

## TUHÉ ZBYTKY ZE SPALOVÁNÍ UHLÍ ZE SOKOLOVSKÉ UHELNÉ PÁNVE A JEJICH UNIKÁTNÍ SLOŽENÍ

*Pavla Renkerová<sup>a</sup>, Jana Chumchalová<sup>a</sup>, Daniela Římnáčová<sup>b</sup>, Ivana Sýkorová<sup>b</sup>*

*a) Ústav chemie ochrany prostředí, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6*

*b) Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v.v.i., V Holešovičkách 41, 182 09, Praha 8*

*\*e-mail: pavla.renkerova@vscht.cz*

*Vzorky popílků a strusek pocházející ze spalování uhlí ze Sokolovské uhelné pánve a odebírané v rozmezí let 2014 - 2017 z elektrárny Tisová byly studovány na obsah deseti minoritních prvků (Ti, Cs, Rb, Li, Ge, Ga, La, Ce, Pr, Nd), mezi kterými byl jako nejdůležitější uvažován titan. U získaných vzorků byly po mineralizaci proměřeny technikou AES obsahy vybraných prvků a následně byla provedena série testů na optickém a rastrovacím elektronovém mikroskopu. Mezi sledovanými prvky byly zjištěny významně zvýšené obsahy titanu, jehož průměrná koncentrace v popílku činila 51 g.kg<sup>-1</sup>, ve strusce potom 42 g.kg<sup>-1</sup>. Nejvyšší zjištěný obsah titanu - 92 g.kg<sup>-1</sup> byl zaznamenán ve vzorku popílku z elektrárny Tisová z listopadu 2014. Podrobnější studium vzorku s nejvyšším obsahem titanu ukázalo silně heterogenní strukturu s výskytem zrn, ve kterých koncentrace titanu dosahuje až nižších desítek hmotnostních procent.*

*Klíčová slova: popílek, struska, Sokolovská pánev, vzácné kovy*

Došlo 31. 5. 2019, přijato 17. 6. 2019

### 1. Úvod

Termín „tuhé zbytky po spalování uhlí“ (někdy také „vedlejší energetické produkty“) je v současné době používán pro souhrnné označení tuhých produktů odcházejících z elektrárenských a teplárenských kotlů. Do této skupiny materiálů náleží popílký, strusky, energosádrovec a také směsné produkty těchto tří složek. V České republice vzniká každý rok přibližně deset milionů tun těchto tuhých zbytků [1]. Tuhé zbytky po spalování uhlí byly zhruba do roku 2004 považovány za odpad, přesněji byly vykazovány v kategorii „ostatní odpad“ většinou pod katalogovým číslem 10 01 01 00 (popel, struska, škvára ze spalovacího zařízení), 10 01 02 00 (popílek ze spalování uhlí) a 10 01 05 00 (tuhý reakční produkt z odsířování spalin obsahující sloučeniny vápníku). Zhruba od roku 2004 jsou tuhé zbytky po spalování uhlí považovány za výrobek.

Tuhé zbytky po spalování uhlí nesoucí statut výrobku nacházejí široké spektrum použití [2]. Jednoznačně nejvyšší míru využívání mají tyto materiály a jejich případné směsné produkty ve stavebnictví. Již dlouhé desítky let se popílký, strusky i energosádrovec používají jako náhražka či doplněk primárních surovin při výrobě maltovin, cihlářských výrobků, pórobetonu, umělého kameniva, sádrokartonových desek a dalších materiálů pro stavebnictví. Značně velké objemy těchto materiálů nacházejí dále použití v dopravním stavitelství (zejména v rámci liniových staveb), při rekultivacích, terénních úpravách a zásypech. Pro oblast stavebnictví je používání tuhých zbytků po spalování uhlí (včetně jejich přijatelnosti pro životní prostředí) upraveno řadou technických norem. Mezi dalšími způsoby využívání lze čistě ilustrativně jmenovat například využití popílku v zemědělství, ukládání popílku a jeho směsí v hlubinných dolech, stabilizace a solidifikace odpadů, přípravu

geopolymerů, ukládání v těsnící vrstvě skládek atd. Výrazná část tuhých zbytků po spalování uhlí je potom ukládána na odkaliště a/nebo úložiště v blízkosti elektráren či tepláren.

Jedním z nových, či přesněji řečeno znovu oživaných způsobů surovinového využití tuhých zbytků po spalování uhlí je separace strategických prvků, kterých se zde mohou nacházet významná množství. V této souvislosti se dnes čím dál tím častěji zmiňuje nejenom v minulosti již realizované získávání germania z popílků [3], ale i často zajímavé obsahy dalších prvků – zejména ze skupiny prvků vzácných zemin [4, 5] a výše zmíněný titan. K tomuto nově vznikajícímu či opětně probouzenému zájmu vede řada ekonomických či bezpečnostních faktorů. Výrazně stoupá a bude stoupat například potřeba některých donedávna méně významných prvků v elektronice, optice, automobilovém průmyslu a dalších klíčových oblastech. Cenovou dostupnost, či již dokonce i samotný přístup k některým z těchto prvků již dnes silně ovlivňuje dominantní pozice některých zemí na globálním trhu s primárními surovinami.

Výše zmíněná výroba germania probíhala v letech 1960 až 1980 v závodě Lachema Kaznějov, přičemž jednou z využívaných surovin zde byl speciálně předupravený úletový popílek ze spalování černého uhlí. Výroba germania v Kaznějově byla posléze z ekonomických důvodů zastavena, nicméně postupně rostoucí světové ceny opět oživily obecný zájem o výrobu. Od počátku devadesátých let jsou úvahy o případném znovuzavedení výroby germania vázány na oblast Sokolovské uhelné pánve, kde byly nalezeny lokality s významně zvýšeným obsahem germania a mnoha dalších prvků obsažených v hnědém uhlí (lom Jiří, ložisko Michal II) [6]. Bohužel jsou zde zvýšené obsahy germania doprovázené také vysokou sirnatostí

(až cca 6 – 7 %) a také vyššími obsahy arsenu. Pro efektivní získávání germania z hnědého uhlí by musel být použit specifický způsob spalování umožňující účinné termické obohacování popílku, neboť germanium se váže na nejmenější částice úletu. Z dostupných zkušeností a provedených testů vychází zatím jako nejvýhodnější menší roštový kotel napojený na větší, například teplárenský blok [3]. Investiční náročnost a přísné emisní limity jsou v současné době zřejmě základní překážkou realizace. Vlastní extrakce germania z obohacených popílků (stejně jako příprava kovového germania) je již potom technologie známá a provozně ověřená. Na výše uvedených lokalitách Sokolovské uhelné pánve proběhla již v minulosti řada průzkumných prací i navazujících technologických zkoušek.

Tuhé zbytky po spalování uhlí (zde tedy jen popílků a strusky) jsou z největší části tvořeny oxidy křemíku, hliníku, železa, vápníku a některých dalších běžných prvků. V obsahu majoritních prvků se samozřejmě zásadně liší zbytky z fluidních a granulačních kotlů. Tuto základní matici potom doplňuje široké a velmi proměnlivé spektrum minoritních a stopových prvků. Spotřeba dominantně využívaného hnědého uhlí je v České republice prozatím plně kryta těžbou z našich ložisek – a to cca z 99 % ze severočeské a sokolovské pánve [6].

Cílem této práce bylo tedy doplnění již známých a technologicky využitelných skutečností týkajících se zvýšených obsahů germania v uhlí ze Sokolovské uhelné pánve o data k dalším potenciálně zajímavým minoritním prvkům. Specificky je práce zaměřena na zjištění obsahů deseti minoritních prvků a dále na zjištění skutečností, které mohou být významné pro separaci některého z těchto prvků.

## 2. Experimentální část

### 2.1. Odběry vzorků

Pro účely této práce bylo použito 13 vzorků úletového popílku a 10 vzorků strusky z elektrárny Tisová. Vzorky o hmotnosti cca 10 kg byly postupně získávány v letech 2014 - 2017 a pocházejí z granulačního kotle (elektrárna Tisová II). Vzorky byly přechovávány v dvojitém obalech (igelitový pytel, plastový box), aby se minimalizovalo pronikání vlhkosti. Pro účely dále popsanych analýz bylo z každého vzorku odebráno přibližně 30 gramů.

### 2.2. Analýzy vzorků

Vzorky popílku a strusky byly nejprve analyzovány na obsah vybraných prvků technikou AES (atomový emisní spektrometr s mikrovlnným plazmatem Agilent 4200 MP-AES). Před analýzou byly vzorky mineralizovány dvouhodinovým varem ve 3M kyselině dusičné s přidávkem peroxidu vodíku (5 ml 30% peroxidu do 100 ml). Vzorky úletového popílku byly dostatečně jemnozrné a homogenní a byly mineralizovány přímo. Vzorky strusky byly nejprve rozetřeny na porcelánové misce do jemně práškovité formy. Kalibrační roztoky pro AES byly ředěny z

jednoduchých referenčních roztoků ASTASOL® (1000±2 mg.l<sup>-1</sup>, v 2% HNO<sub>3</sub>). Při měření kalibračních křivek byly použity standardy 0,01-5,0 mg.l<sup>-1</sup>. Prvky byly proměřovány jednotlivě. Výsledky analýz technikou AES jsou ukázány v tab. 1.

Na základě stanovení obsahu vybraných minoritních prvků byl jako nejzajímavější vyhodnocen vzorek popílku s nejvyšším zjištěným obsahem titanu (92 000 mg/kg). Jednalo se o vzorek odebraný v listopadu 2014. Tento vzorek byl následně podroben měření technikou elektronové a optické mikroskopie. Zde byl použit nejprve rastrovací elektronový mikroskop TESCAN VEGA 3 LMU vybavený EDS analyzátozem umožňujícím provedení chemické mikroanalýzy pozorovaného vzorku. Pro techniku optické mikroskopie byl použit mikroskop Carl Zeiss Axio Imager M2m (světelná odraznost uhlíkatých částic, kalibrace odrazností provedena měřením optických standardů společnosti Carl Zeiss) a dále mikroskop Olympus s digitální kamerou a s polo automatickým bodovým kalkulátorem firmy PELTON (kvantitativní zastoupení částic). Pro účely optické mikroskopie byly podle ISO 7404-2 (2009) ze sypkých vzorků připraveny zrnové nábrusy, vlastní mikroskopické analýzy byly provedeny dle postupu v ISO 7404-3 (2009).

## 3. Výsledky a diskuse

Zastoupení strategických prvků v proměřovaných vzorcích popílku a strusky je v souhrnné formě ukázáno v tab. 1. Prvky uvedené v tabulce lze v principu rozdělit do čtyř částí. V první se nachází titan jako zástupce skupiny přechodných kovů. Zde je nutné zmínit, že v daných vzorcích byla analyzována řada dalších kovů z této skupiny, ale u žádného jiného kovu nebyly oproti běžnému výskytu v popílku a strusce zjištěny tak výrazně zvýšené obsahy. Podobně vysoké obsahy titanu v popílku či strusce (tedy až na hranici 10 %) nejsou zmiňovány ani ve světě [7-9]. V tomto směru je nutné považovat dané materiály za unikátní a jejich surovinový potenciál za značný.

V další části tab. 1 jsou shrnuty výsledky ke skupině alkalických kovů, zde zastoupených lithiem, cesiem a rubidiem. Uvedené obsahy nijak mimořádné nejsou, jedná se nicméně o prvky s obecně značnou ochotou přecházet do vodného roztoku, což by při případném surovinovém využití mohlo být významné. Třetí část prvků představuje germanium a galium, které jsou zde zahrnuty s ohledem na dříve již realizované provozní získávání germania z úletových popílků a uvažované pokračování s využitím zbytků po spalování uhlí z některých ložisek Sokolovské pánve. Ve zde analyzovaných vzorcích, které bohužel nebylo možné přiřadit ke konkrétní části určitého ložiska, byly obsahy obou prvků relativně malé. Poslední část tab. 1 představují prvky ze skupiny prvků vzácných zemin.

**Tab. 1** Obsahy zájmových prvků ve vzorcích popílku a strusky ze spalování hnědého uhlí ze Sokolovské uhelné pánve

**Tab. 1** The contents of elements in fly ash and bottom ash from brown coal combustion (Sokolov Coal Basin)

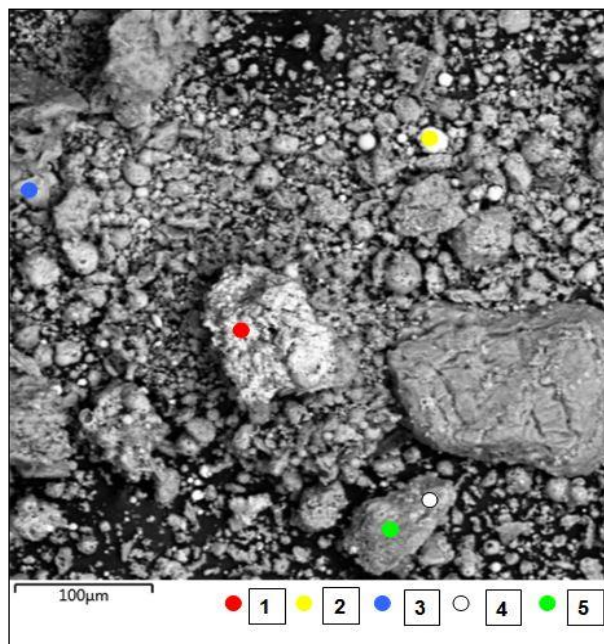
Prvek [mg/kg]	Popílek		Struska	
	Rozmezí [mg/kg]	Průměr [mg/kg]	Rozmezí [mg/kg]	Průměr [mg/kg]
Ti	41 000 92 000	51 000	37 000 57 000	42 000
Cs	<1 - 19	4,5	<1 - 9,2	2,3
Rb	2,3 - 32,8	9,8	1,4 - 11,9	3,0
Li	<1 - 106	39	2,3 - 91	31
Ge	2,3 - 19,2	8,6	0,8 - 5,6	2,2
Ga	1,9 - 39	18,2	0,3 - 35	13,5
La	21 - 232	140	13 - 205	65
Ce	52 - 750	430	32 - 380	140
Pr	<1 - 34	13	<1 - 23	5,6
Nd	2,3 - 92	66	<1 - 51	31

Do této skupiny obecně patří skandium, yttrium a všechny lanthanoidy. V tomto spektru byly i zde odebrané vzorky analyzovány, nicméně kromě čtyř prvků uvedených v tab. 1 byly obsahy všech ostatních prvků této skupiny na mezi stanovitelnosti. Určení reálného významu obsahu La, Cs, Pr a Nd není příliš jednoduché. Uvedené obsahy výrazněji nevybočují od údajů uváděných v literatuře [7, 10]. S ohledem na rychle se měnící situaci na trhu s prvky vzácných zemin nelze vyloučit, že se ekonomicky zajímavými stanou i suroviny s takto nastavenými obsahy. Určitý význam může mít při hodnocení výskytu zájmových prvků v popílcích a struskách také skutečnost, že se zde v jednom materiálu vyskytuje více prvků současně.

Vzorek úletového popílku získaný v elektrárně Tisová v listopadu 2014 byl následně podroben zkoumání technikou elektronové a optické mikroskopie. Tato měření obecně směřovala k bližšímu popisu morfologických charakteristik vzorku a k identifikaci heterogenit s možným významem pro separaci některého ze zájmových prvků. Jeden z prvotních náhledů na daný vzorek zprostředkovaný rastrovacím elektronovým mikroskopem je ukázán na obr. 1 (vzorek byl studován opakovaně, daný náhled byl vybrán pro velmi ilustrativní charakter).

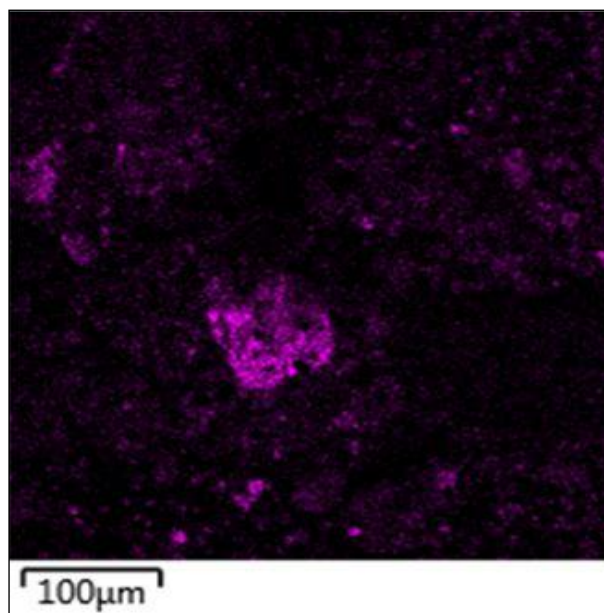
Použitý elektronový mikroskop nabízí pro pozorovaný vzorek možnost vytvoření prvkové mapy. Grafické znázornění takto vytvořené prvkové mapy pro titan je ukázáno na obr. 2. Zde je jasně vidět významná koncentrační anomálie zhruba uprostřed náhledu a současně také množství menších zrn se zvýšeným obsahem titanu. Prvková mapa samotná neumožňuje kvantifikaci, ale naznačuje, do jakých míst zaměřit XRF mikrosundu.

Na základě vytvořené prvkové mapy bylo tedy na původním vzorku (v barevně vyznačených bodech na obr. 1) provedeno s pomocí XRF mikrosondy pět lokálních analýz, jejichž výsledky jsou shrnuty v tab. 2.



**Obr. 1** Záznam z rastrovacího elektronového mikroskopu pro vzorek úletového popílku z elektrárny Tisová (odběr listopad 2014), barevné body označují místa zaměření XRF mikrosondy a provedení lokální prvkové analýzy

**Fig. 1** Scanning electron microscopy (SEM) image for Tisová power station fly ash (sample from November 2014), target points for XRF microanalysis indicated by colour points



**Obr. 2** Mapa výskytu titanu pro náhled ukázaný na obr. 1, světlejší místa odpovídají zvýšenému obsahu titanu

**Fig. 2** Distribution of titanium on the SEM image from Fig. 1, where bright sections relate to higher titanium contents

**Tab. 2** Výsledky prvkových mikroanalýz provedených v bodech 1 - 5 podle obr. 1

**Tab. 2** Elementary microanalysis performed in target points indicated in Fig. 1

Prvek	Obsah prvku v bodě [% hm.]				
	1	2	3	4	5
O	47,5	34,8	34,2	48,2	51,2
Ti	35,8	0,7	27,8	16,6	2,9
Al	6,4	3,0	10,0	9,3	17,4
Si	3,9	1,6	14,3	9,0	26,6
Fe	3,3	59,9	8,4	4,0	1,4
V	0,9	---	0,8	1,1	---
Ca	0,8	---	1,6	0,6	0,3
P	0,5	---	0,3	---	---
Sr	0,5	---	---	---	---
Mg	0,3	---	0,2	---	---
K	0,1	---	0,4	0,2	0,3

Na vzorku úletového popílku s mimořádně vysokým prokázáním obsahem titanu ( $92\ 000\ \text{mg.kg}^{-1}$ ) bylo tedy prostřednictvím výše popsání měření potvrzeno velmi nesourodé rozložení koncentrací tohoto prvku a výskyt lokálních anomálií (zrn), ve kterých obsah titanu dosahuje až na úroveň nižších desítek procent. Obraz poskytnutý na obr. 1 a 2 nebyl náhodný. Opakovaná (zde již neuvedená) měření stejného vzorku ukázala podobné heterogenní struktury. Velmi přibližně je možné na základě prvkové mapy na obr. 2 odhadnout, že zastoupení zrn s výrazně zvýšeným obsahem titanu se v rámci celého vzorku bude pohybovat na úrovni nižších jednotek procent. Zajímavým detailem je zde souvislost mezi obsahem titanu a železa v pěti lokálně analyzovaných bodech. Výrazně zvýšený obsah titanu doprovází relativně malý obsah železa a obráceně (viz body 1 a 2 v tab. 2). Průměrný obsah železa v daném vzorku úletového popílku činil  $87\ 900\ \text{mg.kg}^{-1}$ . Zhruba lze konstatovat, že obsahy titanu a železa ve vzorku jsou v podstatě stejné. Rozložení obou kovů je ale zásadně odlišné a nabízí se tak možnost oddělení například magnetickou separací.

Složení organického podílu vzorku úletového popílku technikou optické mikroskopie bylo provedeno dle postupu ISO 7404-3 (2009) a klasifikace morfologických typů [11-14]. Zjištěné výsledky jsou ukázány v tab. 3.

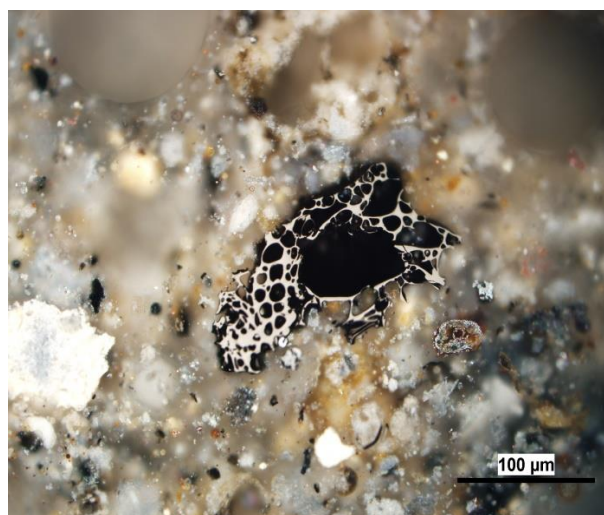
Jemnozrný vzorek popílku obsahuje cca 2/3 různorodých minerálních zrn často tepelně alterovaných aluminosilikátů, sklovité hmoty, křemene a z kovových minerálů např. spinelu.

**Tab. 3** Průměrná hodnota odraznosti uhlíkatých částic a složení částic podle velikostních tříd (% obj.)

**Tab. 3** Average reflectance of carbon particles and particles distribution according to size classification (% vol.)

Parametr	Hodnota
Odraznost $R_r$ (%)	3,26
Počet změřených bodů n	50
<b>ORGANICKÝ PODÍL</b>	31,4
Polokoks	28,5
Cenosféry	0,0
Porézni	18,3
Hutný	3,7
Masivní	2,8
Inertoid	0,7
Fragmenty	3,0
Nespálené uhlí	0,0
Mineroid	2,9
<b>ANORGANICKÝ PODÍL</b>	68,6
Kovové	6,9
Nekovové	61,7

Průměrná světelná odraznost uhlíkatých částic je u tohoto popílku poměrně vysoká. Částice polokoksu jsou opticky izotropní a mají různý tvar od kulovitého až po nepravidelný. Jejich textura je převážně porézni se síťovitou tenkostěnnou texturou. Mnohem méně je hutných a masivních částic (tab. 3). Byly nalezeny také částice mineroidu, resp. zrna alterovaného uhelnatého jílovce.



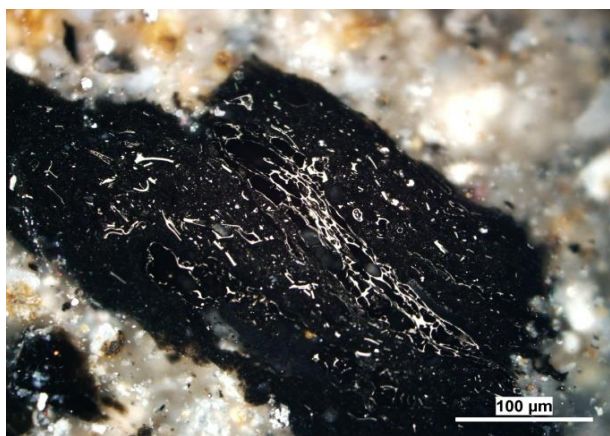
**Obr. 3** Porézni polokoks se síťovitou tenkostěnnou texturou ve směsi minerálních zrn převážně na bázi aluminosilikátů a křemene

**Fig. 3** Porous semi-coke with net-like thin-walled texture in mixture with mineral grains on aluminosilicate basis



**Obr. 4** Částice inertoidu a drobné fragmenty polokoksu mezi zrny pestré minerální fáze

**Fig. 4** Inertoid particles and small semi-coke fragments within mineral phase grains



**Obr. 5** Částice mineroidu – tepelně alterované jílové minerály s fragmenty polokoksu

**Fig. 5** Mineroid particles - thermally altered clay minerals with semi-coke fragments

#### 4. Závěry

Výsledky prezentované v tomto textu ukázaly, že popílky a strusky pocházející ze spalování hnědého uhlí ze Sokolovské uhelné pánve vykazují významné obsahy řady prvků s velkým průmyslovým významem. Jako nejzajímavější zde byl vyhodnocen vzorek úletového popílku získaný v listopadu 2014, který ukázal obsah titanu  $92\ 000\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . S pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu byla u tohoto vzorku zjištěna silně heterogenní struktura, v jejímž rámci byla identifikována zrna s lokálním obsahem titanu až na úrovni nižších desítek procent. Zastoupení zrn s takto extrémně vysokým obsahem titanu nebylo sice velké, byla zde ale naznačena možnost využití magnetické separace, neboť vysoký obsah titanu se projevoval u zrn s malým obsahem železa a obráceně. Mimořádně heterogenní strukturu s relativně malým obsahem kovového podílu potvrdilo u daného vzorku úletového

popílku také pozorování technikou optické mikroskopie provedené na speciálně připravených nábrusech.

#### Poděkování

Tato práce byla vytvořena v rámci projektu TAČR EPSILON - TH02020643 (Způsob získávání strategických prvků z tuhých zbytků po spalování uhlí) a pomocí Operačního programu Praha Konkurenceschopnost, projekt Centrum texturní analýzy (CZ.2.16/3.1.00/21538) díky dlouhodobému koncepčnímu rozvoji výzkumné organizace RVO: 67985891.

#### Literatura

1. Kubal M., Renkerová P., Březina M., Chumchalová J., Bucharová J., Hendrych J.: Integrovaný registr znečišťování životního prostředí z pohledu reálné vypovídací schopnosti; *Chemické listy*, 111(12), 2017, 821-828.
2. Fečko P.: Popílky, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Ostrava 2003.
3. Bílek J.: Využití germania z ložiska Michal II, výzkumná zpráva, Hnědouhelné doly a briketárny, koncern, Sokolov, 1989.
4. Mayfield D. B., Lewis Ari S.: Environmental Review of Coal Ash as a Resource for Rare Earth and Strategic Elements. World of Coal Ash Conference, Lexington, KY, 22-25. April 2013, dostupné na: <http://www.flyash.info/2013/051-Mayfield-2013.pdf>.
5. Blayda I., Slysarenko L., Vasyleva T., Abisheva Z.: Ash-and-Slag Wastes of Energy Sector as Raw Material for Production of Rare-Earth Metals and Alumina; *Journal of Environmental Science and Engineering A 1*, 2012, 704-713.
6. Pešek J. a kol.: Terciérní pánve a ložiska hnědého uhlí České republiky, Vydavatelství České geologické služby, 2010.
7. Robl T. et al.: Coal Combustion Products (CCP's) - Characteristics, Utilization and Benefication, Woodhead Publishing, 2017.
8. Kalemkiewicz J., Chmielarz U.: Functional speciation and leachability of titanium group from industrial fly ash; *Fuel*, 123, 2014, 73-78.
9. Shabtai Y., Mukmenev I.: A combined chemical-biotechnological treatment of coal fly ash (CFA); *Journal of Biotechnology*, 51(3), 1996, 209-217.
10. Seredin V.V.: Coal deposits as potential alternative sources for lanthanides and yttrium; *International Journal of Coal Geology*, 94, 2012, 67-93.
11. Bailey J.G., Tate A., Diessel C. F. K., Wall T. F.: A char morphology system with applications to coal combustion; *Fuel*, 76, 1990, 1241-1248.
12. Goodarzi F., Hower J. C.: Classification of carbon in Canadian fly ashes and their implications in the capture of mercury; *Fuel*, 87, 2008, 1949-1957.

13. Lester E., Álvarez Rodríguez D., Gómez Borrego Á., Flores D., Barranco R., Mastalerz M., Marques M., Wu Tao: The procedure used to develop a coal char-classification – Commission III Combustion Working group of the International Committee for Coal and Organic Petrology; International Journal of Coal Geology, 81, 2010, 333-342.
14. Suárez-Ruiz I., Flores D., Mendonça Filho J. G., Hackley P. C.: Review and update of the applications of organic petrology: Part 2, geological and multidisciplinary applications; International Journal of Coal Geology, 98, 2012, 73-94.

## Summary

### *Coal Combustion Residuals from Brown Coal of the Sokolov Coal Basin and their unique composition*

*Pavla Renkerová, Jana Chumchalová,  
Daniela Řimnáčová, Ivana Sýkorová*

Fly ash and bottom ash samples resulting from combustion of brown coal of the Sokolov Coal Basin were studied for the contents of ten minor elements (Ge, Ti, V, Rb, Cs, Ga, Nd, La, Ce, Pr), where titanium was considered as the most important component. The samples were analysed first by means of the AES technique for the target elements concentrations, which was followed by scanning electron microscope and optical microscope examination. All the samples analysed showed quite a high concentrations of titanium with the highest one reaching 92 000 mg.kg<sup>-1</sup> for a sample taken in Tisová power station in November 2014. Observation through scanning electron microscope showed that this sample contained the particles having up to about 35% of titanium.