

PŮVODNÍ A METODICKÉ PRÁCE

MODIFIKOVANÉ ALKALICKY AKTIVOVANÉ ZEOLITOVÉ PĚNY: PŘÍPRAVA A CHARAKTERIZACE

ZDENĚK TIŠLER, JAN ŠAFÁŘ, ROMANA
VELVARSKÁ a LENKA PELÍŠKOVÁ

Unipetrol výzkumně vzdělávací centrum, a.s., Areál Chem-
park 2838, Záluží 1, 436 70 Litvínov
zdenek.tisler@unicre.cz

Došlo 9.4.18, přijato 15.10.18.

Klíčová slova: přírodní zeolit, klinoptilolit, alkalická
aktivace, anorganická pěna

Úvod

Alkalická aktivace aluminosilikátových materiálů s následným napěněním aktivované směsi představuje nízkoteplotní variantu přípravy anorganických pěnových materiálů, které jsou v současné době používány především ve stavebních aplikacích jako lehčené betony nebo tepelné a žároizolace.

Vedle metakaolinu, používaného pro přípravu tzv. pravých geopolymérů, mohou být aluminosilikátovou složkou i další přírodní materiály (vulkanické minerály, zeolitové tuhy, znělece^{1,2}) nebo odpadní materiály, jako jsou např. strusky, popílky, kaly^{3,4}. Přidáním pěnotvorné přísady do alkalicky aktivované směsi dojde k tvorbě makroporézní anorganické pěny s rozměry a tvary částic dle použité formy. Pěnotvornými přísadami použitelnými při napěnění těchto materiálů jsou látky, uvolňující při reakci v silně alkalickém prostředí plyny, nejčastěji H₂ a O₂, kde se využívá především jemných prášků lehkých kovů (Al, Mg, Zn^{5,6}), roztoků obsahující peroxid vodíku^{6,7}, případně křemičitého úletu resp. práškového křemíku^{8,9}.

Přírodní zeolity se nejčastěji vyskytují jako kompaktní jemnozrnné horniny formované sedimentární či sopečnou činností, jejichž hlavní složkou je zeolit klinoptilolit, patříci do skupiny heulanditu. Jeho struktura je tvořena 2D systémem kanálek obsahujícím dva druhy osmičlenných kruhů a jeden desetičlenný. Přírodní zeolit obsahuje i další minerální složky ze skupiny živců, slíd a jíly. Vedle Si a Al mají přírodní zeolity poměrně vysoký obsah dalších prvků: Fe, K, Na, Ca a Mg a malý měrný povrch obvykle okolo 20 m²/g. Přírodní zeolity obsahují poměrně vysoký obsah železa, které se v minerálu vyskytuje nejčastěji ve formě doprovodných minerálů, jako jsou hematit, magnetit

atd. Jejich nazelenalá barva je způsobena přítomností seldonitu, tato po vyžhání přechází na žlutooranžovou^{10,11}.

Samotné přírodní zeolity nejsou v katalytických aplikacích příliš používány z důvodu nevhodných texturních vlastností. Jejich použití je možné, ale vyžaduje předchozí úpravu postupy, jako jsou např. dealuminace^{12,13}, desilikace nebo iontová výměna¹⁴. Tyto úpravy vedou k vyčištění pórů a ke zvětšení měrného povrchu. Použití v sorpčních aplikacích je častější, a proto jsou využívány např. pro čištění plynů, odpadních a pitných vod, kde je jejich hlavní výhodou vysoká selektivita k iontům NH₄⁺ a iontům Cs⁺ a Sr²⁺ (cit.¹⁵).

Alkalicky aktivované materiály v sorpčních a katalytických aplikacích nejsou zatím příliš rozšířené. Vzhledem ke své mikroporézní struktuře je využití omezeno především na sorpční aplikace a reakce malých molekul, např. čištění odpadních vod¹⁶, kde byl studován materiál připravený alkalickou aktivací přírodních zeolitů nebo SCR proces (selektivní katalytická redukce NO_x) využívající jako heterogenních katalyzátorů právě geopolymery¹⁷.

Cílem výzkumu bylo připravit alkalicky aktivované materiály na bázi přírodních zeolitů, detailně je charakterizovat z hlediska chemických i texturních vlastností, a využít různé modifikační postupy ke změnám těchto vlastností tak, aby tyto materiály bylo možné využít i v jiných než stavebních aplikacích. Vlastnosti geopolymérů stejně jako zeolitových pěn lze upravit stejnými nebo podobnými postupy jako v případě modifikace přírodních zeolitů¹⁸. Tyto postupy vedou k materiálům s lepšími texturními vlastnostmi a lepší dostupností celého povrchu, než nabízí jen nadrcený přírodní zeolit, ve kterém se homogenně rozptýlené transportní makropóry obvykle nevytvářejí. Vlastnosti připravených materiálů, díky variabilitě modifikačních postupů a tím získaných vlastností, je pak předurčují k mnohem širšímu využití, např. v chemickém průmyslu jako katalyzátorů, sorbentů a katalyzátorových nosičů.

Experimentální část

Chemikálie a materiály

Pro přípravu nosičů na bázi alkalicky aktivovaných přírodních zeolitů byl použit komerční mletý zeolit Klinofeed® (Unipoint AG, Švýcarsko, $d_{50} = 28,9 \mu\text{m}$, $d_{90} = 73,8 \mu\text{m}$, označení vzorku KLI), který obsahuje min. 85 % klinoptilolitu, dalšími minoritními minerálními složkami jsou jíly, živce a slídy, a jehož složení je uvedeno v tab. I. Dále bylo použito sodné vodní sklo (Labar s.r.o., 8,66 hm.% Na₂O, silikátový modul 3,22), hydroxid draselný (LachNer s.r.o.) a hliníkový pudr (Labar s.r.o., obsah Al min. 99 hm.%) jako pěnotvorná přísada. K modifikaci připravených nosičů bylo použito 35% HCl, 30% H₂O₂,

Tabulka I
Chemické složení přírodního zeolitu Klinofeed®

Surovina	Chemické složení [hm. %]								Si/Al poměr
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	
Klinofeed®	74,20	12,20	4,70	2,19	4,70	0,24	0,72	0,27	5,16

25% čpavku, Al(NO₃)₃·9H₂O, TiO₂ (Lach-Ner s.r.o.), tetraorthosilikátu (TEOS, Sigma-Aldrich), TiO₂ (Sigma-Aldrich) a blokového kopolymeru PEG-PPG-PEG (Pluronic® P123, Sigma-Aldrich).

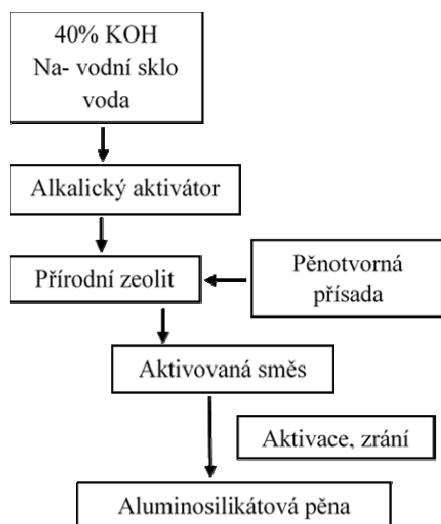
Příprava pěnových materiálů

Zeolitové pěny byly připraveny smícháním práškového přírodního zeolitu s alkalickým aktivátorem a pěnotvornou přísadou. Alkalický aktivátor byl připraven smísením 40% roztoku KOH, Na-vodního skla a demineralizované vody tak, aby výsledný silikátový modul alkalického aktivátoru M_s byl 1,51. Další parametry alkalicky aktivované směsi byly:

- vodní součinitel $w = 0,7$
- obsah alkálií $Me_2O = 8,2\%$ ($Me = Na, K$)
- molární poměr $Na_2O : K_2O = 0,56$

Do připravené zhomogenizované směsi byla rychle zamíšena pěnotvorná přísada Al pudr (obsah 0,05 hm.%) a ze vzniklé směsi byly ve formách vytvořeny pelety o průměru 5 mm. Aktivace probíhala v sušárně po dobu 48 h při 50 °C. Poté byly vzorky vyjmuty z forem a před dalším zpracováním ponechány zrát při laboratorních podmínkách po dobu 1 měsíce. Schéma přípravy zeolitové pěny je zobrazeno na obr. 1.

Vyzrálé pelety zeolitové pěny (označení vzorku AA-S, obr. 2) byly nejprve přes noc vysušeny při 120 °C



Obr. 1. Schéma přípravy zeolitové pěny

a poté louženy 3 M HCl při teplotě 80 °C po dobu 5 h (poměr pěna/roztok (g/ml) = 1:20). Po loužení kyselinou byly pelety důkladně propláchnuty demineralizovanou vodou do neutrálního pH a sušeny přes noc při 120 °C. Vysušené pelety byly vyžháný při teplotě 540 °C po dobu 6 h (nárůst 1 °C/min) a jsou označeny jako vzorek AA-D+K. Takto připravený materiál dále sloužil jako základní kostra pro nanosení oxidických vrstev – Al₂O₃, TiO₂ a SiO₂ (označení vzorků AA-Al₂O₃, AA-TiO₂ a AA-SiO₂). Vrstva Al₂O₃ byla připravena homogenním srážením 0,2 M roztoku dusičnanu hlinitého pomocí 5 M roztoku močoviny při refluxu po dobu 5 h. Vrstva TiO₂ byla připravena impregnací pelet pomocí peroxidického roztoku TiO₂ získaného rozpuštěním 1 g TiO₂ v 10 ml 30% H₂O₂ a 1,5 ml 25% NH₃. Vrstva SiO₂ byla připravena ponořením pelet do roztoku o složení TEOS : HCl : P123 : H₂O = 1 : 6,1 : 0,017 : 165, po dobu 24 h při teplotě 35 °C a dále 48 h při teplotě 95 °C. Všechny připravené vzorky byly následně promyty demineralizovanou vodou do neutrálního pH, sušeny při 120 °C a žháný při teplotě 540 °C po dobu 6 h (nárůst 1 °C min⁻¹).

Analytické metody

Chemické složení přírodního zeolitu a připravených vzorků bylo stanoveno metodou rentgenové fluorescence (XRF) na přístroji S8 Tiger (Bruker AXS) s Rh katodou. Výsledky byly zpracovány softwarem Spectra plus V3. Identifikace krystalických fází (XRD) byla provedena na práškovém difraktometru D8 Advance ECO (Bruker) vyu-



Obr. 2. Připravené pelety zeolitové pěny

živající CuK α záření ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$). Měření bylo provedeno v rozsahu úhlů 2θ od 5° do 70° a získaný difraktoqram vyhodnocen softwarem Diffrac.Eva s použitím databáze Powder Diffraction File database (PDF 4+ 2018, International Centre for Diffraction Data).

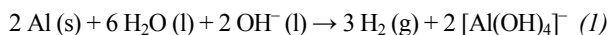
Texturní vlastnosti byly stanoveny měřením fyzisorpce dusíku při teplotě 77 K na přístroji Autosorb iQ (Quantachrome Instruments) a rtuťovou porozimetrií na přístroji AutoPore IV 9510 (Micromeritics). Všechny žíhané vzorky byly před měřením sušeny pod vakuem při teplotě $200 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 16 h.

Adsorpční vlastnosti materiálů byly studovány na přístroji pro termogravimetrickou analýzu TGA Discovery series (TA Instruments), ve kterém byl vzorek nejprve vysušen na $120 \text{ }^\circ\text{C}$ v proudu N_2 (20 ml min^{-1}) a po ochlazení na $50 \text{ }^\circ\text{C}$ byla provedena adsorpce CO_2 (průtok plynu 20 ml min^{-1}) po dobu 90 min. Desorpce byla provedena opětovným zahřátím vzorku na teplotu $120 \text{ }^\circ\text{C}$ v proudu N_2 (20 ml min^{-1}). Pro porovnání byl vždy proveden identický test pouze v proudu dusíku (bez sorpce CO_2).

Výsledky a diskuse

Alkalickou aktivací přírodního zeolitu za využití směsného aktivátoru na bázi KOH a Na-vodního skla dochází ke vzniku pevných a odolných anorganických materiálů příbuzných geopolymérům. Přidáním pěnотvorné přísady do aktivované aluminosilikátové směsi byla získána pevná porézní pěna, jejíž vlastnosti je možné dále měnit post-syntézními modifikacemi – loužením v kyselinách nebo nanesením oxidických vrstev na jejím povrchu.

Napěnění alkalicky aktivované směsi pomocí Al pudru probíhá podle následující rovnice (1):



Chemické složení vzorků je uvedeno v tab. II. Míru změny obsahu všech prvků v materiálu vyjadřuje modifikovaný silikátový modul materiálu M_{Si} (2), který po loužení připravené pěny pomocí 3M HCl výrazně narůstá.

$$M_{\text{Si}} = \frac{\text{SiO}_2}{\sum \text{Me}_x\text{O}}, \text{ Me} = \text{Al, Na, K, Fe, Ca, Mg, Ti} \quad (2)$$

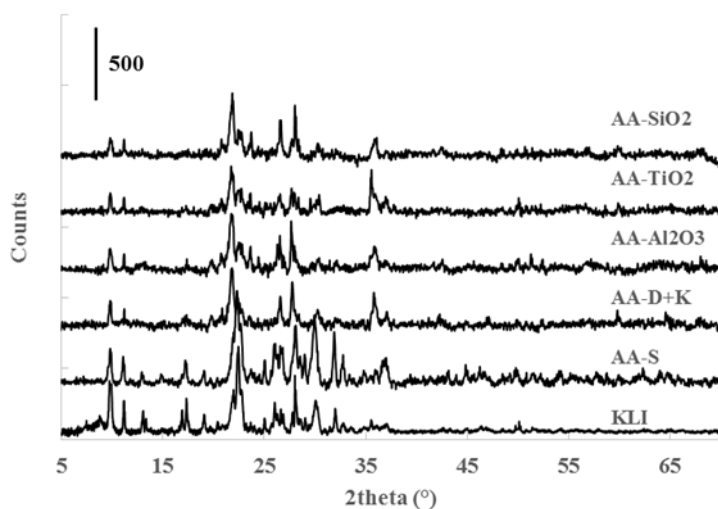
Ošetření vzorku kyselinou vede k výraznému poklesu měrné hmotnosti a současně k výraznému nárůstu měrného povrchu, což je způsobeno vyčištěním mikro-, mezo- a makropórů přítomných v zeolitové pění. Tento efekt je doprovázen výraznou redukcí obsahu dalších doprovodných prvků obsažených v připravených vzorcích (Al, Na, K, Fe, Ca, Mg) a současným vzrůstem Si/Al poměru (tab. II). Si/Al poměr se u vzorků opatřených oxidickou vrstvou mění dle typu nanosené vrstvy: Al_2O_3 poměr snižuje, u TiO_2 zůstává stejný a SiO_2 poměr zvyšuje na jedné straně vyloučením SiO_2 vrstvy, ale na druhé dodatečným vyloučením především Al a Fe kyselinou chlorovodíkovou, která je obsažena v roztoku použitým pro syntézu SiO_2 vrstvy.

Výsledky rentgenové difrakce zobrazené na obr. 3 ukazují, že po alkalické aktivaci zůstává částečně zachována krystalická struktura výchozího přírodního zeolitu. V pořízeném difraktoqramu vzorku KLI a AA-S lze identifikovat převážně zeolit klinoptilolit a anortit, patřící do skupiny živců, vzorek AA-D+K obsahuje stejné krystalické fáze a navíc SiO_2 , který vznikl vyžiháním zbytkových křemičitanů z alkalického aktivátoru. Při alkalické aktivaci tedy dochází především k rozpouštění dalších minerálních složek (převážně jílu), případně jen povrchu klinoptilolitových a anortitových zrn. Loužením kyselinou dochází ke snížení intenzit XRD píků vlivem narušení struktury, v porovnání s výchozím přírodním zeolitem klesá krystalinita vzorku. Oxidické vrstvy mají amorfni povahu a nejsou na difraktogramech pozorovány.

Vyčištění pórů je dobře pozorovatelné na výsledcích N_2 fyzisorpce a Hg porozimetrie (tab. III). Tyto výsledky ukazují, že loužení kyselinou vede k výraznému nárůstu měrného povrchu BET a objemu mikropórů. Tyto mikropóry jsou obsaženy ve vstupním zeolitu a z části také pojivové matici, která je strukturně zeolitům velmi podobná. V případě vzorků opatřených oxidickou vrstvou je měrný povrch BET nepatrně nižší (AA- Al_2O_3 , AA- TiO_2) a dosahuje hodnot $104,9 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ resp. $107,0 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. V porovnání se vzorkem AA-D+K, který byl použit jako základní kostra, výrazně klesá objem mikropórů, což je způsobeno zanesením těchto pórů o charakteristickém rozměru $1,0\text{--}1,5 \text{ nm}$ vzniklou oxidickou vrstvou a naopak dochází k nárůstu objemů mezopórů, které do vzorků oxidické vrstvy přinášejí. Výraznější pokles měrného povrchu

Tabulka II
Chemické složení připravených vzorků

Vzorek	Chemické složení [hm. %]								Si/Al poměr	M_{Si}
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	TiO ₂		
AA-S	71,80	10,10	8,57	1,30	3,07	4,09	0,66	0,17	6,03	5,06
AA-D+K	91,60	5,19	1,15	0,86	0,54	0,21	0,22	0,18	14,98	42,31
AA- Al_2O_3	88,80	7,70	1,09	1,09	0,53	0,18	0,19	0,22	9,79	–
AA- TiO_2	81,60	4,60	1,51	1,10	0,65	0,20	0,20	9,70	15,05	–
AA- SiO_2	93,60	3,26	1,25	0,30	0,58	0,17	0,10	0,24	24,36	–

Obr. 3. Difraktogramy přírodního zeolitu a připravených vzorků, KLI, AA-S, AA-D+K, AA-Al₂O₃, AA-TiO₂ a AA-SiO₂

Tabulka III

Texturní vlastnosti připravených vzorků

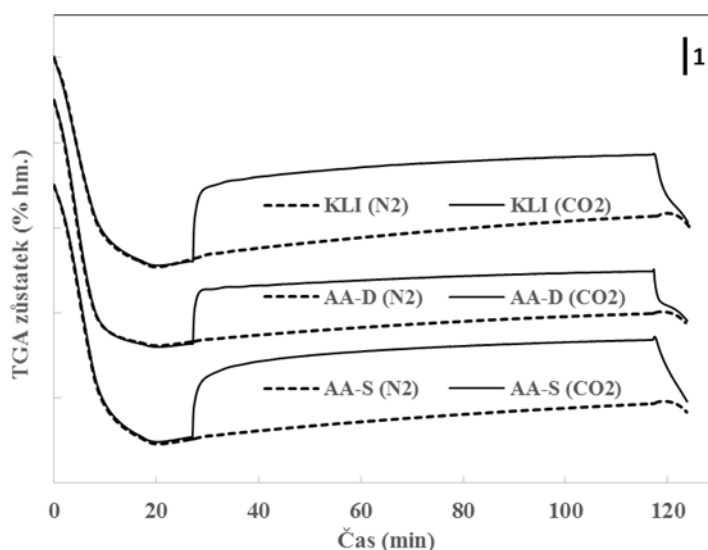
Vzorek	Objemová hmotnost [g cm ⁻³]	Měrný povrch BET ^a [m ² g ⁻¹]	Pórový objem ^a [cm ³ g ⁻¹]	Objem mikropórů ^a [cm ³ g ⁻¹]	Povrch pórů ^b [m ² g ⁻¹]	Intruzní objem ^b [cm ³ g ⁻¹]
AA-S	0,94	8,6 ^c	0,12	–	13,27	0,86
AA-D+K	0,74	136,4	0,13	0,04	18,10	0,75
AA-Al ₂ O ₃	0,76	104,9	0,11	0,02	22,98	0,78
AA-TiO ₂	0,75	107,0	0,19	0,02	22,10	0,69
AA-SiO ₂	0,69	67,6	0,18	0,01	50,52	0,71

^a měřeno N₂ fyzisorpcí, ^b měřeno Hg porozimetrií, ^c pouze v případě vzorku AA-S se jedná o měrný povrch S_{BET}, změřený v rozmezí relativních tlaků 0,05–0,30 p/p_0 , ve kterém platí teorie BET. U všech zbývajících vzorků se jedná o zdánlivý povrch, měřený, vzhledem k přítomnosti mikropórů, v rozmezí 0,007–0,05 p/p_0

BET je pozorován u vzorku AA-SiO₂ a je způsoben tvorbou nedefinovaných SiO₂ struktur na povrchu pěny resp. v přítomných pórech. Loužení kyselinou vede k výraznému poklesu objemových hmotností z 0,94 g cm⁻³ na hodnotu 0,75 g cm⁻³. Pokles souvisí s odstraněním nadbytečného alkalického aktivátoru a doprovodných prvků v připravené pěně. Vyšší pokles objemové hmotnosti vzorku AA-SiO₂ je způsoben dalším loužením složek vlivem HCl přítomné v roztoku pro syntézu SiO₂ vrstvy.

Sorpční vlastnosti materiálů byly sledovány na přírodním zeolitu jako vstupní surovině pro přípravu alkalicky aktivovaných pěn (KLI) a dále na vzorcích AA-S

a AA-D, který byl použit v nežíhané formě. Průběh sorpčních experimentů je zobrazen na obr. 4. Z uvedených grafů je možné vyhodnotit, že alkalicky aktivovaný materiál AA-S má přibližně stejnou sorpční kapacitu jako přírodní zeolit (adsorbované množství CO₂ činí 1,7 resp. 1,8 hm.%). Množství adsorbovaného CO₂ je v případě vzorku AA-D nižší (1,1 hm.%), to je způsobeno mnohem nižším obsahem alkálií ve struktuře materiálu, které jsou zodpovědné za tvorbu bazických míst. Ze sorpčních křivek je patrné, že zatímco v případě vzorku AA-S dochází k sorpci postupně a nárůst hmotnosti je později pozvolný, v případě vzorku AA-D probíhá sorpce naopak velmi



Obr. 4. Termogravimetrické záznamy sorpcí CO₂, KLI, AA-S a AA-D (sušení vzorku při 120 °C v N₂ (průtok 20 ml min⁻¹), následované ochlazením na 50 °C, sorpcí CO₂ (90 min při průtoku 20 ml min⁻¹) a desorpcí ohřevem na 120 °C v N₂)

rychle a ve velmi krátkém čase je naadsorbováno maximum CO₂. To je způsobeno mnohem větším měrným povrchem a zejména lepší dostupností pórů v pěnovém materiálu, které byly vyčištěny loužením kyselinou. V případě vzorků KLI a AA-S je po provedení desorpce zahřátím na teplotu 120 °C znatelný přírůstek hmotnosti cca. 0,2–0,3 hm.%, ten je způsoben pevněji vázaným CO₂ na bazická centra ve struktuře materiálu. Zbylé CO₂ je desorbován při teplotách okolo 200 °C, kdy již dochází souběžně také k úniku vody vázané v N-A-S-H pojivové matici a později při teplotách nad 450 °C také k úniku vody vzniklé odstěpením hydroxylových skupin.

Závěr

Alkalická aktivace přírodního zeolitu pomocí směsného aktivátoru KOH s Na-vodním sklem a přidavkem hliníkového pudru jako pěnotvorné přísady vede k produkci pevných a tepelně odolných pěnových materiálů, které si částečně zachovávají strukturu přírodního zeolitu a navíc poskytují makropóry, které zpřístupňují celý povrch. Přítomnost makropórů je důležitá nejen pro transport složek, ale také výrazně snižují objemovou a tím i sypanou hmotnost, což je důležité pro případné využití ve větším měřítku. Loužením materiálů kyselinou chlorovodíkovou dojde k vyčištění pórů, snížení obsahu doprovodných prvků, které byly obsaženy v původní surovině, tj. přírodním zeolitu a tím ke zvýšení poměru Si/Al. Sorpční vlastnosti napěněného alkalicky aktivovaného materiálu jsou v případě sorpce CO₂ podobné jako u přírodního zeolitu. Modifikace loužením kyselinou chlorovodíkovou vede k materiálu s nižší sorpční kapacitou CO₂, ale na druhou stranu může

být tento materiál využit jako kostra pro nanesení dalších vrstev, např. Al₂O₃, TiO₂ nebo SiO₂, což i vzhledem k možnosti tvarování zvyšuje potenciál těchto materiálů na případné využití jako katalyzátorů, sorbentů, případně katalyzátorových nosičů.

Tato publikace je výsledkem projektu Rozvoj centra UniCRE (kód projektu LO1606), který finančně podpořilo Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v rámci Národního programu udržitelnosti I. Výsledku bylo dosaženo s využitím infrastruktury zahrnuté do projektu Katalytické procesy pro efektivní využití uhlikatých energetických surovin (LM2015039), který finančně podpořilo MŠMT z prostředků účelové podpory velkých infrastruktur.

LITERATURA

1. Provis J. L., Palomo A., Shi C.: *Cem. Concr. Res.* 784, 110 (2015).
2. Rodríguez E. D., Bernal S. A., Provis J. L., Gehman J. D., Monzó J. M., Payá J., Borrachero M. V.: *Fuel* 109, 493 (2013).
3. Provis J. L., Palomo A., Shi C.: *Cem. Concr. Res.* 784, 110 (2015).
4. Rodríguez E. D., Bernal S. A., Provis J. L., Gehman J. D., Monzó J. M., Payá J., Borrachero M. V.: *Fuel* 109, 493 (2013).
5. Škvára F., Šulc R., Tišler Z., Skříčák P., Šmilauer V., Zlámalová-Cílová Z.: *Ceram.-Silik.* 58, 188 (2014).
6. Lynch J. L. V., Baykara H., Cornejo M., Soriano G., Ulloa N. A.: *Constr. Build. Mater.* 172, 448 (2018).
7. Feng J., Zhang R., Gong L., Li Y., Cao W., Cheng X.:

- Mater. Des. 65, 529 (2015).
8. Prud'Homme É., Michaud P., Joussein E., Peyratout C., Smith A., Rossignol S.: Appl. Clay Sci. 51, 15 (2011).
 9. Delair S., Prud'homme É., Peyratout C., Smith A., Michaud P., Eloy L., Joussein E., Rossignol S.: Corros. Sci. 59, 213 (2012).
 10. Loveland P. J., Bendelow V. C.: Mineral. Mag. 48, 113 (1984)
 11. Baerlocher Ch., McCusker L. B., Olson D. H., v knize: *Atlas of Zeolite Framework Types*, 6. vyd., str. 156, Elsevier, Amsterdam 2007.
 12. Kowalczyk P., Sprynskyy M., Terzyk A. P., Lebedynets M., Namieśnik J., Buszewski B.: J. Colloid Interface Sci. 297, 77 (2006).
 13. Cakicioglu-Ozkan F., Ulku S.: Microporous Mesoporous Mater. 77, 47 (2005).
 14. Rodríguez-Iznaga I., Rodríguez-Fuentes G., Benítez-Aguilar A.: Microporous Mesoporous Mater. 41, 129 (2000).
 15. ZEOCEM [online]., Bystré, Slovakia 2017, <http://www.zeocem.com/sk>, staženo 1. 10. 2018.
 16. Jha V. K., Hayashi S.: Acta Akita Univ. 10, 35 (2009).
 17. Sazama P., Bortnovsky O., Dědeček J., Tvarůžková Z., Sobalík Z.: Catal. Today 164, 92 (2011).
 18. Brylewska K., Rožeka P., Króla M., Mozgawa W.: Ceram. Int. 44, 12853 (2018).

Z. Tišler, J. Šafář, R. Velvarská, and L. Pelíšková
(Unipetrol Centre for Research and Education, Inc., Litvínov): **Modified Alkali Activated Zeolite Foams: Preparation and Characterization**

Porous zeolite foams prepared by alkali activation of natural zeolite were studied. Alkali activation of natural zeolite by mixed KOH and sodium water-glass activator, together with an aluminium powder foaming additive, leads to the production of solid heat-resistant materials with macroporous foam structure. Post-synthesis modification by acid leaching cleaned pores in foams reduced content of accompanying elements, and generated a foam material with open porosity suitable for application of oxide layers to improve its properties. In the present work, layers of Al₂O₃, TiO₂ and SiO₂ were deposited on this basic material. Their textural and morphological parameters, as well as CO₂ sorption properties, were studied on alkali activated zeolite foams. Based on obtained results it can be said that the prepared samples show good mechanical and textural properties, and are potentially usable in catalytic and sorption applications.

Keywords: natural zeolite, clinoptilolite, alkali activation, inorganic foam