

Tuhé produkty po spalování hnědého uhlí a biomasy při rekultivaci báňských výsypek

Ing. Pavel Schmidt¹, RNDr. Michal Řehoř, Ph.D.¹, Ing. Lukáš Žižka¹, Ing. Petr Šašek, Ph.D.², Mgr. Petra Máčová²

¹Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most; schmidt@vuhu.cz

²Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR v.v.i., Centrum excellence Telč; sasek@itam.cas.cz

Přijato: 26. 7. 2016, recenzováno: 17. a 18. 8. 2016

Abstrakt

Hlavní náplní článku je sumarizace zjištěných základních vlastností a chemického složení tuhých produktů po spalování hnědého uhlí a biomasy, které budou sloužit jako podklad pro posouzení možností využitelnosti těchto produktů při rekultivačních pracích, zejména v prostorách velkých povrchových lomů a oblastech jinak postižených průmyslovou činností. Výsledky ukazují, že se jedná o potencionálně zajímavé materiály, ale díky proměnlivému složení musí být detailně charakterizovány před jejich použitím, aby se zabránilo negativnímu vlivu na životní prostředí. Tyto práce jsou součástí dílčí části řešeného projektu Ministerstva zemědělství ČR s názvem „Metodika udržitelného zemědělského hospodaření v antropogenně poškozené krajině“.

Solid products of combustion of coal and biomass in the reclamation of the mine dumps

The article provides a summary of the determined fundamental properties and chemical composition of solid products after combustion of brown coal and biomass, which will serve as a basis for the assessment of the applicability of these products in reclamation works, in particular in the areas of large surface mines and localities otherwise affected by industrial activity. The results show that these substances are potentially interesting material, but thanks to the variable composition, they have to be characterized in detail before they are used to avoid the negative impact on the environment. The carried out works are partial results of the project of the Ministry of Agriculture of the Czech Republic named "Methodology of sustainable farming in anthropogenically damaged landscape".

Feste Produkte nach der Verbrennung von Braunkohle und Biomasse und deren Nutzung bei der Rekultivierung der Bergbaukippen

Das Hauptthema des Artikels ist Zusammenstellung der ermittelten Grundeigenschaften und chemischen Zusammensetzung von festen Produkten nach der Braunkohle- und Biomasseverbrennung, die als Grundlage für Beurteilung möglicher Nutzung dieser Produkte bei der Rekultivierungsarbeiten, insbesondere auf den Flächen der großen Tagebaue und in Gebieten, die durch industrielle Tätigkeiten anders betroffen sind, dienen werden. Die Ergebnisse zeigen, dass es sich um potentiell interessante Materialien handelt, aber wegen wechselhafter Zusammensetzung müssen diese Materialien eingehend vor deren Einsatz charakterisiert werden, um negative Wirkungen auf die Umwelt zu vermeiden. Diese Arbeiten sind ein Bestandteil eines zu lösenden Projektes des Ministeriums für Landwirtschaft ČR unter dem Namen „Methodik der nachhaltigen Landwirtschaft in einer anthropogen gestörten Landschaft“.

Klíčová slova: produkty spalování, popílek, biomasa, vlastnosti, výsypka, rekultivace.

Keywords: products of combustion, fly ash, biomass, properties, dump, reclamation.

1 Úvod

V České republice představuje výroba energií za použití fosilních paliv – zejména hnědého uhlí – stále hlavní podíl celkové produkce. Oblast energetiky je a nadále bude jednou z nejdůležitějších oblastí hospodářství ČR, zajišťující zásobování obyvatelstva a průmyslových podniků elektrinou a teplem. V elektrárnách a teplárnách je spalováno především tuzemské hnědé uhlí, těžené v povrchových dolech v severozápadní části ČR – Ústecký a Karlovarský kraj. Celková odbytová těžba tohoto uhlí se pohybuje v posledních třech letech v hodnotě kolem 42 mil. t. S tím je spojena vysoká produkce tuhých zbytků po spalování, resp. doprovodných produktů z odsíření kouřových spalin. Zavedení technologie odsíření v 90. letech minulého století u všech zvlášť velkých zdrojů přispělo k dodržení zásad trvale udržitelného rozvoje a je patrný i snižující se vliv velké energetiky na životní prostředí. Přesto patří území Ústeckého kraje k zatíženému nejen z hlediska kvality ovzduší. Emisní situace Ústeckého kraje s

výhledem do roku 2030 je sice predikována jako velmi příznivá - snižují se podíly všech základních složek emisí (SO_2 , NO_x , TZL), ale přesto je podíl emisí z těžebního i energetického průmyslu v tomto regionu významný. S tím souvisí rovněž emisní zatížení půd jako další významné složky životního prostředí. Náplní řešení projektu „Udržitelné formy hospodaření v antropogenně zatížené krajině“ bude získání prakticky využitelných poznatků pro efektivní zemědělskou produkci v ekologicky a ekonomicky dlouhodobě udržitelných systémech hospodaření na půdě. Jednou z dílčích součástí řešení bude i posouzení možnosti využití produktů po spalování uhlí a biomasy při optimálním způsobu rekultivace a revitalizace antropogenních půdních profilů a obnově území po těžbě hnědého uhlí. Půdní potenciál představuje důležitou hospodářsko-zdrojovou základnu ČR. Zajištění jeho udržitelnosti proto patří k základním principům hospodaření a péče.

2 Stav popelového hospodářství v Ústeckém kraji

V regionu severozápadních Čech (Ústecký kraj) jsou soustředěny na relativně malém území rozlehlé uhelné povrchové doly a rovněž vyšší počet velkých energetických zdrojů – elektráren a tepláren. Situace je uvedena na obrázku č. 1.

To představuje rovněž vysokou produkci produktů po spalování uhlí a produktů z odsíření. Využitelnost produktů po spalování a odsíření je závislá na kvalitativních vlastnostech těchto materiálů. Obecně platí, že při nekvalitní vstupní surovině (tj. palivu) nelze očekávat kvalitní produkt po spalování. Největší využití produktů po spalování uhlí je ve výrobě stavebních hmot, v pozemním stavitelství jako konstrukční materiál, dále na zlepšení (zajištění) stability výsypek povrchových dolů a jiné sanační práce. Pouze malé množství je v současné době trvale ukládáno na úložiště popílků.

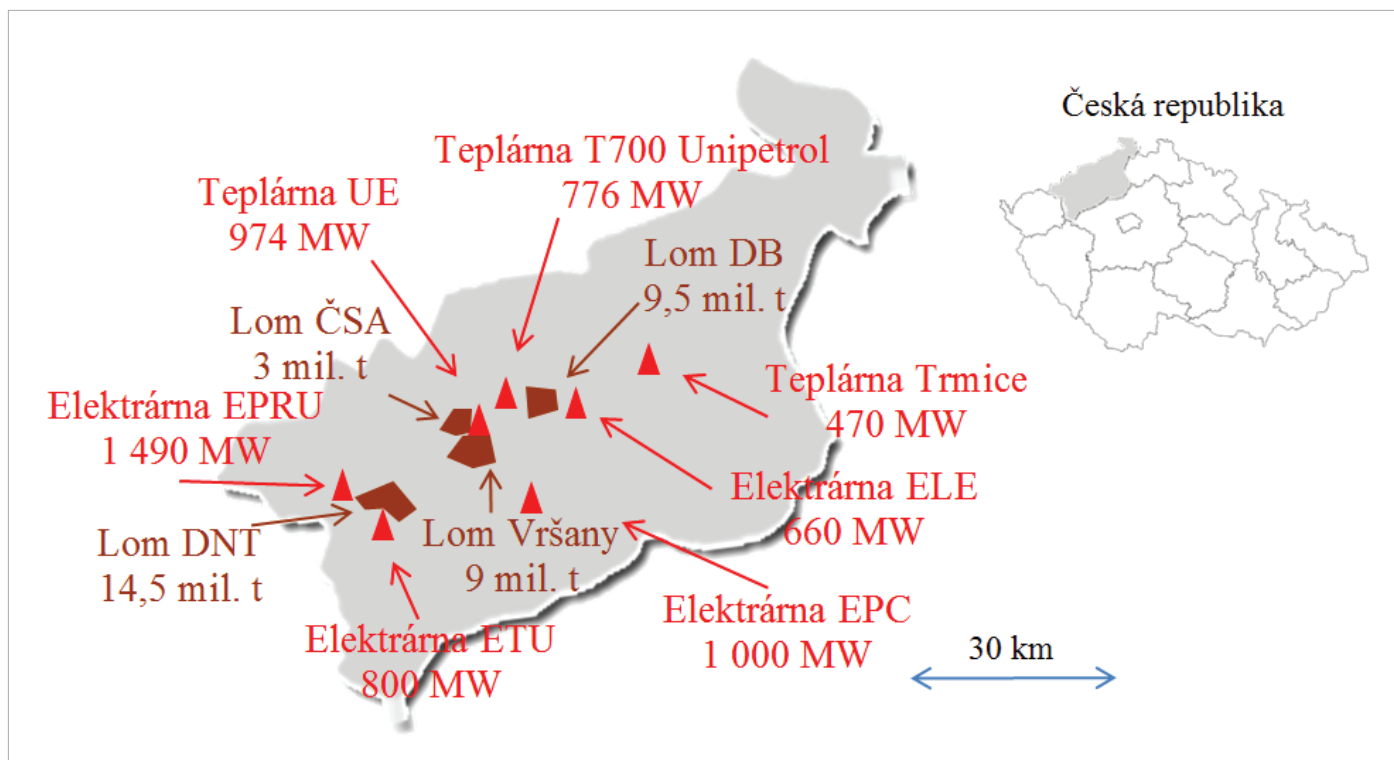
V České republice, v důsledku nesprávně stanovených příplatků za elektřinu vyrobenou s využitím spalování dřeva a jiné spalitelné biomasy v elektrárnách, nastal po roce 2000 „boom“ ve spoluspalování biomasy ve velkých teplárnách a v kondenzačních elektrárnách. Energetický regulační úřad (ERÚ) argumentoval v té době tím, že se biomasa pro výrobu elektřiny v kondenzačních elektrárnách pálit musí, protože v ČR není možné dosti rychle zavést účinnější způsoby využití biomasy v energetice, aby ČR měla naději splnit závazek na výrobu 8 % elektřiny a 6 % veškeré energie z hrubé domácí spotřeby z obnovitelných zdrojů do roku 2010. Pod tlakem varování ekologických odborníků, kteří poukazovali na kontraproduktivní účinky tak rozsáhlého spalování biomasy v elektrárnách, se v České republice tyto nesprávně stanovené ceny opravily a spoluspalování biomasy se podstatně omezilo. V současné době se tak ani v jednom velkém energetickém zdroji Ústeckého kraje nespáluje žádný podíl biomasy.

Jediným zdrojem o instalovaném výkonu 11 MW je teplárna na biomasu v Žatci. Předpokládané množství spalované biomasy je cca 28 000 t/rok a produkce popela cca 1 700 t/rok. Předpoklad použití popela po spalování biomasy je jako hnojivo v zemědělství.

Produkty spalování biomasy ve formě popela se v současnosti využívají pro zemědělství a lesnictví, ale i v jiných oblastech České republiky. To je však realizováno pouze u větších zdrojů spalování samotné biomasy, které jsou provozovány ve východní a jižní části Čech a na jižní Moravě. Dále je biomasa přednostně zpracovávána v kompostárnách, bioplynových stanicích a malých kotlích civilní nebo malopodnikatelské sféry. Množství produkovaného popela z biomasy již není možné uplatňovat na obhospodaření půdy, protože půda snese jen malé množství popela, má-li být aplikace prospěšná [1].

Nabízí se řešení, které počítá s uplatněním popela z biomasy stejným způsobem, jako je tomu v případě popela uhelného. Popel z biomasy má rozdílné parametry ve srovnání s popely z uhlí. Aby bylo možné popel z biomasy používat podobným způsobem, musejí se identifikovat rozdíly a vyhodnotit normové parametry, které jsou v současnosti platné pro použití uhelného popela jako aditiva do betonu. To je v současné době předmětem jiných výzkumných činností.

Z výše uvedeného pak vyplývá, že v oblasti severozápadních Čech je využití biomasy a případně produktů spalování biomasy pouze v zanedbatelné míře. Avšak ve vazbě na rozsáhlou obnovu krajiny a půdy po povrchové těžbě hnědého uhlí se nabízí využití části rekultivovaných ploch po těžbě hnědého uhlí i pro pěstování rychlerostoucích energetických plodin. Pro přípravu vhodného půdního profilu se proto uvažuje i s možností využití produktů po spalování samotného hnědého uhlí v přímém srovnání s produkty spalování biomasy. Využití se předpokládá zejména u ze-



Obr. 1: Situace povrchových dolů a energetických zdrojů v Ústeckém kraji.



Obr. 2: Popel po spalování biomasy.

mědělsky méně vhodných půd nebo přímo fytotoxických horizontů nebo jako modelování vhodného povrchu rekultivovaných ploch.

3 Testování produktů po spalování hnědého uhlí a biomasy

Díky svým vlastnostem jsou produkty po spalování ve velké míře celosvětově využívány při stabilizaci zemin. I v zemědělství lze produkty po spalování využít při stabilizaci zemin [2]. V České republice je tento způsob využití aplikován zejména v severních Čechách při stabilizaci výsypek hnědouhelných dolů, v hlouběji uložených horizontech jako konstrukční prvek ve stabilně problematických oblastech. Používají se zejména výrobky z popelů po jejich zpracování do formy granulátů, velmi často pak ve směsi s produkty odsíření se schopností vytvrdnutí. Jejich vlastnosti pak přispívají ke zlepšení stability velkých zemních těles [3]. Pro využití popelů i do podkladních nebo svrchních půdních horizontů bylo zapotřebí podrobit tyto opětovnému

testování fyzikálních, mechanických a chemických parametrů. V následujícím textu jsou uvedeny výsledky testování popelů po spalování hnědého uhlí z výše uvedených velkých spalovacích zdrojů. Jedná se o popílky z klasického spalování v práškových kotlích a fluidních kotlích. Paralelně jsou uvedeny parametry popela po spalování biomasy – směsi sena a slámy (obrázek č. 2).

Cílem stanoveného rozsahu laboratorních zkoušek produktů spalování bylo stanovit základní parametry, které budou dále využity pro stanovení možností jejich využití při rekultivačních a sanačních pracích, zejména ve výsypkových prostorách povrchových dolů.

Rozsah zkoušek produktů po spalování:

a) Fyzikálně technické vlastnosti

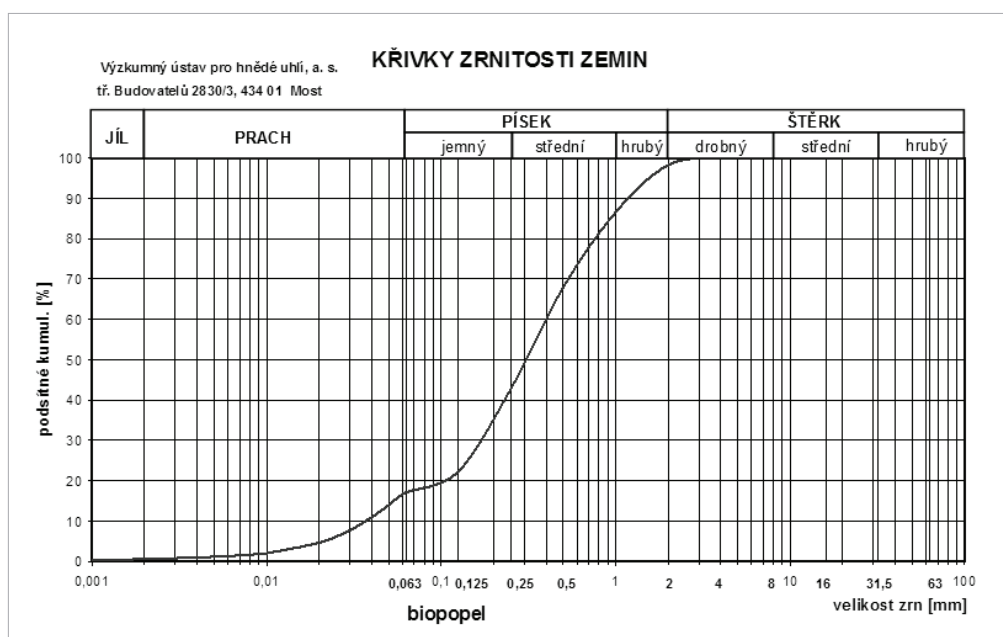
- Vlhkost
- Měrná hmotnost (zdánlivá hustota pevných částic)
- Sypaná hmotnost
- Ztráta žíháním
- Granulometrická analýza
- Mikroskopická analýza
- RTG difraktometrie
- SEM – EDS
- Termická analýza

b) Chemické vlastnosti

- Chemický rozbor popela (silikátový rozbor)
- Stanovení obsahu volného oxidu vápenatého CaO
- Stanovení totálních obsahů stopových prvků
- Stanovení obsahu aniontů (IEC)
- Ramanova spektrometrie

3.1 Základní přehled výsledků

V následujících tabulkách jsou uvedeny základní vlastnosti produktů po spalování tuhých paliv a biomasy a granulometrie jednotlivých produktů.



Obr. 3: Granulometrie popela z biomasy.

Jak je patrné z následující tabulky a obrázku, granulometrie popílku z biomasy je výrazně odlišná od ostatních typů popílků. Je to dáno především tvarem vstupního materiálu a způsobem spalování, kdy u biomasy dochází k nedokonalému spálení a popel proto obsahuje velké množství nespáleného podílu.

Chemický rozbor popela a výsledky stanovení iontů ve vodném výluhu jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Mezi nejdůležitější parametry, které se musí sledovat při rekultivačním využití produktů po spalování, patří obsah těž-

Tab. 1: Základní fyzikálně-technické vlastnosti.

Parametr	Klasický popílek	Struska	Fluidní popílek	Popílek biomasa
Vlhkost [%]	0,1 - 0,2	34 - 48	0,1 - 0,2	0,3 - 0,4
Sypná hmotnost [kg.m ⁻³]	750 - 960	600 - 650	650 - 750	120 - 200
Zdánlivá hustota [kg.m ⁻³]	2 200 - 2 450	2 450 - 2 550	2 750 - 2 850	2 100 - 2 200
Ztráta žháním [%]	0,3 - 1,1	0,6 - 3,5	0,5 - 1,4	15 - 35

Tab. 2: Granulometrické složení - zrnitost.

Parametr	Klasický popílek	Struska	Fluidní popílek	Popílek biomasa
Pořadnice d10 [mm]	0,001 - 0,002	0,08 - 0,2	0,001 - 0,004	0,04 - 0,05
Pořadnice d50 [mm]	0,02 - 0,04	0,2 - 1,0	0,02 - 0,05	0,2 - 0,5
Pořadnice d90 [mm]	0,08 - 0,1	4,0 - 20,0	0,08 - 0,15	0,8 - 1,5

Tab. 3: Chemický rozbor popela.

Parametr	Klasický popílek	Struska	Fluidní popílek	Popílek biomasa
SiO ₂ [%]	45 - 52	40 - 45	27 - 45	44 - 46
TiO ₂ [%]	1,9 - 2,5	2 - 2,5	1,2 - 1,8	0,04 - 0,07
Al ₂ O ₃ [%]	19 - 29	25 - 30	20 - 26	0 - 0,2
Fe ₂ O ₃ [%]	5 - 12	10 - 16	4 - 6	1 - 1,6
CaO [%]	0,7 - 2,7	0,8 - 1,1	10 - 19	8 - 12
SO ₃ [%]	0,2 - 1,4	0,2 - 0,4	4 - 9	5 - 9

Tab. 4: Celkový obsah vybraných rizikových prvků.

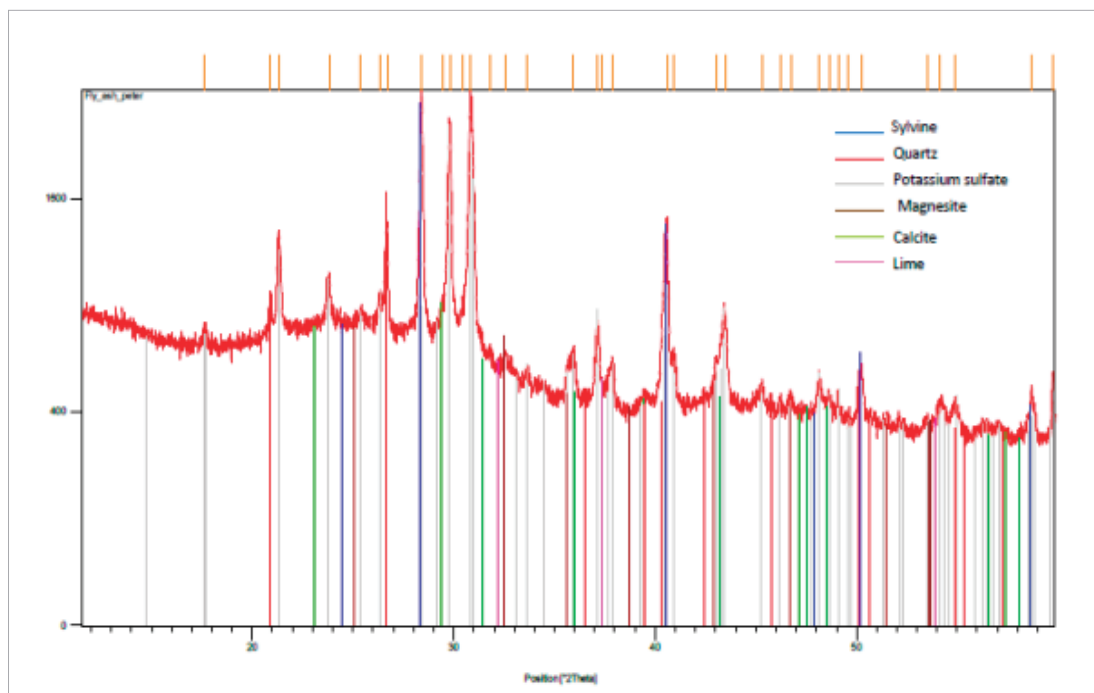
Parametr [mg/kg suš.]	Klasický popílek	Struska	Fluidní popílek	Popílek biomasa
As	13 - 80	4 - 7	40 - 70	8 - 20
Cd	<0,1 - 0,16	<0,1	<0,1 - 0,14	0,2 - 0,6
Hg	0,02 - 0,22	0,01 - 0,06	0,13 - 0,48	0,10 - 0,40
Pb	6 - 50	0,6 - 6,6	25 - 37	18 - 30
Cr	18 - 280	165 - 280	120 - 260	65 - 90

Tab. 5: Stanovení kationtů v popelovinách.

Typ popílku	c / mg l ⁻¹			
	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
hnědé uhlí	3,3	3,1	1,6	31,6
biomasa	13,0	1749,7	3,1	12,8

Tab. 6: Stanovení aniontů v popelovinách.

Typ popílku	c / mg l ⁻¹					
	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
hnědé uhlí	0,6	0,7	-	-	-	78,5
biomasa	0,1	245,0	2,5	1,1	-	993,5



Obr. 4: XRD analýza vzorku popela ze spalování biomasy – směs seno a sláma.

kých kovů. Jak plyne z tabulky č. 4, největší obsahy měl popílek z fluidního spalování, kdy výrazně vyšší jsou hodnoty pro As a Cr. Obsah rizikových prvků je především závislý na kvalitě paliva a způsobu spalování. U popelů z biomasy jsou tyto hodnoty obecně nižší. U vodných výluhů jsou patrné rozdíly mezi popílkem ze spalování uhlí a biomasy hlavně v obsahu draselných iontů. Draslík zasahuje do řady metabolických procesů a jeho účast je významná hlavně při fotosyntéze a dýchání, a dále jako nespecifický aktivátor řady enzymů. S rostoucí koncentrací draslíku se rovněž stimuluje příjem dusičnanů, chloridů, dihydrogen fosforečnanů a síranů. Další markantní rozdíl je v koncentraci síranů a chloridů. Síra ve formě síranů patří mezi makrobiogenní prvky a obecně lze říct, že rostliny mají vysoké požadavky na dostatek síry. Při současném znečištění ovzduší je bilance síry v půdách vesměs pozitivní. Nejméně síry je obsaženo v písčitých půdách, kde by mohlo zapracování popela z biomasy mít pozitivní vliv na půdní bilanci. [4,5,6]

XRD analýza byla provedena u popílku z biomasy (obrázek č. 4). Majoritní zastoupení křemene je doplněno řadou draselných sloučenin (sylvín, síran draselný) a uhličitánů (hořečnatý, vápenatý).

Vedle majoritních minerálů bylo XRD analýzou identifikováno minoritní zastoupení fosforečnanových sloučenin, které jsou uvedeny v tabulce č. 8.

Rovněž bylo provedeno několik měření pomocí elektronového mikroskopu s cílem zjistit tvar a deformace popelových zrn. Na následujících obrázcích jsou znázorněny jednotlivé typy popelů. U vybraných vzorků byla provedena EDS analýza s cílem zjistit prvkové zastoupení na vybraném místě (ploše).

Na obrázku č. 5 jsou znázorněna typická kulatá zrna, která jsou obsažena v popílku po spalování uhlí. Povrch zrn je pokrytý krystalickými formami prvků a jejich analýza je na následujících obrázcích.

U bodu jedna jsou dominujícími prvky kyslík, křemík a hliník. Jedná se o kuličky aluminosilikátového skla. Trigonální tvar krystalu v bodě 4 a 5 je typický pro oxidy železa, které vznikly na povrchu aluminosilikátového skla.

Obrázek č. 7 ukazuje různorodost popílku z biomasy. Jsou zde patrné fragmenty nespáleného paliva a velmi malé skleněné kuličky, které vyplňují strukturu zbytků rostlin.

SEM – EDS analýza ukázala velkou rozmanitost zastoupení prvků v popílku z biomasy. Na obrázku č. 8 je vidět charakteristické elementární složení popílku z biomasy, kdy dominují, vedle křemíku a kyslíku, hlavně draslík, vápník, fosfor a hořčík, tj. typické prvky obsažené v rostlinách.

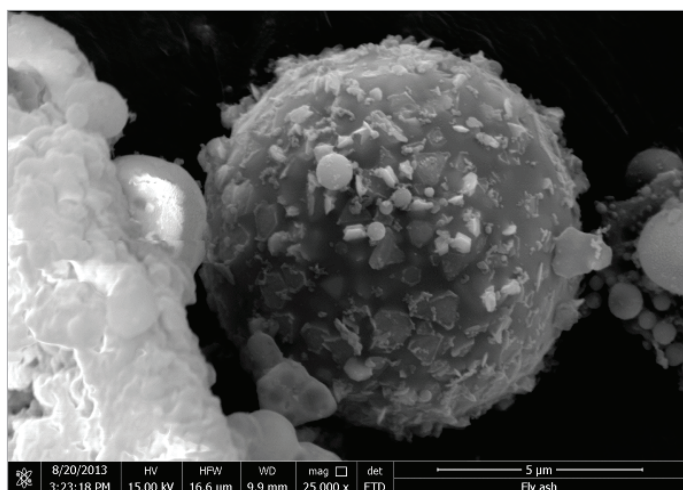
V rámci testování byla provedena rovněž Ramanova spektrometrie (obrázky č. 9a, b). Analýzou jednotlivých spekter lze identifikovat hlavní složky popílků, tj. křemeny SiO_2 a alkalické živce – ortoklasy KAlSi_3O_8 . Vedle amorfního uhlíku byl u popílku z hnědého uhlí naměřen anatas TiO_2 . U popílku

Tab. 7: XRD analýza popela ze spalování biomasy.

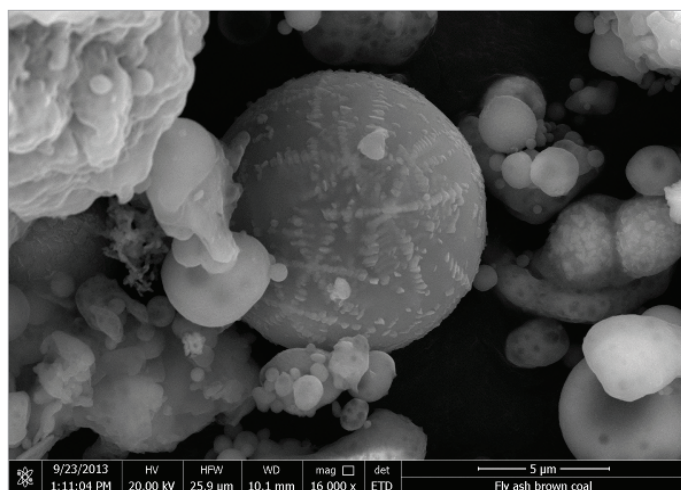
Minerál	Složení	PDF code
Sylvín	KCl	01-075-0296
Křemen	SiO_2	03-065-0466
Síran draselný	K_2SO_4	01-083-0681
Magnesit	MgCO_3	01-086-2376
Kalcit	CaCO_3	01-086-0174
Vápno	CaO	01-077-2376

Tab. 8: Minoritní zastoupení minerálů ve vzorku popela z biomasy.

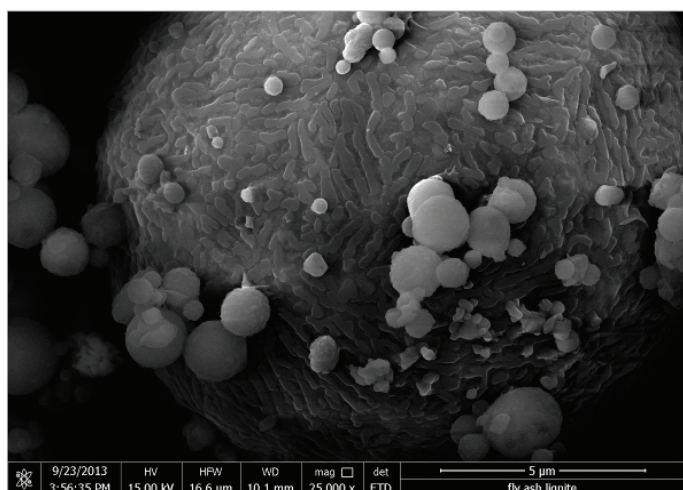
Minerál	Složení	PDF code
Monetit	CaHPO_4	01-075-1520
Stanfieldit	$\text{Mg}_3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_4$	03-073-1182



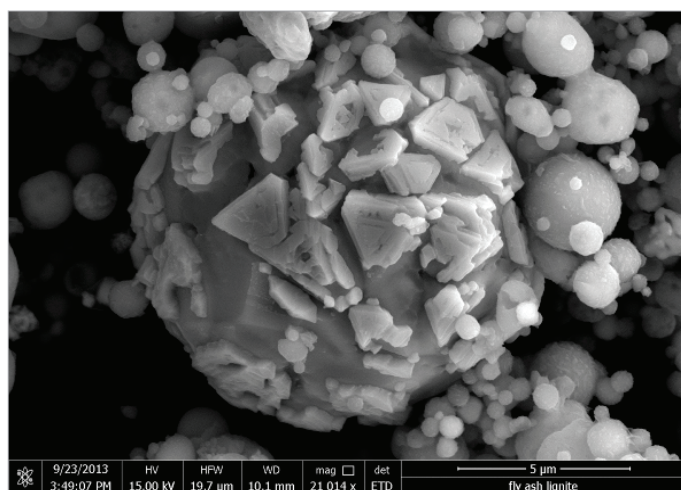
a) hnědé uhlí – zvětšení 25 000x



b) hnědé uhlí – zvětšení 16 000x

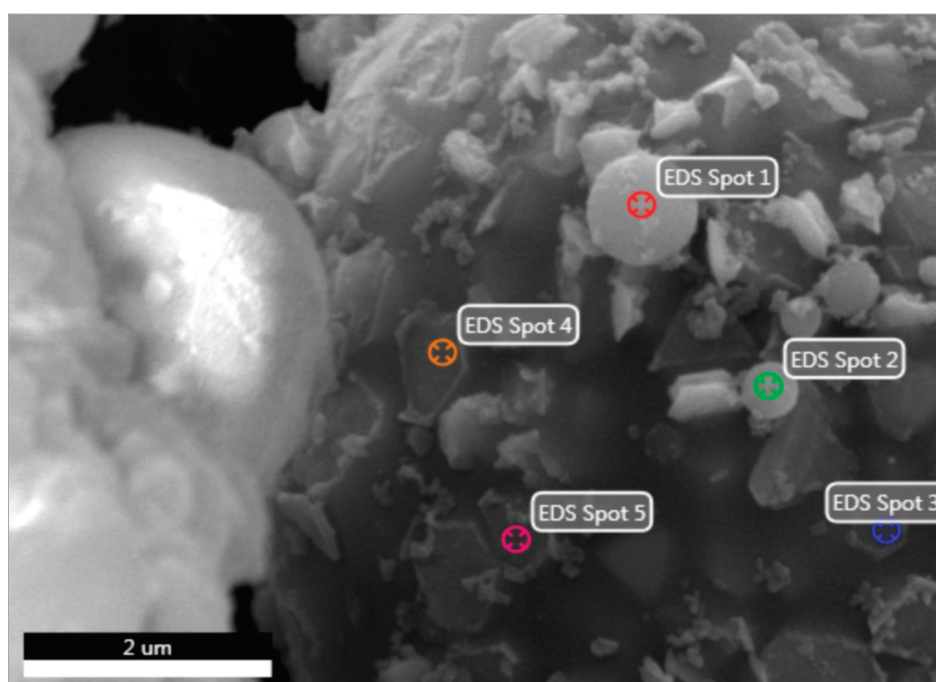


c) hnědé uhlí – zvětšení 25 000x

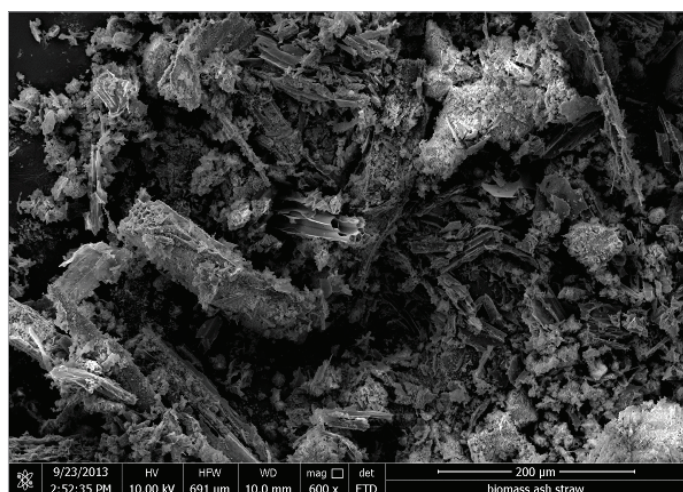
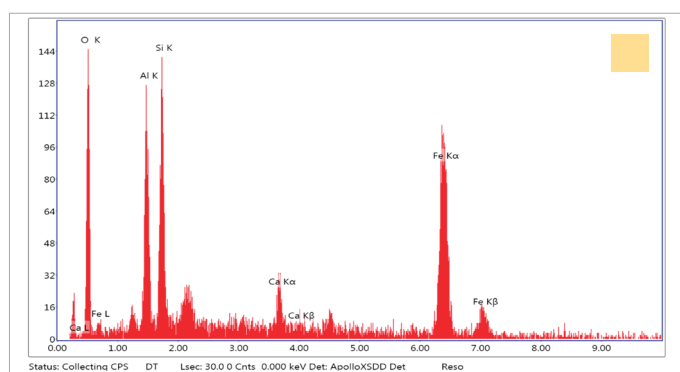
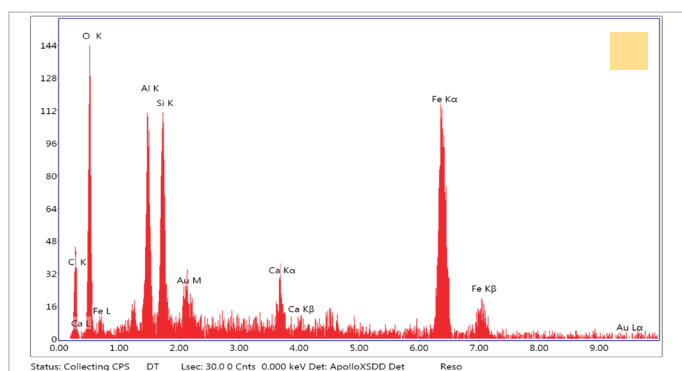
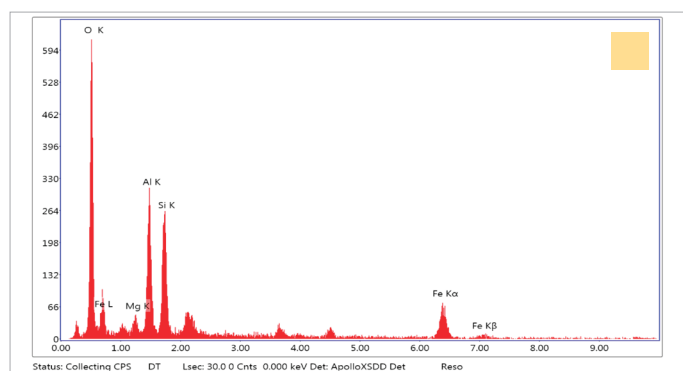
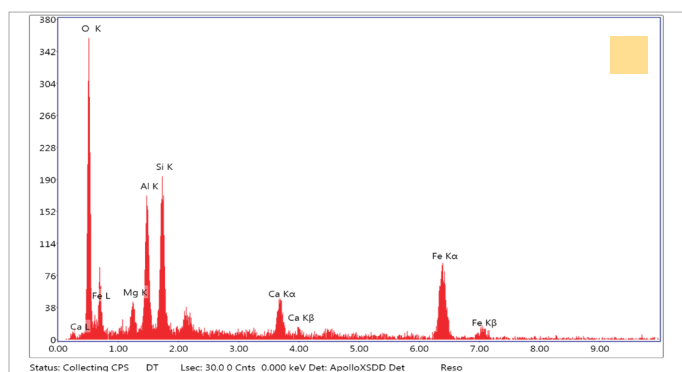
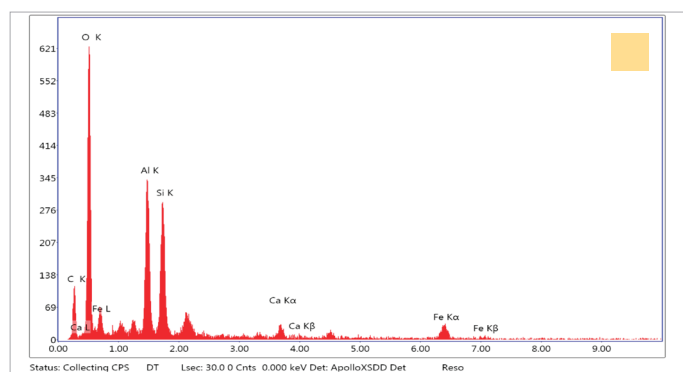


d) hnědé uhlí – zvětšení 21 014x

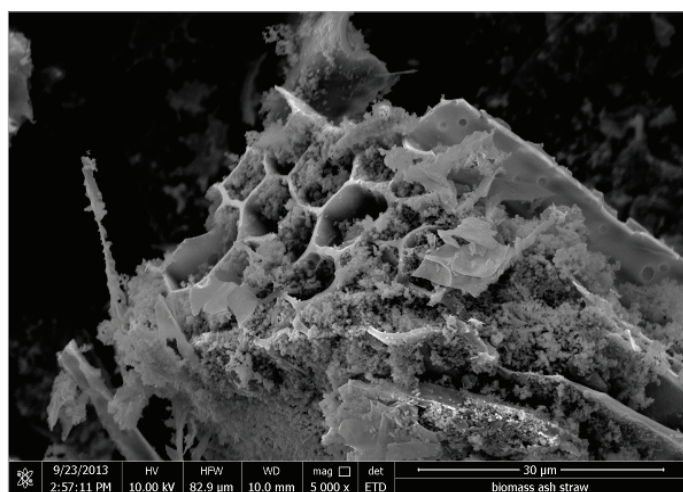
Obr. 5: SEM popílek z hnědého uhlí.



Obr. 6: SEM – EDS popílek z hnědého uhlí (výstupy detailně v grafech - viz další strana).



a) biomasa – zvětšení 600x

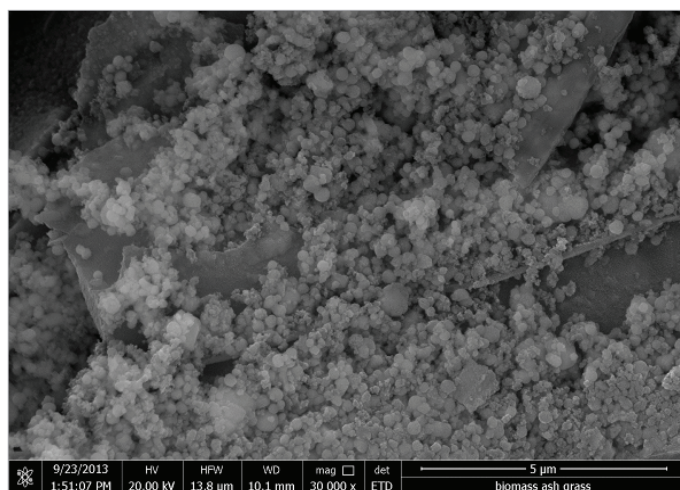


b) biomasa – zvětšení 5 000x

Obr. 7: SEM popel ze spalování biomasy.

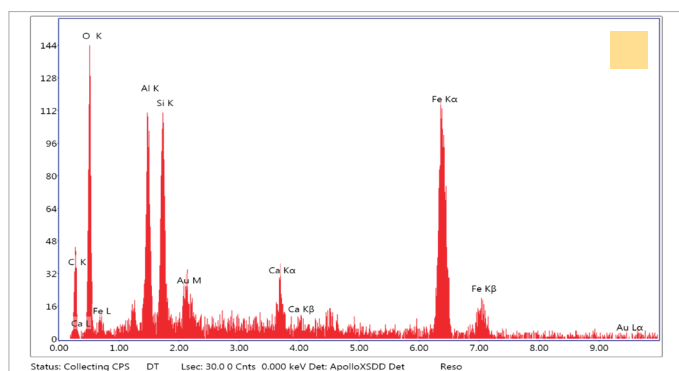
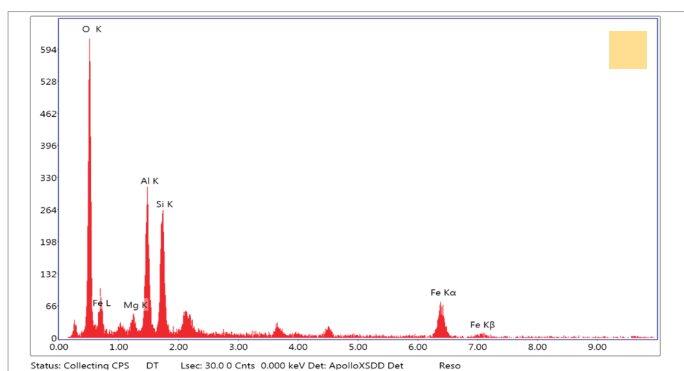
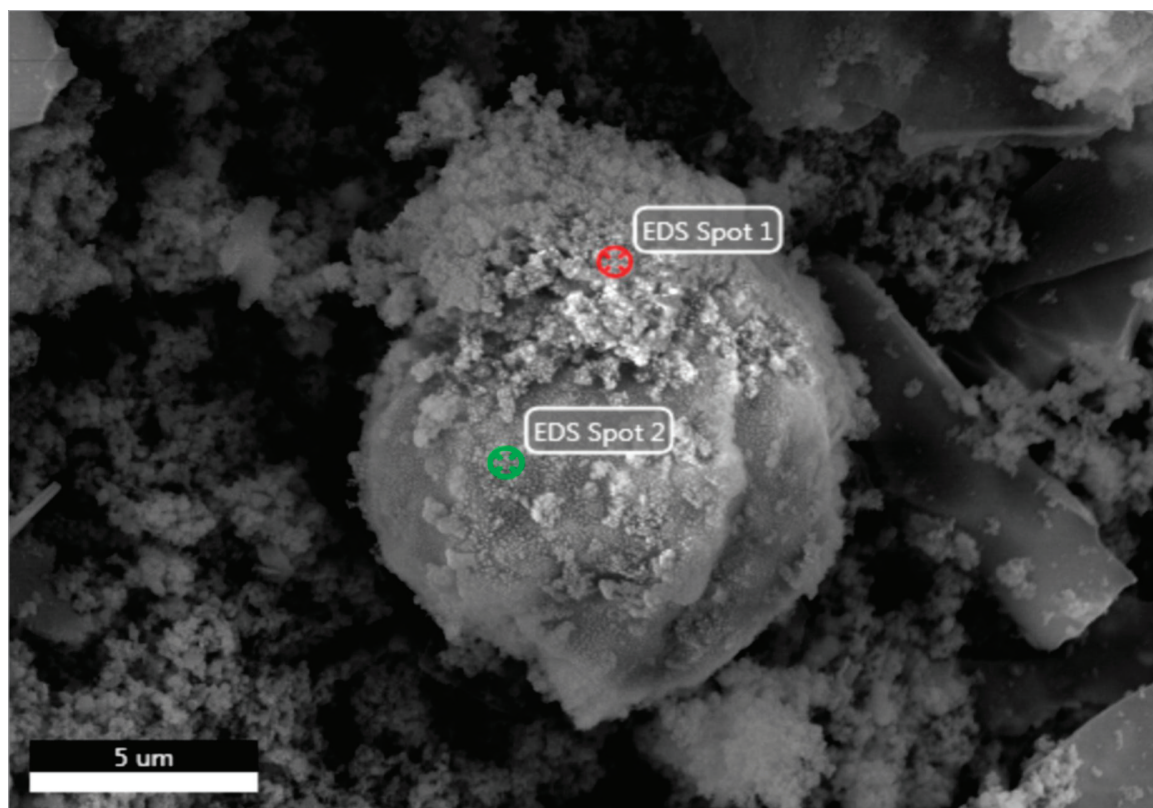


c) biomasa – zvětšení 4 000x

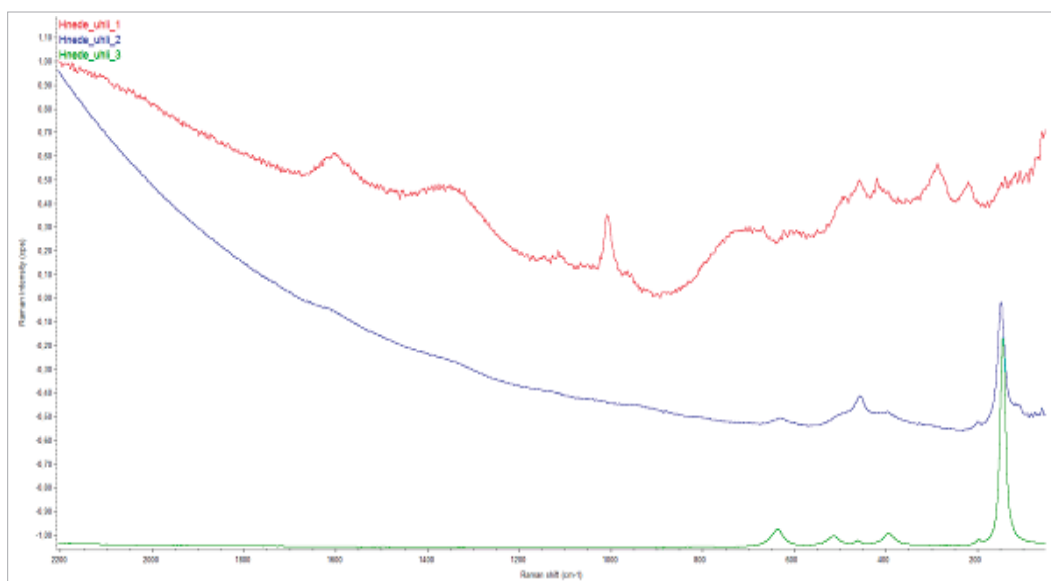


d) biomasa – zvětšení 30 000x

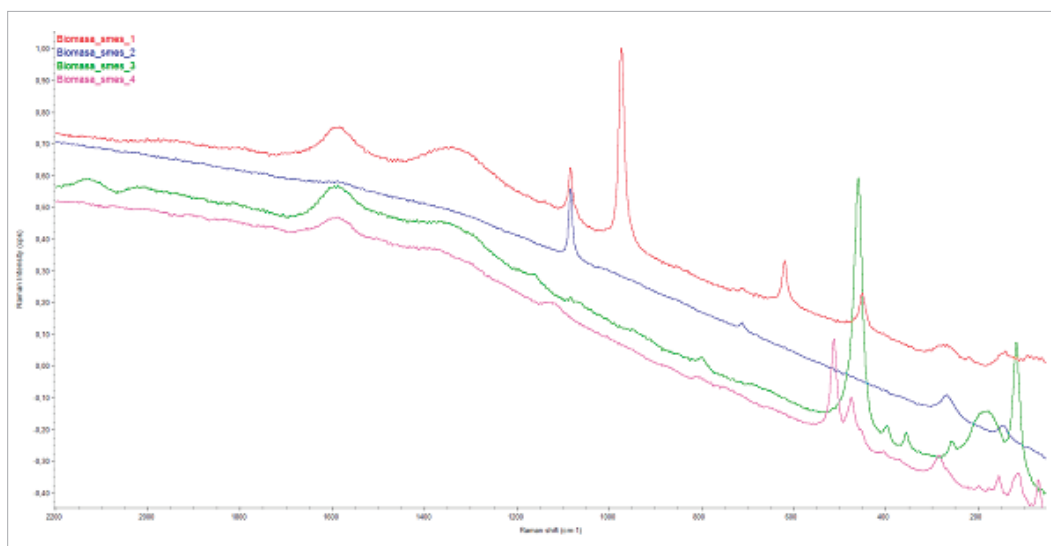
Obr. 7: SEM popel ze spalování biomasy.



Obr. 8: SEM – EDS popílek z biomasy.



Obr. 9a: Ramanova spektrometrie popílek (popílek - hnědé uhlí).



Obr. 9b: Ramanova spektrometrie popílek (popílek - biomasa).

z biomasy jsou vedle amorfního uhlíku naměřena spektra odpovídající K_2SO_4 , kalcitu $CaCO_3$ a ortoklasu $KAlSi_3O_8$.

4 Zhodnocení výsledků

Z přehledu základních parametrů vyplývá, že u produktů spalování hnědého uhlí a biomasy jsou zjišťovány poměrně široké meze hodnot jednotlivých parametrů. Fyzikální parametry a granulometrie potvrzuje standardní hodnoty pro jednotlivé typy produktů. Produkty po spalování uhlí jsou mimo strusku velmi jemnozrnné, při operacích s materiálem hrozí zvýšená prašnost. Popel po spalování biomasy má nejvyšší sypnou hmotnost, což předpokládá horší manipulaci při aplikaci do směsi se zemínami.

Chemické vlastnosti jsou rovněž různorodé. Fluidní popely mají vysoké obsahy CaO , a proto mají silně zásaditou reakci, která by byla využitelná jako příměs do kyselých fytotoxických zemín. Obsahy vybraných rizikových prvků jsou zjišťovány

rovněž v širokých mezích. Jejich koncentrace zejména u As a Cr mohou překračovat povolené meze při uvažovaném použití na zemědělské půdě.

Přesto lze potvrdit, že uvedené vlastnosti produktů spalování při použití pro rekultivační a sanační účely ve výsypkových prostorech povrchových dolů na různých typech zemín mohou mít následující charakteristiku:

- zlepšují permeabilitu zeminy,
- zlepšují strukturu zeminy,
- snižují objemovou hmotnost zeminy,
- zlepšují schopnost zadržet vodu v zemi,
- optimalizují pH,
- přispívají k zajištění stability území výsypek.

5 Závěr

Laboratorní zkoušky ukázaly teoretickou možnost využití popílku pro sanační a rekultivační účely v hlouběji uložených

vrstvách zeminového prostředí. Pro použití do hlavního půdního profilu mohou být rizikem zvýšené obsahy rizikových prvků, které by nutně musely být kontrolovány před každou aplikací. Oprávněnost možnosti využití produktů po spalování do svrchních půdních profilů tedy bude vždy záviset na hodnocení samotného zeminového prostředí a ověření vlastností navrhované směsi s produkty spalování uhlí i biomasy pro nejlepší efektivitu případného dávkování bez rizik kontaminace půdního profilu.

Poděkování

Tento článek byl vypracován v rámci programu KUS projektu QJ1520307 s názvem „Udržitelné formy hospodaření v antropogenně zatížené krajině“ za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím Ministerstva zemědělství a za podpory projektu č. LO1219 v rámci Národního programu udržitelnosti I MŠMT.

Literatura

- [1] KADLEC, J., ŠIMKOVÁ, L.: Omezení při využití popela z dřevní biomasy. In *Technika odpadového hospodářství 2008*, 10.9.2008, Zvolen. Zvolen: TU Zvolen, 2008. ISBN 978-80-228-1914-5.
- [2] RAJAMMA, R. a kol.: Characterization and use of biomass fly ash in cement-based materials. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 172, issue 2-3. 2009. ISSN 0304-3894.
- [3] ŠASEK, P., SCHMIDT, P., MANN, J.: Fly ash for building reclamation mixtures, 8th International Scientific Conference on Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, SGEM 2008. Albena: STEF 92, 2008, pp. 113-120. ISBN 954-918181-2.
- [4] TERESIA, S., LARS, H., KARIN, J. et al.: *Biogeochemistry* (2013) 116: 3. doi:10.1007/s10533-013-9888-3.
- [5] YAZDANPANAHA, N., PAZIRA, E., NESHAT, A., MAHMOODABADI, M., RODRÍGUEZ SINOBAS, L.: Reclamation of calcareous saline sodic soil with different amendments (II): Impact on nitrogen, phosphorous and potassium redistribution and on microbial respiration. *Agricultural Water Management* (2013) 120. doi:10.1016/j.agwat.2012.08.017.
- [6] KALINOVÁ, J. a kol.: *Půdní úrodnost, výživa a hnojení rostlin v ekologickém zemědělství*. České Budějovice: JČU Zemědělská fakulta, 2007. ISBN 978-80-7394-029-4.