými polymery tzv. kopolymeraci. V našem případě se jedná o úpravu akrylátových pryskyřic a tzv. bezcementových samonivelačních potěrů s obsahy zeolitů se zajímavými vlastnostmi pro různé antibakteriální a samočisticí vlastnosti.

Zdá se a postupně již byly připraveny s pomocí reakcí metakaolinu kompozity, které lze využít jako ochranné nátěry, nebo prostředky ke konzervaci a zvýšení odolnosti povrchů cementových i jiných materiálů.

Stávající podlahové materiály typu Acrile mají velice významné použití především v průmyslových a zemědělských závodech a jak již bylo zmíněno výše jejich možnou inovací lze získat materiály s dalšími kvalitními vlastnostmi pro další aplikace v těchto prostředích. S touto náplní výrobního programu můžeme doufat, že se nám podaří uspokojit co nejvíce zákazníků a firma se tak bude dále rozvíjet a hledat další zajímavé možnosti na stavebním trhu.

STAV LOKALIT A SBĚRATELSKÝCH AKTIVIT V OBLASTI ČESKÉHO STŘEDOHORÍ A LUŽICKÝCH HOR

Zdenek Dvořák

Skupina amatérských sběratelů (Z. Dvořák, P. Dvořák, M. Radoň, J. Svejkovský, O. Janeček a P. Fuchs) již několik let připravují velkou obrazovou knihu o mineralogii Českého středohorí. Kniha vyjde v září tohoto roku a následovat bude velká výstava minerálů z oblasti vulkanitů Českého středohorí, která se uskuteční v prostorách muzea v Ústí nad Labem, které na realizaci této knihy spolupracuje. Zde se návštěvníci seznámí s historickými muzejními vzorky a také se

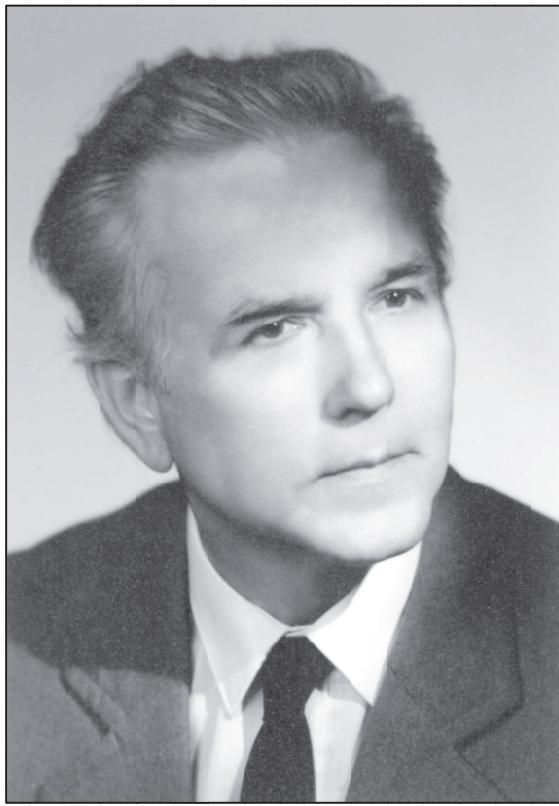
současnými nálezy amatérských sběratelů. Velmi vysoké úrovňě dosáhla fotodokumentace vzorků zeolitů. Velmi kvalitní mikrosnímky dnes vytváří P. Fuchs, J. Sejkora a P. Škácha. Výše uvedený autorský kolektiv již několik let důkladně prohledává staré klasické i nové lokality a může se pochlibit řadou zajímavých nálezů. Jsou to např.: harmotomy z Brně u Ústí nad Labem, pyrity, granaty a opály z Mariánské hory v Ústí nad Labem, heulandity u Sebužína a stilbity u Těchlovice. Další významné nálezy vzácných zeolitů byly popsány L. Hružkem a O. Janečkem z Lužických hor. Jen lokalit s minerály offretit-erionitové řady objevili téměř 30, levynu 20, cowlesitu 9, gismondinu 17. Pro Českou republiku popsali ve spolupráci s Petrem Paulišem tschernichit a garronit. Jejich velkým úspěchem je také objev třetího známého naleziště dachiarditu v Čechách (první v neovulkanitech).

Ná závěr příspěvku Z. Dvořák zdůraznil, že silně chybí profesionální mineralog a analytik se specializací na zeolity. Určování zeolitů je velmi specifické a potřebuje zaníceného odborníka, který by byl schopen provést kvalitní analýzy a dosažené výsledky interpretovat.

Prof. JIŘÍ KONTA ZEMŘEL

Dne 22. února 2017 zemřel ve věku 95 let prof. RNDr. Jiří Konta, DrSc. Prof. Konta se narodil 15.2.1922 ve Žlebech. Po absolvování základní školy nastoupil na reálné gymnázium v Čáslavi. Jeho další studia přerušila 2. světová válka a věznění v koncentračním táboře. Po skončení války studoval geologii na pražské přírodovědecké fakultě UK u prof. Kratochvíla. V roce 1948 zde získal hodnost doktora přírodních věd. V následujících letech i další vědecké tituly. Na přelomu 50. a 60. let měl možnost setkávat se s mnoha uznávanými pracovníky zabývajícími se jíly a jílovými minerály, např. prof. I. I. Ginzburgem v Moskvě, v USA, kde byl na pozvání, s R. E. Grimem, W. D. Kelerem, W. Bradleyem, H. Murrayem a mnoha dalšími, v Německu s prof. E. T. Degensem a dalšími. Stal se tak velmi známým a váženým odborníkem v oblasti argilologie, tedy vědě o jílech. Prof. Konta je považován za zakladatele moderního výzkumu jílových materiálů v Československu i České republice. Jeho působení bylo korunováno mnoha úspěchy. Na základě jeho návrhu byl v 80. letech založen renomovaný časopis Applied Clay Science. V tehdejším Československu byla organizována 5. Konference evropských jílových skupin EUROCLAY85. Na léta 1985–1989 byl zvolen předsedou světové organizace AIPEA (*Association International pour l'Etude des Argiles*), která sdružuje všechny národní skupiny zabývající se jílovou hmotou. Toto je jen zlomek informací o prof. Kontovi. Nejvíce se lze o jeho životě dozvědět z jeho knížky psané v letech 2009–2010, na které jsem měl tu čest s ním spolupracovat, „Slyšet své srdce“, která vyšla v nakladatelství Academia v roce 2011 a která vyšla i v jazyce německém a anglickém. Zachytily zde vzpomínky na dětství prožité s rodiči a sourozenci ve Žlebech, léta strávená na čáslavském gymnáziu, pobyt na

nucených pracích v Německu či věznění v koncentračním táboře Mauthausen během druhé světové války a konečně i na léta vědecké práce. Mimo psaní vědeckých prací se věnoval i malování. Profesor Konta byl člověkem mnoha talentů.



Bibliografie prof. Konty byla souhrnně publikována v roce 2006 v časopise *Acta Geodyn. Geomater.*, Vol. 3, No. 4 (144), 111-123, a to do roku 2005 včetně. Dále pak v Informátoru č. 34, listopad 2006, 3-13. V únoru 2007 v Informátoru č. 35, 2-19 publikoval prof. Konta článek s názvem „Pošetile odvážná a snad poučná úvaha o vlastní bibliografií“ (A foolhardy and perhaps enlightening reflection on my bibliography). Konečně v Informátoru č. 48, květen 2012 byl otiskněn článek o semináři k životnímu jubileu prof. Konty a křtu jeho knihy „Slyšet své srdce“.

Martin Šťastný

JAK DÁL VE STAVEBNICTVÍ, METAKAOLINE?

Martin Vavro

Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Studentská 1768,
708 00 Ostrava - Poruba, martin.vavro@ugn.cas.cz

Abstrakt

Metakaolin představuje technogenní pucolán s širokým průmyslovým využitím, který je v současnosti vyráběn tepelnou úpravou převážně přírodních surovin, zejména kaolingu a kaolinem bohatých jílů nebo jílovců. V oblasti stavebních materiálů lze metakaolin s úspěchem použít,

jakožto aktivní příměs částečně nahrazující portlandský cement nebo vápenný hydrát, zejména pro účely zlepšení mechanických a trvanlivostních vlastností cementového betonu a vápenných omítek nebo malt. Bohužel, i přes přibližně 15-letou tradici jeho průmyslové výroby v České republice, nedosáhl metakaolin ve výrobě stavebních hmot v tuzemsku zásadnějšího praktického uplatnění. Základní příčinou této skutečnosti je zejména konečná cena metakaolingu, která několikanásobně převyšuje cenu běžně používaných hydraulických nebo vzdušných pojiv. Metakaolin je totiž v České republice ve velké míře vyráběn z jemnozrnných plavených kaolinů a v tomto případě je cena produktu ovlivňována především finančně nákladnou úpravou surového kaolingu plavením. V předloženém příspěvku jsou proto diskutovány možné alternativní surovinové zdroje pro výrobu metakaolingu, které by nevyžadovaly jemné plavení vstupní suroviny a nastíněny jsou i možné směry dalšího výzkumu a vývoje metakaolingu ve vztahu k jejich kvalitě, inovaci vlastností, snížení výrobních nákladů a zvýšení dostupnosti cenově přijatelných produktů. Snížení finanční náročnosti průmyslové výroby metakaolingu a rozšíření spektra vyráběných metakaolingu o produkty, u nichž by vysoká pucolánová aktivity nebyla jedinou zajímavou vlastností, by mohlo v konečném důsledku přispět k větší poptávce po metakaolinech také v rámci průmyslu stavebních hmot.

Klíčová slova: metakaolin, pucolány, betony, maltoviny, alternativní suroviny, lehčený metakaolin

Úvod

Termínem pucolány jsou v oblasti technologie betonu a maltovin označovány krémiciité nebo hlinitokrémiciité látky, které jsou samy o sobě chemicky stabilní a nemají žádné nebo mají jen velmi slabé hydraulické vlastnosti. Rozemlety do jemnozrnné formy ovšem vykazují schopnost při běžných teplotách za přítomnosti vody chemicky reagovat s hydroxidem vápenatým za tvorby nerozpustných sloučenin s významnými pojivými vlastnostmi (ASTM 2015). Pucolánovou aktivitou se vyznačuje řada látek přírodního nebo technogenního původu, které obsahují jednak amorfni oxid krémiciity, ale také reaktivní hlinitany a/nebo bezvodé hlinitokrémiciity. Mezi přírodní pucolány, jejichž využívání pro výrobu hydraulických maltovin je známo již z antického Říma (Bárta, 1961), lze zařadit především některé vulkanické popely a tufy (pozzolano, tras), tufty, drcenou pemzu či perlit, případně některé sedimenty ze skupiny organogenních silicítů jako diatomity nebo spongolity. Uměle vzniklé látkami s pucolánovým charakterem jsou jednak různé typy popílků a popelů jako například suché úletové popílky ze spalování uhlí, popel z dřevní hmoty, slámy nebo z rýžových slupek (Payá et al., 2001) a dále také krémiciité úlety (mikrosiliká) nebo vypálené a následně mletím upravené jílovité horniny (mletý keramický střep, pálené kaoliny a jíly) či kalcinovaný bauxit.

Mezi technogenní pucolány, jejichž výzkumu a praktickému využití ve stavebnictví je, zejména v posledních přibližně 20–25 letech, věnována značná pozornost, patří také metakaoliny. Počátky aplikace metakaolingu v průmyslu stavebních hmot jsou však daleko staršího data a spadají již do první poloviny 60. let minulého století (1962), kdy byly betony s přídavkem metakaolingu poprvé použity při stavbě přehrady Jupiá na řece Paraná v Brazílii

(Moodi et al., 2011). Důvodem pro uplatnění metakaolinu při výrobě stavebních hmot je jeho prokázaný příznivý vliv na výsledné fyzikálně-mechanické a trvanlivostní vlastnosti betonů a maltovin. Aplikací metakaolinu zároveň dochází k úspoře spotřeby cementu, jehož výroba je energeticky náročná a má značné ekologické dopady (Sabir et al., 2001).

Díky pucolánovým vlastnostem metakaolinu dochází při hydrataci k reakci jeho aktivních složek s hydroxidem vápenatým (portlanditem), vznikajícím jako produkt hydratace cementu. Tato reakce vede k tvorbě pojivových fází, především C-S-H gelů, C_4AH_{13} , C_3AH_6 a C_2ASH_8 (de Silva, Glasser, 1993; Bindiganavile, Banthia, 2001). Jak vyplývá z řady publikovaných výzkumných prací, použitím metakaolinu dochází ke zjemnění pórové struktury cementového tmele (Ambroise et al., 1994; Khatib, Wild, 1996) a s tím souvisejícímu snížení propustnosti betonu a rychlosti pronikání vody a agresivních roztoků – síranů, chloridů a některých kyselin, což vede ke zvýšení chemické odolnosti betonu (viz např. Khatib, Wild, 1998; Boddy et al., 2001; Gruber et al., 2001; Roy et al., 2001; Ding, Li, 2002; Courard et al., 2003; Khatib, Clay, 2004). Zvýšení hustoty struktury cementového kamene však může mít, na druhé straně, také negativní efekt, projevující se ve snížení odolnosti betonů s metakaolinem vůči vysokým teplotám (Poon et al., 2003). Zapracováním metakaolinu do betonu se pak snižuje připadná objemová expanze v důsledku alkalicko-křemičité reakce (Ramlochan et al., 2000; Sarfo-Ansah et al., 2014) a potlačuje se tvorba výkvětů. Popisován je i pozitivní vliv metakaolinu na redukci autogenního smrštění samotného cementového kamene (Wild et al., 1998) a na zmenšení šířky smršťovacích trhlin (Ding, Li, 2002). Náhrada části cementu metakaolinem, a to až do úrovně přibližně 15-20% cementu, má rovněž vliv na zvýšení pevnosti betonu v tlaku, tahu za ohybu i v příčném tahu (viz např. Wild et al., 1996; Curcio et al., 1998; Qian, Li, 2001; Ding, Li, 2002; Mavinkurve et al., 2003; Wong, Razak, 2005). Některými výzkumy bylo také prokázáno, že přítomnost metakaolinu v pojivu snižuje exhalace radonu z betonu obsahujícího granitové kamenivo (Lau et al., 2003) nebo má vliv na imobilizaci radioaktivních izotopů Sr a Cs při solidifikaci radioaktivních odpadů materiály na bázi cementu (Guangren et al., 2002). Ne zcela jednoznačný je vliv metakaolinu na parametry čerstvého betonu, kdy podle některých autorů (např. Bai et al., 1999) se zvyšujícím se množstvím metakaolinu v pojivu betonu dochází ke zhoršení konzistence plastické směsi, podle jiných výzkumů (např. Caldarone et al., 1994; Šafrata et al., 2009) lze i při vyšším obsahu metakaolinu dosáhnout směsi s vysokou plasticitou.

Pozitivní vliv metakaolinu je popisován také v případě vápenných omítok a malt (viz např. Arizzi, Cultrone, 2012; Vejmelková et al., 2012a) či kompozitních materiálů typu vláknobetonů, sklováknobetonů a drátkobetonů (např. Ambroise et al., 1994; Banthia, Yan, 1996; Dubey, Banthia, 1998; Bindiganavile, Banthia, 2001).

Metakaolini vznikají tepelnou aktivací přírodního kaolinu nebo jílových hornin s vysokým obsahem kaolinitu, popisována je ale také možnost jejich

přípravy z odpadních kalů z recyklace papíru nebo odpadů z výroby celulózy (Pera, Amrouz, 1998; Melo et al., 2012). Průmyslově se metakaolinu vyrábějí především tzv. suchou cestou, tj. po zpracování vhodné kaolinitické suroviny plavením a tříděním, popř. pouze drcením a sušením se provádí kalcinace ve teplotním agregátu (například rotační peci) na příslušnou teplotu výpalu po určenou dobu výpalu a po ochlazení produktu se metakaolin získává mletím, popř. ultra jemným mletím a tříděním. Další technologickou možností je výpal ve fluidním loži, kdy použití fluidního způsobu umožňuje zkrácení doby kalcinace z hodin řádově na minuty (Sabir et al., 2001). Známa je také tzv. blesková kalcinace (flash-calcination), která ještě dále zkracuje dobu kalcinace až na několik desítek sekund (Salvador 1995).

Metakaolin je v současnosti ve světě komerčně produkovaný především několika americkými výrobcemi, konkrétně společnostmi BASF N.A. (produkt MetaMax), Advanced Cement Technologies LCC (metakaolin s komerčním označením Power-PozzTM(HRM)), Burgess Pigment Co. (produkt OPTIPOZZTM), Thiele Kaolin Co. (metakaolin KAOROCKTM) a KaMin LCC (produkt HR Pozz). Dalším významným světovým výrobcem je francouzská firma Imerys S.A. s produkty Argical M1000, Argical M1200S, MK-40 (produkovaný na Ukrajině) a MetaStar 501. Dalšími značkami na světovém trhu metakaolinem jsou pak Metapor[®] německé firmy Poraver, produktová řada Metaver[®] švýcarské společnosti Newchem AG nebo metakaolin Peser Ultrafine, Metakaolin A a Metakaolin Super španělského výrobce ARCIRESA. Z ostatních světových výrobců metakaolinu lze uvést kanadskou I-Minerals Inc., belgickou SCR-Sibelco N.V., brazilskou Metacaulim do Brasil a řadu čínských společností jako např. Jinyu Kaolin Chemical Co., Ltd. nebo Shanxi Jinyang Calcined Kaolin Co., Ltd.

V podmínkách České republiky začala být problematice výzkumu, výroby a užití metakaolinu věnována pozornost až okolo roku 2000 (Drottnerová et al., 2002; Drottnerová, Holešinský, 2003). Výsledky výzkumu vlastností a možností využívání metakaolinu a pálených jílů ve stavebních materiálech byly v minulosti v tuzemsku prezentovány zejména na pravidelném odborném semináři „Metakaolin“, který mezi lety 2007–2014 pořádala prof. Pavla Rovnaníková na Fakultě stavební VUT v Brně. Průmyslová výroba metakaolinu v má České republice přibližně 15-ti letou tradici. České a moravské metakaolini patří k nejlepším v Evropě a kvalitou jsou plně srovnatelné například s francouzskými nebo anglickými produkty. Produkci metakaolinu mají v současnosti ve svém výrobním programu tři tuzemské společnosti – Sedlecký kaolin, a.s. (například produktové řady I-META, N-META, S-META, v minulosti U-META), České lupkové závody, a.s. (metakaolin Mefisto K05, metalupky Mefisto L05 a Mefisto LB70) a KERAMOST, a.s. (metakaolin KM 60), kteří poskytují různé, mineralogicky a technologicky odlišné, typy produktů, použitelné v mnoha průmyslových odvětvích.

I přes veskrze pozitivní vliv metakaolinu, jakožto částečné nahradě cementu nebo vápenného hydrátu, na výsledné užitné vlastnosti betonu a maltovin, nedošlo prozatím v České republice k jeho výraznějšímu praktickému uplatnění v průmyslu stavebních hmot, a to zejména při výrobě betonu. Cílem předloženého příspěvku je proto naznačit možné směry výzkumu a vývoje metakaolinů v podmínkách České republiky tak, aby tento silikátový materiál začal být zajímavý i pro aplikace ve stavebnictví.

Možnosti průmyslového využití metakaolinu a perspektivní směry jejich dalšího výzkumu a vývoje

Díky výše popsanému příznivému vlivu na vlastnosti stavebních hmot na bázi cementu a vápna má metakaolin široké potenciální uplatnění při výrobě betonů, malt nebo omítek. Vzhledem ke schopnosti snižovat pronikání vody a solí a zvyšovat tak odolnost betonu proti chemickým rozmrazovacím látkám a agresivnímu prostředí obecně, lze jej využít jako aktivní příměs pro betony pro mosty a dopravní stavby. Vzhledem k vysoké pucolánové reaktivitě mohou metakaolinové předměty novou, resp. alternativní silikátovou příměs do vysokopevnostních betonů, kde mohou plnohodnotně nahrazovat v současnosti používanou mikrosiliku (např. Caldarone et al., 1994; Ding, Li, 2002; Vavro et al., 2006). Pro svou schopnost snižovat, zejména v počátečních fázích tuhnutí a tvrdnutí, hydratační teplo a zvyšovat odolnost povrchu betonu vůči průsaku tlakovou vodou, mohl by metakaolin rovněž nalézt širší uplatnění při výrobě vodotěsných betonů např. pro vodní stavby. Metakaolini a kalcinované jílovité horniny jsou využitelné také jako příměs do vápenných omítek a malt, například pro renovaci historických objektů, zlepšují totiž jejich mechanické i lomově-mechanické parametry a výrazně zvyšují odolnost vůči zmrazovacím cyklům (Vejmelková et al., 2012a,b). Aplikací metakaolinu může rovněž docházet k jistému zlepšení tepelných a vlhkostních vlastností vápenných omítek (Černý et al., 2006). Zejména jemně vytríděné zrnitostní frakce metakaolinů jsou využitelné pro přípravu geopolymerních pojiv, např. pro výrobu umělých pískovců pro restaurování historických památek (viz např. Vavro et al., 2009; Koutník et al., 2010). Další použití metakaolinů je u protipožárních nátěrů, pěn a směsí nebo v malířských nátěrech s vazbou přes alkalické hydroxydy a křemičity.

Metakaolin je však možné chápat z širšího hlediska také jako produkt, který lze využít i v mnoha dalších oborech průmyslu i mimo jeho základní vlastnost, tj. pucolánovou reaktivitu (Pticen, 2011). Průmyslovými odvětvími, v nichž nalezl metakaolin své uplatnění jsou gumárenský průmysl a výroba plastů, kde v obou případech slouží metakaolin jako plnivo. Díky dobrým elektroizolačním vlastnostem má metakaolin široké využití při výrobě povlaků a izolací elektrod a vodičů (Murray, 2000, 2006). Metakaolin je žáruvzdorný, chemicky a tepelně odolný a reaktivní například při výpalu v silikátových směsích. Projevuje se jako barevný pigment, jako regulátor reologických

a licích vlastností keramických a jiných směsí, má pseudoplastické vlastnosti. Vyznačuje se silně porézní strukturou s možností využití jako aktivní nosič účinných látek a sloučenin. Perspektivní je také využití metakaolinu jako zdroje sloučenin hliníku, tj. v přípravě vysoko hlinitých sloučenin a směsí. V současné době může být zajímavé využití metakaolinu při úsporách tepelné energie, např. pro jednožárový výpal keramických směsí. Dobře použitelné přitom mohou být i méně reaktivní metakaoliny, často s určitou dominantní vlastností, která určuje jeho konkrétní aplikaci (např. vysoká bělost, vysoký obsah jemných tavit, vysoký obsah Al_2O_3 , vysoký obsah zmagnetizovaných součástí, vysoký nebo nízký obsah barvících oxidů, vysoký obsah muskovitu, přítomnost nezreagovaného kaolinitu a/nebo jemného křemene, nízká nebo naopak vysoká abrazivita, výhodná zrnitost, chemická odolnost, tepelná vodivost apod.). Metakaoliny jsou ekologicky nezávadné s nízkým obsahem škodlivin a těžkých kovů a slouží po aktivaci jako sorpční materiály právě různých nebezpečných a závadných látek (Pticen, 2011).

Zvýšení stávajícího uplatnění metakaolinu v různých odvětvích průmyslu, a ve výrobě stavebních hmot zejména, lze dosáhnout za předpokladu:

- zvýšení kvality a inovaci vlastností,
- snížení výrobních nákladů,
- zvýšení dostupnosti cenově přijatelných metakaolinů.

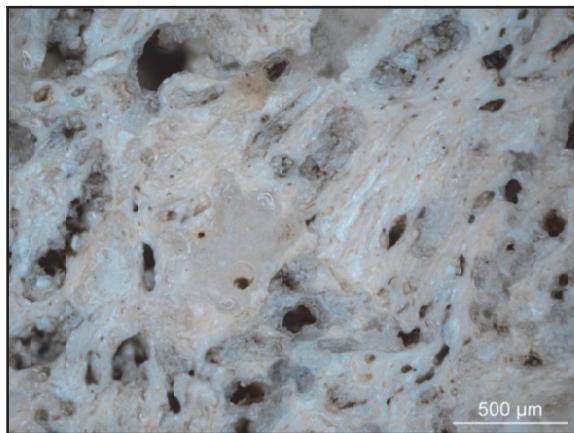
V následujících kapitolách budou v krátkosti prezentovány hlavní výsledky některých dřívějších výzkumů, které by mohly vést buď k vývoji metakaolinů zvláštních vlastností nebo k „levnější“ výrobě metakaolinů z jiných surovin než z plaveného jemnozrnného kaolinu.

Metakaolini netradičních vlastností

V oblasti kvality a inovace metakaolinů je možné technologicky předpokládat například vývoj produktů zaměřených na úpravu jejich porozitě, reologických vlastností, granulometrického složení, na směs plaveného kaolinu s upraveným metakaolinem, využití zmagnetizovaných částic, uplatnění směsných metakaolinů apod. (Pticen, 2011). Zcela novým typem metakaolinu s širokým potencionálním využitím v žáruvzdorném a stavebním průmyslu, který prozatím není v České republice průmyslově vyráběn a není komerčně dostupný na trhu je tzv. lehčený metakaolin (Pticen, Vavro, 2009).

Lehčený metakaolin skýtá zajímavé možnosti využití v systémech, kde se vyžaduje vysoko porézní struktura. Tento typ metakaolinu se oproti „klasickým“ metakaolinům vyznačuje nižší objemovou hmotností, podstatně vyšší makroporozitou (Obr. 1), a tím pádem výrazně nižší tepelnou vodivostí. Pro své pseudoplastické vlastnosti a vysokou makroporozitu může sloužit jako vazba (pojivo) v žáromateriálech, ale také jako vysoko žáruvzdorné lehčivo, de facto jde o jistý „předstupeň“ lehčeného šamotu. Ve stavebním průmyslu se může uplatnit například ve frakci 0–3 mm v lehčených omítkách, jako aktivní příměs v lehčených geopolymerech, jako izolační materiál,

jako bílé porézní plnidlo apod. K přípravě lehčeného metakaolinu lze využít přírodní kaolinitické suroviny bohaté na jemný lignit, jako jsou např. jíly typu Nero nebo OSR. Lehčený metakaolin ale lze také vyrobit z kaolinitické suroviny (plavený kaolin nebo kaolinitický jíl různého chemického a mineralogického složení) v regulovatelné směsi s dřevní biomasou (zpravidla tvrdé a jemné bukové a dubové piliny vytvářející kulaté pory po kalcinaci) nebo s jemně mletou uhelnou substancí. Výhodou tohoto způsobu výroby je ovlivnitelnost pórovitosti lehčeného metakaolinu. V minulosti byly laboratorně testovány vlastnosti tří typů lehčených metakaolinů, z nichž jeden byl laboratorně připraven z přírodní kaolinitické, jílové suroviny s primárním obsahem jemného lignitu (LE 1) a dva z tzv. titaniciitého plaveného kaolinu s vysokým (LE 2) až velmi vysokým (LE 3) přídavkem tvrdých pilin. Stanovené parametry lehčených metakaolinů uvádějí Tab. 1 a Tab. 2.



Obr. 1. Mikrofotografie pórové struktury lehčeného metakaolinu LE 3.

Jak vyplývá z Obr. 1, metakaolin synteticky lehčený jemnými pilinami z tvrdého dřeva je velmi čistý, bez teček a vytavenin a s vysokou bělostí. Pružnost lehčeného metakaolinu umožňuje vytvoření i větších částeček (např. peletek 0,5–4 mm, drtě atd.) vhodných pro lisování. K přípravě lehčeného metakaolinu tak nemusí nutně sloužit pouze suchý způsob výroby, ale surovinovou směs pro výpal lze připravit i mokrou cestou v husté suspenzi, kdy se vytvoří kaolínový granulát konečného tvaru, který se následně kalcinuje. Tento technologický postup by umožnil vynechání operace drcení a mletí z procesu výroby a vedl by ke znatelné úspore výrobních nákladů.

Metakaolini připravené z alternativních jílových surovín

Použití metakaolinů v tuzemském průmyslu stavebních hmot je dosud velmi sporadické. V době, kdy hlavním, ne-li jediným kritériem pro uplatnění výrobku na trhu jsou výrobní náklady, je hlavním

důvodem tohoto faktu především výsledná cena metakaolinu, která několikanásobně převyšuje cenu cementu. V případě, že je metakaolin vyráběn z jemnozrnných plavených kaolinů, je konečná cena produktu výrazně ovlivňována finančně nákladou úpravu surového kaolinu plavením. V minulosti proto byly ověřovány vlastnosti osmi různých tepelně aktivovaných jílů, hlín nebo surových (neplavených) kaolinů (Vavro et al., 2010). Testovanými alternativními metakaolinami byly:

- metakaolin D2 - kalcinované kameninové jíly řady AG z ložiska Děvín se zvýšeným obsahem alkalií,
- metakaolin D3 - kalcinované pórvinové kaolinitické jíly řady HC, popř. i CH z ložiska Děvín,
- metakaolin K1 - kalcinovaný surový nízkoalkalický kaolin z lokality Nepomyšl,
- metakaolin L - kalcinovaná cihlářská hlína z lokality Lužec,
- metakaolin N - kalcinované hnědé bentonitické jíly s vysokým obsahem karbonátů z ložiska Nepomyšl,
- metakaolin OSH - kalcinované hnědé bentonitické jíly z ložiska Osmosa,
- metakaolin OSR - kalcinované doprovodné jíly s uhelnou (lignitickou) příměsí z ložiska Osmosa,
- metakaolin PO - kalcinovaný illiticko-montmorillonitický jíl z ložiska Poštorná.

Případná výroba metakaolinu bez nutnosti úpravy vstupních surovin plavením by byla finančně méně náročná, což by se mělo odrazit i na konečné ceně produktu. Termická úprava výchozích surovin spočívala v jejich výpalu ve vozokomorové peci v provozních podmínkách. Následně byly vypálené jílové suroviny pomlety na jemný prášek s průměrnou velikostí zrnu převážně okolo 4–8 µm (Tab. 3).

Mechanické a trvanlivostní vlastnosti zatvrdlých cementových malt s obsahem metakaolinů, vyrobených z alternativních jílových surovin, byly zkoušeny na trámečcích 40 × 40 × 160 mm připravených podle ČSN EN 196-1. Připraveno bylo celkem deset záměsí s označením Z1 – Z10 s tím, že u záměsí s obsahem metakaolinů byly namíchány vždy tři modifikace s 3, 5 a 10 % náhradou cementu CEM I 42,5 R příslušným metakaolinem:

- záměs Z1 - referenční malta bez obsahu metakaolinu,
- záměsi Z2 a, b, c - malty se 3, 5 a 10 % metakaolinu D2,
- záměsi Z3 a, b, c - malty se 3, 5 a 10 % metakaolinu D3,
- záměsi Z4 a, b, c - malty se 3, 5 a 10 % metakaolinu K1,

Tab. 1. Vlastnosti kusových lehčených metakaolinů a jejich porovnání s vybranými „klasickými“ metakaolinami.

| Metakaolin | Měrná hmotnost | Objemová hmotnost | Celková póravitost | Nasákovost | Tepelná vodivost |
|------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------|------------------|
| | kg/m ³ | kg/m ³ | obj. % | hm. % | W/m.K |
| S META | 2630 | 2360 | 10,3 | 26,0 | 0,200 |
| N META | 2540 | 1830 | 27,9 | 30,0 | 0,098 |
| LE 2 | 2530 | 1580 | 37,5 | 61,7 | 0,074 |
| LE 3 | 2580 | 1400 | 45,7 | 129,6 | 0,035 |

Pozn.: kusové lehčené metakaolinu jsou metakaolinu po kalcinaci, ale před konečnou mechanickou úpravou drcením

Tab. 2. Vlastnosti lehčených metakaolinů LE 1, LE 2 a LE 3 po úpravě zrnitosti (moučka, zrnitostní frakce 0–3 mm).

| Metakaolin | Sypná hmotnost | Granulometrie | | | | |
|------------|----------------|---------------------------------|--------|--------|--------|------------|
| | | zbytek na síťě za sucha (hm. %) | | | | |
| | | kg/m ³ | 2,0 mm | 1,0 mm | 0,5 mm | pod 0,5 mm |
| LE 1 | 720 | | 0,6 | 5,4 | 28,8 | 65,2 |
| LE 2 | 668 | | 1,9 | 6,5 | 18,9 | 72,7 |
| LE 3 | 400 | | 12,7 | 17,0 | 17,3 | 53,0 |

Tab. 3. Granulometrie studovaných metakaolinů a její porovnání s komerčním produktem I META 4.

| Metakaolin | D2 | D3 | K1 | L | N | OSH | OSR | PO | I META 4 |
|-----------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|----------|
| Měrný povrch [cm ² /g] | 5465 | 5971 | 5515 | 4576 | 2761 | 4026 | 6522 | 6246 | 6378 |
| X ₅₀ [µm] | 5,39 | 4,71 | 5,06 | 6,82 | 23,63 | 8,70 | 4,17 | 4,42 | 4,26 |
| X ₉₉ [µm] | 40,42 | 30,36 | 176,28 | 174,28 | 209,43 | 150,92 | 14,32 | 15,93 | 13,00 |

- záměsi Z5 a, b, c - malty se 3, 5 a 10 % metakaolinu L,
- záměsi Z6 a, b, c - malty se 3, 5 a 10 % metakaolinu N,
- záměsi Z7 a, b, c - malty se 3, 5 a 10 % metakaolinu OSH,
- záměsi Z8 a, b, c - malty se 3, 5 a 10 % metakaolinu OSR,
- záměsi Z9 a, b, c - malty se 3, 5 a 10 % metakaolinu PO,
- záměsi Z10 a, b, c - porovnávací malty se 3, 5 a 10 % komerčně vyráběného metakaolinu I META 4.

Vybrané výsledky stanovení pevnostních a trvanlivostních vlastností záměsí Z1 – Z10 uvádějí Tab. 4 – Tab. 8.

Tab. 4. Pevnosti v tlaku (R_c) u záměsí s 3% náhradou cementu metakaolinem [MPa].

| Záměs | Z1 | Z2a | Z3a | Z4a | Z5a | Z6a | Z7a | Z8a | Z9a | Z10a |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| R _c po 7 dnech | 43,6 | 43,4 | 46,1 | 46,2 | 42,6 | 45,0 | 46,2 | 48,0 | 43,7 | 46,4 |
| R _c po 28 dnech | 52,8 | 51,9 | 50,5 | 51,8 | 47,5 | 52,7 | 49,9 | 54,2 | 53,7 | 54,5 |
| R _c po 90 dnech | 58,4 | 57,2 | 55,0 | 57,5 | 49,4 | 56,7 | 54,7 | 52,7 | 55,3 | 59,7 |

Tab. 5. Pevnosti v tlaku (R_c) u záměsí s 5% náhradou cementu metakaolinem [MPa].

| Záměs | Z1 | Z2b | Z3b | Z4b | Z5b | Z6b | Z7b | Z8b | Z9b | Z10b |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| R _c po 7 dnech | 43,6 | 46,1 | 45,1 | 47,1 | 42,5 | 44,6 | 45,9 | 46,4 | 43,1 | 48,7 |
| R _c po 28 dnech | 52,8 | 51,9 | 50,6 | 53,2 | 50,1 | 52,4 | 54,8 | 58,3 | 52,4 | 56,7 |
| R _c po 90 dnech | 58,4 | 58,3 | 50,2 | 55,1 | 54,0 | 55,3 | 60,1 | 58,0 | 54,6 | 63,5 |

Tab. 6. Pevnosti v tlaku (R_c) u záměsí s 10% náhradou cementu metakaolinem [MPa].

| Záměs | Z1 | Z2c | Z3c | Z4c | Z5c | Z6c | Z7c | Z8c | Z9c | Z10c |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| R_c po 7 dnech | 43,6 | 43,6 | 46,8 | 43,9 | 42,8 | 43,5 | 45,3 | 46,9 | 43,2 | 52,3 |
| R_c po 28 dnech | 52,8 | 49,1 | 50,6 | 49,3 | 49,9 | 49,4 | 55,9 | 58,4 | 52,4 | 64,4 |
| R_c po 90 dnech | 58,4 | 53,9 | 49,3 | 54,2 | 51,7 | 53,8 | 60,9 | 58,1 | 53,9 | 64,0 |

Tab. 7. Odolnost povrchu zkušebních těles proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek po 100 zkušebních cyklech u záměsí s 10% náhradou cementu metakaolinem.

| Záměs | Z1 | Z2c | Z3c | Z4c | Z5c | Z6c | Z7c | Z8c | Z9c | Z10c |
|----------------------------|-------|-----------------------|-----------------------|------|-----------------------|-------|-------|------|-----------------------|------|
| Odpad [g.m ⁻²] | 299,1 | rozpad po 100 cyklech | rozpad po 100 cyklech | 97,1 | rozpad po 100 cyklech | 352,6 | 296,3 | 92,7 | rozpad po 100 cyklech | 47,4 |

Tab. 8. Součinitel mrazuvzdornosti v tlaku u testovaných záměsí po 100 cyklech.

| Záměs | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 | Z8 | Z9 | Z10 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 3 % mk (a) | 0,54 | 0,58 | 0,53 | 0,41 | 0,60 | 0,57 | 0,59 | 0,64 | 0,26 | 0,55 |
| 5 % mk (b) | | 0,62 | 0,35 | 0,57 | 0,61 | 0,70 | 0,61 | 0,67 | 0,47 | 0,49 |
| 10 % mk (c) | | 0,60 | 0,57 | 0,69 | 0,70 | 0,81 | 0,77 | 0,89 | 0,69 | 0,68 |

Pozn.: mk – metakaolin; šedé vybarvené buňky zvýrazňují hodnoty indikující zásadnější zlepšení vlastností vůči referenční záměsi, popř. ve srovnání s komerčním produktem I META 4

Jak vyplývá z údajů prezentovaných v Tab. 4 až Tab. 8, celkově nejlepších výsledků dosáhly záměsi s metakaolinou K1, N, OSH a OSR, tj. záměsi Z4, Z6, Z7 a Z8. Uvedené metakaolinu vykazují zejména velmi příznivé trvanlivostní vlastnosti. Nejlepší volbou pro případné průmyslové využití se pak jeví být metakaolin OSR. Příměs metakaolinu OSR (záměs Z8) se výrazně projevila prakticky u všech zkoušených vlastností, a to v případě všech testovaných modifikací (3 %, 5 % i 10 % metakaolinu OSR). Příměs metakaolinu OSR měla pozitivní vliv jak na zvýšení mrazuvzdornosti malty, tak také na působení chemických rozmrazovacích látek. Tento metakaolin je v řadě parametrů srovnatelný s účinky komerčně vyráběného metakaolinu I META 4. Přítomnost organické (spalitelné) složky ve vstupní surovině může být navíc příznivá vzhledem k zamýšlené výrobě tzv. lehčeného metakaolinu (viz předcházející kapitola), resp. k již existující výrobě lehčeného šamotu.

Příkladem již dlouhodobě zavedené tuzemské průmyslové výroby metakaolinu, resp. metalupku z vhodných jílových hornin bez nutnosti předchozí úpravy plavením jsou produkty Mefisto L05 a Mefisto LB70 na bázi jílovců, komerčně nabízené Českými lupkovými závody, a.s.

Metakaolini s odlišným zrnitostním a mineralogickým složením

České metakaolini, komerčně dostupné na trhu, jsou doposud vyráběny především z kvalitních jemnozrnných plavených kaolinů s vysokým obsahem částic pod 2 µm (např. značky Mefisto K 05, N META 4, S META 4, I META 4 apod.) nebo z jílovců (např. metalupek Mefisto L 05). Metakaolini vyrobené z plavených kaolinů typu Sedlec Ia, Imperiál, KN-1, KDG, Rokle apod.

vynikají výbornou kvalitou, ale mají zpravidla výrazně vyšší cenu než běžná anorganická pojiva používaná ve stavebním průmyslu. Dřívější pokusy uplatnit jako vstupní surovинu pro výrobu metakaolinu různé „levnější“ jíly (např. jíly CS ze Střelče, vhodné kaolinitické jíly se zvýšeným podílem muskovitických slíd typu HC a CH a bělninové jíly s organickou příměsí typu Nero F ze Skalné apod.) se v praxi dosud neuplatnily. Rovněž myšlenka využít pro přípravu metakaolinu různé odpadní suroviny zatím nevedla k výraznému uplatnění takových produktů na odběratelském trhu.

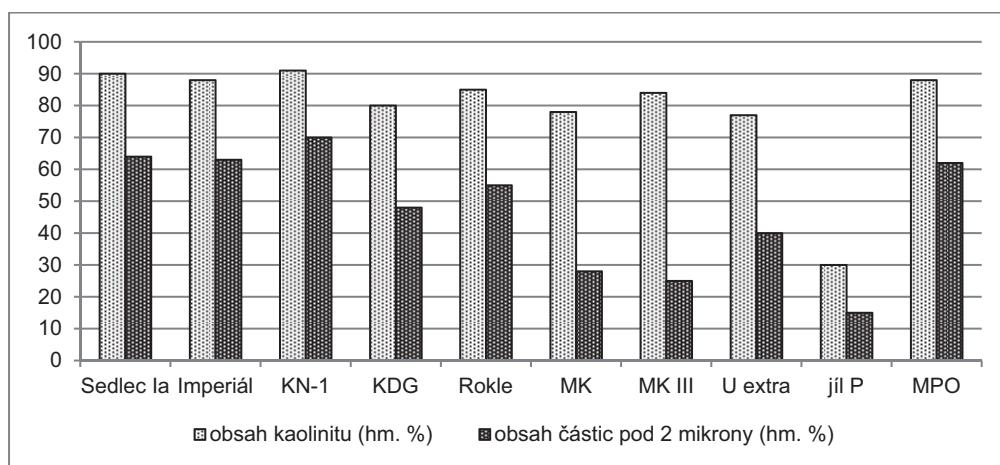
Přitom v České republice bylo k 31. 12. 2014 evidováno celkem 71 ložisek kaolinů všech surovinných typů, z čehož 15 ložisek bylo v těžbě (Starý et al., 2015). Lokalit keramických i papírenských kaolinů, které jsou potencionálně vhodné pro přípravu metakaolinů, je tak v České republice celá řada. V každé těžební oblasti kaolinu v České republice (Karlovarsko, Plzeňsko, Podbořansko, Kadaňsko, Znojemsko, Chebsko) se zpravidla nachází několik ložisek s různými kvalitativními typy surovin (Pticek, Raus, 2009). To představuje řádově několik desítek druhů kaolinů a kaolinitických surovin potencionálně využitelných pro výrobu metakaolinů s různými chemicko-technologickými vlastnostmi. Potencionálně zajímavé mohou být například kaolini s dominantním zastoupením zrnitostní frakce 20–63 µm, resp. až 100 µm a s vysším obsahem doprovodných minerálů (velmi jemných částic a agregátů křemene, slíd, živců apod.). Vstupní suroviny, použité pro přípravu metakaolinu, které jsou zrnitostně a mineralogicky odlišné od jemnozrnných plavených kaolinů, mohou výrazně změnit charakter a vlastnosti výsledného kalcinovaného produktu (blíže viz Pticek et al. 2010). Pro výzkum byly vybrány středně až

hrubozrnné kaoliny značek MK, MK III a U extra, hrubozrnný písčitý jíl P, vyznačující se zvýšenou přítomností jemného křemene a jemnozrnný kaolin s obsahem jemných magnetických částic s označením MPO. Vybrané chemicko-techno-

logické parametry těchto alternativních surovin uvádí Tab. 9, v Obr. 2 je pak uvedeno jejich zrnitostní srovnání s vybranými jemnozrnnými plavenými kaolinami (Sedlec Ia, Imperiál, KN-1, KDG, Rokle).

Tab. 9. Vybrané chemicko-technologické vlastnosti testovaných kaolinů a jílů.

| Vlastnost kaolinu - vysušený vz. [hm. %] | středně zrnitý až hrubozrnný kaolin | | | jemnozrnný kaolin | hrubozrnný jíl |
|---|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------------|----------------|
| | MK | MK III | U extra | MPO | P |
| SiO ₂ | 51,1 | 47,0 | 49,6 | 45,3 | 75,0 |
| Al ₂ O ₃ | 34,1 | 35,6 | 33,1 | 35,7 | 14,7 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,1 | 1,6 | 1,6 | 3,0 | 1,3 |
| TiO ₂ | 0,3 | 1,3 | 0,5 | 1,0 | 0,1 |
| CaO | 0,2 | 0,2 | 0,6 | 0,2 | 0,2 |
| MgO | 0,2 | 0,2 | 0,6 | 0,2 | 0,5 |
| K ₂ O | 1,9 | 1,0 | 2,7 | 1,3 | 3,0 |
| Na ₂ O | 0,1 | 0,03 | 0,4 | 0,1 | 0,01 |
| ztráta žiháním | 11,0 | 13,0 | 10,9 | 13,2 | 5,2 |
| obsah kaolinitu | 78 | 84 | 77 | 88 | 30 |
| obsah slíd | 15 | 12 | 9 | 9 | 5 |
| obsah křemene, popř. živce | 7 | 4 | 14 | 3 | 65 |
| obsah částic pod 2 µm | 28 | 25 | 40 | 62 | 15 |



Obr. 2. Obsah kaolinitu a částic pod 2 µm v testovaných surovinách a jemnozrnných plavených kaolinech.

V Tab. 10. jsou uvedeny příklady metakaolinů vyrobených ze zrnitostně a mineralogicky „netradičních“, středně hrubozrnných až hrubozrnných kaolinů a jílů. V Tab. 11. jsou pak prezentovány základní pevnostní vlastnosti ztvrdlé

cementové malty s obsahem těchto metakaolinů (90 hm. % cementu CEM I 52,5 R a 10 hm. % metakaolinu). Malta byla připravena a zkoušena podle ČSN EN 196-1.

Tab. 10. Příklady metakaolinů připravených ze středně hrubozrných až hrubozrných kaolinů, popř. jílu, jejich chemické vlastnosti a míra rozprostření ve srovnání s komerčním produktem U META 6.

| Vlastnost metakaolinu | Označení metakaolinu | | | | |
|--|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | MK META | MK III META | MPO META | P META | U META 6 |
| SiO ₂ [hm. %] | 54,00 | 53,00 | 52,00 | 79,00 | 53,34 |
| Al ₂ O ₃ [hm. %] | 39,07 | 41,10 | 40,00 | 15,08 | 35,20 |
| Fe ₂ O ₃ [hm. %] | 2,50 | 1,80 | 3,50 | 1,32 | 1,85 |
| TiO ₂ [hm. %] | 1,00 | 1,40 | 1,20 | 0,20 | 0,50 |
| CaO [hm. %] | 0,20 | 0,2 | 0,20 | 0,20 | 0,40 |
| MgO [hm. %] | 0,30 | 0,2 | 0,20 | 0,52 | 0,70 |
| K ₂ O [hm. %] | 1,70 | 0,90 | 1,50 | 3,21 | 3,00 |
| Na ₂ O [hm. %] | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,50 |
| ztráta žiháním [hm. %] | 1,20 | 2,00 | 1,36 | 0,40 | 4,50 |
| míra rozlití [mm] | 320 | 250 | 160 | 400 | 155 |

Tab. 11. Pevnostní vlastnosti cementové malty s metakaolini na bázi středně hrubozrných až hrubozrných surovin (MK META, M III META, P META) a jemnozrnného metakaolinu MPO META a jejich porovnání s účinky špičkového tuzemského metakaolinu N META 2.

| Směs s metakaolinem | Pevnost v tahu ohybem [MPa] | | Pevnost v tlaku [MPa] | |
|---|-----------------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| | po 1 dni | po 14 dnech | po 1 dni | po 14 dnech |
| MK META | 5,0 | 7,5 | 27,2 | 57,5 |
| M III META | 4,9 | 7,9 | 26,5 | 60,1 |
| MPO META | 5,1 | 7,8 | 29,3 | 60,4 |
| P META | 4,6 | 6,9 | 23,8 | 46,3 |
| N META 2 | 6,5 | 7,6 | 32,0 | 61,2 |
| CEM I 52,5 R – referenční záměs bez metakaolinu | 7,0 | 7,8 | 32,8 | 47,1 |

Jak je zřejmé z hodnot rozlití, uvedených v Tab. 10, metakaolin provozně připravené ze středně hrubozrných až hrubozrných kaolinů nebo jílu, které jsou charakteristické sníženým obsahem kaolinitu na úkor jemných částic slíd, křemene a živce a celkově nižším obsahem částic pod 2 µm, se vyznačují vysokou tekutostí metakaolinu ve směsi s vodou. Míra rozprostření se u těchto metakaolinů pohybuje v rozmezí cca 200–400 mm, což oproti rozlití 130–200 mm, typickému pro metakaolin vyrobené z kvalitních jemnozrnných plavených kaolinů typu Sedlec Ia, Imperiál, KDG (Pticeň, Vavro 2009, Pticeň et al. 2010) představuje prakticky dvojnásobné hodnoty. Předností nových typů metakaolinů na bázi středně až hrubozrných kaolinů tak není pucoleánová aktivita, ale schopnost ovlivnění licích a reologických vlastností pracovních směsí. Díky nízké viskozitě ve směsi s vodou lze u nich rovněž předpokládat rychlejší rozplav částic metakaolinu v cementové směsi. V této souvislosti se velmi zajímavým produktem nové řady jeví metakaolin připravený z jílu P s velmi vysokým obsahem jemného křemene pod 63 µm, který se kromě nejvyšší míry rozlití (400 mm) vyznačuje oranžovou barvou po výpalu a může tak velmi zajímavým způsobem ovlivňovat barevnost směsi.

Z Tab. 11 pak vyplývá, že i přes kvalitativně odlišné vstupní suroviny dosahují provozně

připravené metakaolini např. typu MPO META nebo M III META ve směsi s cementem parametry, které jsou plně srovnatelné s účinky nejkvalitnějších, v tuzemsku komerčně vyráběných metakaolinů. Průmyslová výroba metakaolinů na bázi hrubo- až střednězrných kaolinů nebo jílů by tak znamenala využití dalších, nových typů surovin a přinesla by na trh metakaolinu velmi zajímavých vlastností (např. s vysokou mírou rozprostření, různou barevností apod.) a s předpokládanou velmi příznivou cenovou přijatelností.

Závěr

Metakaolini jsou uměle vyrobené silikátové materiály s pucoleánovými vlastnostmi a širokými možnostmi využití v řadě průmyslových odvětví. V průmyslu stavebních hmot mají v současnosti metakaolini potencionální uplatnění zejména v podobě jemnozrnné aktivní příměsi do cementových betonů a vápenných malt a omítek, kde v množství zpravidla do 15 hm. % nahradí cementu nebo vápna mohou výrazným způsobem přispět ke zlepšení mechanických a trvanlivostních vlastností. Intenzivní výzkumné aktivity, týkající se studia vlastností stavebních hmot s obsahem metakaolinů započaly v České republice okolo roku 2000, do období let 2000–2005 pak spadají

i počátky průmyslové výroby tuzemských metakaolinů. I přes jednoznačně laboratorně prokázané příznivé účinky metakaolinu na materiálové parametry betonů a maltovin, přes dostatek zásob vhodných přírodních surovin i navzdory již zavedené domácí produkci několika, mineralogicky a technologicky odlišných typů metakaolinů, jejichž kvalita je zcela srovnatelná s obdobnými zahraničními produkty, je uplatnění metakaolinu a kalcinovaných jílů a jílovců v tuzemské výrobě stavebních hmot velmi sporadické. Hlavní příčinu této situace lze spatřovat ve skutečnosti, že k výrobě metakaolinů jsou ve velké míře používány nejkvalitnější jemnozrnné kaoliny, jejichž technologie úpravy plavením se výrazným způsobem promítá do konečné ceny kalcinovaného produktu. Další navýšení výrobních nákladů, odrážející se ve výrazně vyšší ceně metakaolinů oproti cementovým nebo vápenným pojivům, pak přináší ultrajemné mletí na velikost zrna v prvních jednotkách mikronů. Pucolánová reaktivita metakaolinu, která s jemností mletí přímo souvisí, je totiž často jedinou vlastností, která je ve stavebnictví u metakaolinů požadována, a tedy sledována a hodnocena. Surovinová základna České republiky však poskytuje celou řadu dalších, dosud nevyužívaných a pro výrobu metakaolinů vhodných, alternativních surovin. Jejich úpravou bez plavení a často i bez konečného jemného mletí lze i v provozním měřítku připravit metakaoliny s vlastnostmi zcela srovnatelnými s dnes komerčně produkovanými výrobky nebo vyrobit metakaoliny, které se mohou vyznačovat i jinými zajímavými vlastnostmi než jen vysokou pucolánovou aktivitou. Rozšíření spektra příznivých vlastností metakaolinů, snížení celkových výrobních nákladů a zvýšení dostupnosti cenově přijatelných metakaolinů jsou základními přepoklady pro jejich větší uplatnění v českém stavebnictví v budoucnosti.

Literatura

- Ambroise, J., Maximilien, S., Pear, J. (1994): Properties of metakaolin blended cements. *Advn. Cem. Bas. Mat.*, **1**, 161-168.
- Arizzi, A., Cultrone, G. (2012): Aerial lime-based mortars blended with pozzolanic additive and different admixtures: A mineralogical, textural and physical-mechanical study. *Constr. Build. Mat.*, **31**, 135-143.
- ASTM C125 – 15b Standard terminology relating to concrete and concrete aggregates. ASTM International, 2015, 8 pp.
- Bai, J., Wild, S., Sabir, B. B., Kinuthia, J. M. (1999): Workability of concrete incorporating pulverized fuel ash and metakaolin. *Mag. Concr. Res.*, **51**(3), 207-216.
- Banthia, N., Yan, C. (1996): Bond-slip characteristics of steel fibers in high reactivity metakaolin (HRM) modified cement-based matrices. *Cem. Concr. Res.*, **26**(5), 657-662.
- Bárta, R. (1961): *Chemie a technologie cementu*. Nakladatelství ČSAV, Praha, 1107 s.
- Bindiganavile, V., Banthia, N. (2001): Fiber reinforced dry-mix shotcrete with metakaolin. *Cem. Concr. Compos.*, **23**(6), 503-514.
- Boddy, A., Hooton, R. D., Gruber, K. A. (2001): Long-term testing of the chloride-penetration resistance of concrete containing high-reactivity metakaolin. *Cem. Concr. Res.*, **31**(5), 759-765.
- Caldarone, M. A., Gruber, K. A., Burg, R. G. (1994): High-reactivity metakaolin: A new generation mineral admixture. *Concr. Inter. Mag.*, **16**(11), 37-40.
- Courard, L., Darimont, A., Schouterden, M., Ferauthe, F., Willem, X., Degeimbre, R. (2003): Durability of mortars modified with metakaolin. *Cem. Concr. Res.*, **33**(9), 1473-1479.
- Curcio, F., DeAngelis B. A., Pagliolico, S. (1998): Metakaolin as a pozzolanic microfiller for high-performance mortars. *Cem. Concr. Res.*, **28**(6), 803-809.
- Černý, R., Kunca, A., Tydlidát, V., Drchalová, J., Rovnaníková, P. (2006): Effect of pozzolanic admixtures on mechanical, thermal and hygric properties of lime plasters. *Constr. Build. Mater.*, **20**(10), 849-857.
- Ding, J.-T., Li, Z. (2002): Effects of metakaolin and silica fume on properties of concrete. *ACI Mater. J.*, **99**(4), 393-398.
- Drottnerová, J., Holešinský, R. (2003): Aplikovaný výzkum a vývoj stavebních hmot se zaměřením na využití jílových minerálů (beton, umělé kamenivo, kompozitní materiály). *Informátor České společnosti pro výzkum a využití jílů*, **26**, 1-3.
- Drottnerová, J., Holešinský, R., Fáberová, J. (2002): Možnosti využití metakaolinu ve stavebním průmyslu. In *Sborník přednášek VI. konference „Nové stavební hmoty a výrobky“*, Brno, 16. až 18. 10. 2002, s.185–190, VÚSTAH Brno.
- Dubey, A., Banthia, N. (1998): Influence of high-reactivity metakaolin and silica fume on flexural toughness of high-performance steel fibre-reinforced concrete. *ACI Mater. J.*, **95**(3), 284-292.
- Gruber, K. A., Ramlochan, T., Boddy, A., Hooton, R. D., Thomas, M. D. A. (2001): Increasing concrete durability with high-reactivity metakaolin. *Cem. Concr. Compos.*, **23**(6), 479-484.
- Guangren, Q., Yuxiang, L., Facheng, Y., Rongming, S. (2002): Improvement of metakaolin on radioactive Sr and Cs immobilization of alkali-activated slag matrix. *J. Hazard. Mater.*, **92**(3), 289-300.
- Khatib, J. M., Clay, R.M. (2004): Absorption characteristics of metakaolin concrete. *Cem. Concr. Res.*, **34**(1), 19-29.
- Khatib, J. M., Wild, S. (1996): Pore size distribution of metakaolin paste. *Cem. Concr. Res.*, **26**(10): 1545-1553.
- Khatib, J. M., Wild, S. (1998): Sulphate resistance of metakaolin mortar. *Cem. Concr. Res.*, **28**(1), 83-92.

- Koutník, P., Bortnovsky, O., Antoš, P., Roubíček, P. (2010): Příprava a vlastnosti umělých pískovců na bázi geopolymerních pojiv. *Chem. Listy*, **104**(6), 501.
- Lau, B. M. F., Balendran, R. V., Yu, K. N. (2003): Metakaolin as a radon retardant from concrete. *Radiat. Prot. Dosim.*, **103**(3), 273-276.
- Mavinkurve, S. S., Basu, P. C., Kulkarni, V. R. (2003): High performance concrete using high reactivity metakaolin. *Indian Concr. J.*, May **2003**, 1077-1085.
- Melo, C. R., Angioletto, E., Riella, H. G., Peterson, M., Rocha, M. R., Melo, A. R., Silva, L., Strugale, S. (2012): Production of metakaolin from industrial cellulose waste. *J. Therm. Anal. Calorim.*, **109**(3), 1341-1345.
- Moodi, F., Ramezanianpour, A. A., Safavizadeh, A.Sh. (2011): Evaluation of the optimal proces of thermal activation of kaolins. *Sci. Iran.*, **18**(4), 906-912.
- Murray, H. H. (2000): Clay mineral developments in North and South America. In *Proceedings of the 16th Conference on Clay Mineralogy and Petrology. Acta Univ. Carol., Geol.*, **44**(2-4), 59-63.
- Murray, H. H. (2006): *Applied clay mineralogy: Occurrences, processing and applications of kaolins, bentonites, palygorskite-sepiolite, and common clays. Developments in Clay Science*, vol. 2. Elsevier B.V, Amsterdam, 188 s.
- Payá, J., Monzó, J., Borrachero, M. V., Mellado, A., Ordoñez, L. M. (2001): Determination of amorphous silica in rice husk ash by a rapid analytical method. *Cem. Concr. Res.*, **31**(2), 227-231.
- Pera, J., Amrouz, A. (1998): Development of highly reactive metakaolin from paper sludge. *Advn. Cem. Bas. Mat.*, **7**(2), 49-56.
- Poon, Ch.-S., Azhar, S., Anson, M., Wong, Y.-L. (2003): Performance of metakaolin concrete at elevated temperatures. *Cem. Concr. Compos.*, **25**(1), 83-89.
- Pticen, F., Raus, M. (2009): Suroviny a jejich úprava pro výrobu metakaolinu. In *Sborník semináře Metakaolin 2009, Brno*, 18. 3. 2009, s. 118-129. Fakulta stavební VUT v Brně.
- Pticen, F., Vavro, M. (2009): Lehčený metakaolin. In *Sborník konference Žárovzdorné materiály 2009, Praha*, 9.-10. 9. 2009, s. 71-78, Silikátová společnost České republiky.
- Pticen, F., Vavro, M., Nožička, T., Šustek, P., Boháčová, J., Bujdoš, D. (2010): Metakaolíny připravené z kaolinů s odlišným mineralogickým a zrnitostním složením. In *Sborník semináře Metakaolin 2010, Brno*, 18. 3. 2010, s. 95-102. Fakulta stavební VUT v Brně.
- Pticen, F. (2011): Perspektivy a možné směry vývoje metakaolinů. In *Sborník semináře Metakaolin 2011, Brno*, 24. 3. 2011, s. 59-64. Fakulta stavební VUT v Brně.
- Qian, X., Li Z. (2001): The relationships between stress and strain for high-performance concrete with metakaolin. *Cem. Concr. Res.*, **31**(11), 1607-1611.
- Ramlochan, T., Thomas, M., Gruber, K. A. (2000): The effect of metakaolin on alkali-silica reaction in concrete. *Cem. Concr. Res.*, **30**(3), 339-344.
- Roy, D. M., Arjunan, P., Silsbee, M. R. (2001): Effect of silica fume, metakaolin, and low-calcium fly ash on chemical resistance of concrete. *Cem. Concr. Res.*, **31**(12), 1809-1813.
- Sabir, B. B., Wild, S., Bai, J. (2001): Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review. *Cem. Concr. Compos.*, **23**(6), 441-454.
- Salvador, S. (1995): Pozzolanic properties of flash-calcined kaolinite: A comparative study with soak-calcined products. *Cem. Concr. Res.*, **25**(1), 102-112.
- Sarfo-Ansah, J., Atiemo, E., Boakye, K. A., Adjei, D., Adjaottor, A. A. (2014): Calcined clay pozzolan as an admixture to mitigate the alkali-silica reaction in concrete. *J. Mater. Sci. Chem. Eng.*, **2**, 20-26.
- de Silva, P. S., Glasser, F.P. (1993): Phase relations in the system $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ relevant to metakaolin – calcium hydroxide hydration. *Cem. Concr. Res.*, **23**(3), 627–639.
- Starý, J., Sitenský, I., Mašek, D., Hodková, T., Vaněček, M., Novák, J., Horáková, A., Kavina, P. (2015): Surovinové zdroje České republiky: Nerostné suroviny (Ročenka 2015). Česká geologická služba, Praha, 402 s.
- Šafrata, J., Hurta, J., Vavro, M., Pticeň, F. (2009): Vliv přídavku metakaolínu na zlepšení parametrů vysokopevnostních betonů. In *Sborník semináře Metakaolin 2009, Brno*, 18. 3. 2009, s. 156-161. Fakulta stavební VUT v Brně.
- Vavro, M., Šafrata, J., Hurta, J. (2006): Vysokopevnostní betony s příměsemi tepelně upravených kaolinů české provenience. In *Sborník 4. mezinárodní konference Speciální betony-vlastnosti-technologie-aplikace, Bystřice nad Pernštejnem*, 25.-27. 9. 2006, s. 7-14. Sekurkon Praha a Kloknerův ústav ČVUT Praha.
- Vavro, M., Bujdoš, D., Pticeň, F., Vlček, J. (2009): Umělé pískovce na bázi geopolymérů. In *Sborník odborných příspěvků 31. konference Sanace a rekonstrukce staveb 2009 a 11. konference WTA CZ, Praha*, 3.-4. 11. 2009, s. 71-77. Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péče o památky – WTA CZ a Kloknerův ústav ČVUT v Praze.
- Vavro, M., Pticeň, F., Mec, P. (2010): Studium vlastností metakaolínů vyrobených z alternativních jílových surovin. In *Sborník semináře Metakaolin 2010, Brno*, 18. 3. 2010, s. 116-121. Fakulta stavební VUT v Brně.
- Vejmelková, E., Keppert, M., Keršner, Z., Rovnaníková, P., Černý, P. (2012a): Mechanical, fracture-mechanical, hydric, thermal, and durability properties of lime-metakaolin plasters for renovation of historical buildings. *Constr. Build. Mat.*, **31**, 22-28.

- Vejmelková, E., Keppert, M., Rovnaníková, P., Keršner, Z., Černý, R. (2012b): Application of burnt clay shale as pozzolan addition to lime mortar. *Cem. Concr. Compos.*, **34**(4), 486-492.
- Wild, S., Khatib, J. M., Jones, A. (1996): Relative strength, pozzolanic activity and cement hydration in superplasticised metakaolin concrete. *Cem. Concr. Res.*, **26**(10), 1537-1544.
- Wild, S., Khatib, J. M., Roose, L. J. (1998): Chemical and autogenous shrinkage of Portland cement-metakaolin pastes. *Adv. Cem. Res.*, **10**(3), 109-119.
- Wong, H. S., Razak, H. A. (2005): Efficiency of calcined kaolin and silica fume as cement replacement material for strength performance. *Cem. Concr. Res.*, **35**(4), 696-702.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory projektu MŠMT Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin – projekt udržitelnosti (NPU I – LO1406) a projektu podpory dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumných organizací (RVO: 68145535).

Autor příspěvku by rád poděkoval Ing. Františku Pticekovi za dlouholetou vzájemnou spolupráci při modelovém ověřování vlastností a účinků metakaolinů v betonech a maltovinách a při vývoji některých nových typů metakaolinů.

ZEOLITOVÝ SEMINÁŘ A 20. JÍLOVÁ KONFERENCE V ČESKÉ REPUBLICE

Jílové minerály a zeolity v praxi a materiálovém výzkumu

12. září 2017
VŠCHT, Praha
Česká republika

Organizátor konference:

Zeolitová skupina a Česká společnost pro výzkum a využití jílů

Organizační výbor:

David Koloušek
Miroslav Pospíšil
Martin Šťastný
Pavel Hájek
Petr Kovář
Petr Praus
Soňa Jarková
Martin Holý

VŠEOBECNÉ INFORMACE:

Místo konání konference:

Konference o jílové mineralogii a petrologii, dříve i s mezinárodní účastí, než se naše společnost zapojila do pořádání Středoevropských jílových konferencí, jsou pořádány pravidelně již od roku 1958 na různých místech našeho státu. V letošním

roce se stane místem setkání pro zeolitovou skupinu a ČSVVJ Praha (VŠCHT). Bude organizována přednášková i posterová sekce.

Plánovaný program konference:

Témata:

- A) Zeolity (Zeolity v přírodních materiálech; Experimentální příprava zeolitů; Zeolity v technické praxi)
- B) Jílové minerály (Jílové minerály v přírodních materiálech; Jílové minerály v experimentální praxi; Jílové minerály v technické praxi)

Program konference

12. září 2017, (úterý)

8:00 – 9:30 hodin:

Příjezd a registrace

9:30 – 12:00 hodin:

Dopolední přednášková sekce o zeolitech

12:00 – 13:00

Oběd formou bufetu a posterová sekce

13:00 – 15:30

Odpolední přednášková sekce o jílech

15:30 – 17:00

Posterová sekce

Jednací jazyk:

Čeština, slovenština, angličtina.

Abstrakty přednášek je možno předložit v češtině, slovenštině i angličtině.

Přednášky a postery

Příspěvky mohou být předneseny ústně nebo formou posteru. Účastníci budou o zařazení do programu informováni e-mailem. Přednášky budou mít rozsah 10–15 minut. K dispozici bude projektor pro PC. Pro postery budou sloužit tabule o rozměrech 109 × 120 cm (šířka × výška), které budou umístěny v příslušných prostorách a budou ke zhlédnutí po celou dobu konference.

Dopravné akce:

15:30 – 16:00 hod. – Schůze České společnosti pro výzkum a využití jílů resp. po skončení odpoledních přednášek.

Stravování

V konferenčním poplatku jsou zahrnuty: občerstvení při přednáškách a konferenční materiály.

Informace o obědě bude k dispozici při registraci.

Registrace:

Účastníci se přihlašují vyplněním a zasláním přiložené přihlášky organizačnímu výboru. Po odeslání přihlášky je možno uhradit ve stanoveném termínu popř. při registraci na konferenci dobrovolný konferenční poplatek. Je v něm zahrnut příspěvek na režii konference, tisk konferenčních materiálů (knihu abstraktů, občerstvení během přednášek) a činnost společnosti. Uhrazení dobrovolného příspěvku bude velmi ceněno.

| | |
|---|--|
| Dobrovolný konferenční poplatek | do 10.7.2017 převodem, poté hotově při registraci |
| Účastník, člen ČSVVJ, zeolitové skupiny | 200 — 500 Kč |
| Studenti | 100 — 200 Kč |

Závaznou přihlášku je třeba zaslat nejpozději **do 10. července 2017**. Dobrovolný konferenční poplatek je možno uhradit bankovním převodem rovněž **do 10. července 2017** na účet u Fio banky a.s. č. ú. **2600344578/2010, variabilní symbol 202017, zpráva pro příjemce: jméno účastníka.** Adresa pobočky: Fio banka a.s. Ječná 37, 120 00 Praha 2 nebo poté v hotovosti na konferenci, kde bude vystaveno potvrzení o úhradě.
Do zprávy pro příjemce veptejte své jméno!
Veškeré bankovní poplatky jsou hrazeny plátcem!

Ubytování:

Ubytování nebude zajištěno.

INSTRUKCE PRO PŘEDLOŽENÍ ABSTRAKTŮ:

Autoři přednášek mohou mít rozšířené abstrakty (3–5 stran), minimálně krátký abstrakt o maximálně jedné straně je vyžadován. Barevné obrázky vložené do textu jsou možné.

Vzhled stránky (horní okraj 5 cm, levý okraj 2,5 cm, pravý okraj 2,5 cm, dolní okraj 2,5 cm)

NÁZEV PŘÍSPĚVKU - písmo Times New Roman, velikost 14, velké tučné, řádkování 1 (zarovnat vlevo)

(dvě řádky odrazit)

Autoři 1) 2) 3)... písmo Times New Roman, velikost 12, normální, řádkování 1 (zarovnat vlevo)

(jednu řádku odrazit)

1) 2) 3)... Pracoviště a adresy pracovišť, písmo Times New Roman, velikost 10, normální, řádkování 1 (zarovnat vlevo)

Text abstraktu, písmo Times New Roman, velikost 12, normální, řádkování 1 (zarovnat oboustranně)

Rukopis musí být napsán v českém, slovenském nebo anglickém jazyce v rozsahu jedné strany A4, napsaný ve formátu Word. Abstrakt zašlete emailem s dokumentem v příloze.

Prosíme všechny autory o maximální využití nabízeného místa prezentace.

ZÁVAZNÁ PŘIHLÁŠKA

Vyplňujte čitelně!

Jméno: Titul:

Příjmení:

Název instituce:

Ulice: Město:

PSC: Stát:

E-mail:

Fax: Telefon:

Statut: účastník student doprovázející osoba

Zaplatal jsem/Zaplatal dobrovolný konferenční příspěvek ve výši Kč dne/do dne.....

Podpis:

Závaznou přihlášku je nutné vrátit organizačnímu výboru **do 10. července 2017 poštou nebo se zaregistrovat na www.czechclaygroup.cz elektronickými formuláři a zaslání scanu na adresu pospisil@karlov.mff.cuni.cz**

PŘIHLÁŠKA ABSTRAKTU

Přihlášku abstraktu je nutné vrátit organizačnímu výboru **do 10. července 2017** společně s textem abstraktu.

Vyplňujte čitelně!

Jméno předkládajícího autora + spoluautorů:

Název příspěvku:

Prezentace: přednáška poster

Adresa: (ulice, PSČ, město):

Spojení: (e-mail, telefon, fax):

Technika k dispozici: dataprojektor

Podpis:

**KONTAKTNÍ ADRESY PRO ZÁLEŽITOSTI
TÝKAJÍCÍ SE KONFERENCE:**

Zeolitová skupina
Ing. David Koloušek, CSc.
VŠCHT
Technická, Praha 6

Tel.: (+420) 220 444 088
e-mail: David.Kolousek@vscht.cz

ČSVVJ
doc. RNDr. Miroslav Pospíšil, Ph.D.
Univerzita Karlova
Matematicko-fyzikální fakulta
Ke Karlovu 3, 12116 Praha 2

Tel.: (+420) 221 911 245
Fax: (+420) 221 911 249
e-mail: pospisil@karlov.mff.cuni.cz

AKTUALITY

2017

54th ANNUAL MEETING OF THE CMS

5.–8. června 2017
Edmonton, Alberta, Kanada
Internet: <http://www.cms2017.com>

**2nd INTERNATIONAL CONFERENCE ON
APPLIED MINERALOGY & ADVANCED
MATERIALS and 13th INTERNATIONAL
CONFERENCE ON APPLIED MINERALOGY
– AMAM-ICAM 2017**

5.–9. června 2017
Castellaneta Marina, Taranto, Itálie
Chair: Saverio Fiore
E-mail: info@amam-icam2017.org
Internet: <http://www.scientevents.com/amam-icam2017>

**1st JOURNAL OF THERMAL ANALYSIS AND
CALORIMETRY CONFERENCE & 6th V4 (joint
Czech-Hungarian-Polish Slovakian)
THERMOANALYTICAL CONFERENCE -
JTACC+V4**

6.–9. června 2017
Budapešť, Maďarsko
Email: jtacc@akcongress.com
Internet: <http://jtac-jtacc.akcongress.com>

**3rd INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
SUSTAINABILITY CHALLENGES IN
AGROECOSYSTEMS**

19.–21. června 2017
Osijek, Chorvatsko
Internet: www.hdpot.hr

**2017 EUROPEAN MINERALOGICAL UNION
SCHOOL: MINERAL FIBRES:** Mineral fibres:
crystal chemistry, chemical-physical properties,
biological interaction and toxicity

19.–23. června 2017
Modena, Itálie

Email: alessandro.gualtieri@unimore.it
Internet: <http://emu2017.unimore.it/>

16th INTERNATIONAL CLAY CONFERENCE –

ICC 2017
17.–21. července 2017
Granada, Španělsko
E-mail: chair@16icc.org or secretariat@16icc.org
Internet: <http://www.16icc.org/>

GOLDSCHMIDT 2017

13.–18. srpna 2017
Paříž, Francie
Email: helpdesk@goldschmidt.info
Internet: goldschmidt.info/2017

WORKSHOP ON LAYERED MATERIALS

1.–5. září 2017
Třešť, Česká republika
E-mail: jiri.cejka@jh-inst.cas.cz
Internet: <http://www.jh-inst.cas.cz/workshop2017/>

**DEGRADATION AND REVITALISATION OF SOIL
AND LANDSCAPE (Soil Science Days 2017)**

11.–13. září 2017
Olomouc, Česká republika
Internet: <http://ekologie.upol.cz/v4conference>

**7th CLAY CONFERENCE ON CLAYS IN
NATURAL AND ENGINEERED BARRIERS FOR
RADIOACTIVE WASTE CONFINEMENT**

24.–27. září 2017
Davos, Švýcarsko
Email: secretariat.clayconference@congrex.com
and sonja.mccullough@nagra.ch
Internet: www.clayconferencedavos2017.com

**17th NATIONAL CLAY SYMPOSIUM OF THE
CLAY SCIENCE SOCIETY-TURKEY**

4.–7. října 2017
Mugla city, Turecko

**2nd INTERNATIONAL CONFERENCE ON
CALCINED CLAYS FOR SUSTAINABLE
CONCRETE**

5.–7. prosince 2017
Havana, Kuba
Internet: www.lc3.ch/conference-2/

2018

**XXII MEETING OF THE INTERNATIONAL
MINERALOGICAL ASSOCIATION - IMA 2018**

13.–17. srpna 2018
Melbourne, Austrálie
E-Mail: info@ima2018.com
Internet: <http://www.ima2018.com/>

**9th MID EUROPEAN CLAY CONFERENCE –
MECC'18**

17.–21. září 2018
Záhřeb, Chorvatsko

**21st WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE
(WCSS)**

12.–17. července 2018
Rio de Janeiro, Brazílie

2019

EUROCLAY 2019

1.–5. července 2019

Paříž, Francie

8th INTERNATIONAL DTTG WORSHOP

březen 2019

Greifswald, Německo

2020

**36th INTERNATIONAL GEOLOGICAL
CONGRESS**

2.–8. března 2020

Delhi, Indie

2024

**37th INTERNATIONAL GEOLOGICAL
CONGRESS**

Korea, 2024

Vydává:

Česká společnost pro výzkum a využití jílů
V Holešovičkách 41

182 09 Praha 8 - Libeň

tel.: 266 009 490, 233 087 233

Registrační číslo: MK ČR E 17129

Editor:

RNDr. Martin Šťastný, CSc. (Geologický ústav

AV ČR, v.v.i.)

e-mail: stastny@gli.cas.cz, stastny.cm@seznam.cz

Členové redakční rady:

Doc. RNDr. Miroslav Pospíšil, Ph.D. (Matematicko-fyzikální fakulta UK)

Mgr. Jana Schweigstillová, Ph.D. (Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v.v.i.)

prof. Ing. Petr Praus, Ph.D. (Technická univerzita – VŠB Ostrava)

Technický redaktor:

RNDr. Martin Šťastný, CSc.

Vychází: 18.5.2017

Tištěná verze: ISSN 1802-2480

Internetová .pdf verze: ISSN: 1802-2499

