

Vlastnosti popolov zo spaľovania hnedého uhlia z rôznych spaľovacích zariadení

Ing. Beáta Stehlíková, Ph.D.¹, doc. Ing. Marián Košúth, Ph.D.²

¹Ústav riadenia a informatizácie výrobných procesov, Technická univerzita Košice, Fakulta BERG, beata.stehlikova@tuke.sk

²Ústav geovied, Technická univerzita Košice, Fakulta BERG, marian.kosuth@tuke.sk

Přijato: 4. 10. 2011, recenzováno: 8. a 11. 11. 2011

Abstrakt

V príspevku sú prezentované výsledky výskumu štúdia fyzikálnych, chemických, technologických vlastností popolov zo spaľovania hnedého uhlia v granulačných a fluidných kotloch. Ich využitie ovplyvňuje prítomnosť minerálnych novotvarov, ktoré majú puzzolánové vlastnosti. Metódy výskumu s využitím elektrónovej mikroskopie umožňujú stanoviť jednotlivé parametre testovaných popolov. Mineralogické zloženie jednotlivých fáz popolov potvrdzuje, že minerálne novotvary reagujú ako aktívne zložky v solidifikačných procesoch. Puzzolánové a cementačné vlastnosti popolov (ako prídavnej zmesi do cementov a betónov) podmieňuje práve ich mineralogické, nie chemické zloženie.

Brown coal combustion ash properties produced in different combustion installations

The paper presents results of a research on physical, chemical, and technological properties of brown coal combustion ash produced in dry bottom boiler and fluidized bed boiler. Possible utilisation of produced ash is determined by the presence of mineral formations which have pozzolanic properties. Research methods based on electron microscopy enable to determine individual parameters of tested types of ash. Mineralogical composition of different phases of ash indicates that mineral formations play an active role in solidification processes. The pozzolanic and cementitious properties of ash (as an ingredient in cement or concrete) are determined by its mineralogical, not chemical composition.

Eigenschaften der Aschen aus der Verbrennung der Braunkohle aus verschiedenen Verbrennungsanlagen

Im Beitrag werden Ergebnisse der Forschung von physikalischen, chemischen und technologischen Eigenschaften der Aschen aus der Braunkohleverbrennung in Kesseln mit Granulat- und Wirbelschichtfeuerung präsentiert. Deren Nutzung wird durch Anwesenheit von Mineralneubildungen beeinflusst, die Puzzolaneigenschaften besitzen. Die Elektronenmikroskopie nutzenden Forschungsmethoden ermöglichen einzelne Parameter von getesteten Aschen zu bestimmen. Die mineralogische Zusammensetzung einzelner Aschephasen bestätigt, dass die Mineralneubildungen in Solidifizierungsprozessen als aktive Bestandteile reagieren. Die Puzzolan- und Zementierungseigenschaften der Aschen werden (als Zement und Beton Beimischung) eben von deren mineralogischen, nicht chemischen Zusammensetzung bedingt.

Klíčová slova: spaľovanie uhlia, vlastnosti popolov, druhotná surovina.

Keywords: coal combustion, ash properties, secondary material.

1 Úvod

Veľký podiel na výrobe elektrickej a tepelnej energie na Slovensku má spaľovanie fosílnych palív – hnedého a čierneho uhlia, pričom vzniká tuhý odpad – popol. Najvhodnejší spôsob nakladania s tuhým odpadom zo spaľovania uhlia je jeho zhodnocovanie, s využitím poznatkov o jeho vlastnostiach. Poznatky o fyzikálnych, chemických a technologických vlastnostiach a tiež o mineralogickom zložení popolov umožňujú nakladať s nimi ako s druhotnou surovinou. Na pracoviskách Fakulty Baníctva,

Ekologie, Riadenia a Geotechnológií (BERG) TU v Košiciach boli navrhnuté a v laboratórnych podmienkach aj vyskúšané technologické postupy na separáciu jednotlivých úžitkových zložiek a ich využívanie.

Úpravnícke technológie nie je možné aplikovať na všetky druhy popolov. Výsledky nášho výskumu preukázali koncentrovateľnosť jednotlivých úžitkových zložiek (zvyškov nespáleného uhlia a Fe-zložky), čo sa však dosahuje iba pri nižších výťažnostiach.

Tab. 1: Parametre jednotlivých zrnitostných tried popolčeka z granulačného kotla ENO Nováky – po mokrom triedení. [1]

Zrnitostná trieda [mm]	Hmotnostný výnos (%)	Obsah spáliteľných látok (s.ž. v %)
+ 0,25	7,96	7,19
0,09 – 0,25	44,81	1,54
0,071 – 0,09	6,16	0,89
0,05 – 0,071	2,36	1,13
0 – 0,05	38,70	2,32
vsádzka	100,00	2,24

Pozn.: Priemerný obsah Fe v granulačnom popolčeku je 5,70 – 6,15 %.

2 Hnedouhoľný popol z granuláčnych a fluidných kotlov

Vlastnosti popolov závisia od druhu spaľovaného uhlia a spôsobu spaľovania. Hnedé uhlie je na Slovensku spaľované v dvoch druhoch spaľovacích zariadení – kotloch:

- granuláčnych – teplota spaľovania 1 100-1 300 °C,
- fluidných – teplota spaľovania 800-850 °C.

Práve teplota spaľovania má dominantný vplyv na vlastnosti popolov, vznikajúcich v jednotlivých spaľovacích zariadeniach. Potvrdzujú to i poznatky, kde sa vlastnosti popolov odlišovali, aj v prípadoch, keď je spaľovaný jeden druh uhlia, ale v rôznych spaľovacích zariadeniach, konkrétne z hnedého uhlia, spaľovaného v elektrárni ENO Nováky v granuláčnych a fluidných kotloch [7,9]. Zvláštnosťou spaľovania uhlia vo fluidnom spaľovacom zariadení je vznik produktov s rozdielnymi vlastnosťami. V jednom spaľovacom priestore kotla vzniká hrubozrnejší

fluidný popol-lôžko a jemnozrnný popol-úlet pričom každý má rozdielne vlastnosti, rozdielne obsahy jednotlivých chemických prvkov, odlišujú sa tiež obsahmi minerálnych novotvarov [16].

2.1 Fyzikálne vlastnosti hnedouhoľných popolov

Vstupná zrnitosť uhlia pre granuláčne kotly je 0-5 mm, na ktorú je potrebné uhlie mlieť. Uhlie pre fluidné kotly nevyžaduje mletie, iba drvenie, čo je energeticky výhodnejšie. Optimálne zrnitostné zloženie uhlia pre fluidné spaľovanie je 1,6-6,4 až 10 mm.

Výsledná zrnitosť popolov po spálení uhlia je dôležitou fyzikálnou vlastnosťou, ovplyvňujúcou povrchovú aktivitu popola viac, ako ktorýkoľvek iný fyzikálny činiteľ. Počas spaľovania uhlia dochádza vyhoriavaním organickej fázy k jeho rozpadu. Zrnitostné zloženie popolčeka z granuláčnych kotlov sa pohybuje v rozsahu 0-0,6 mm, v prípade fluidného popola-lôžko

Tab. 2: Parametre jednotlivých zrnitostných tried škvary z granuláčnych kotlov ENO Nováky. [3]

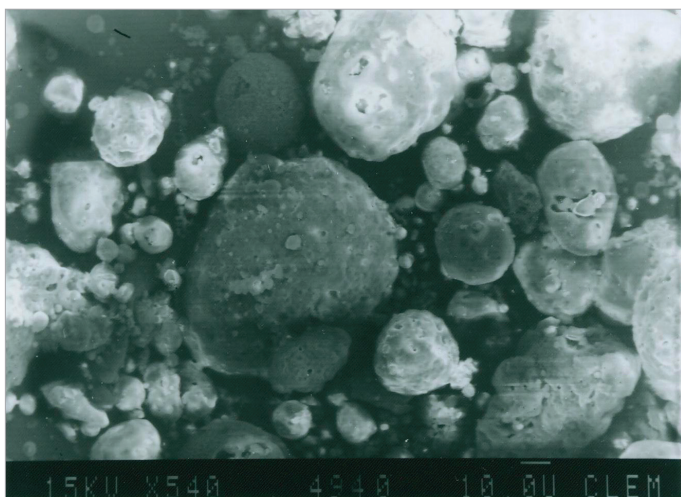
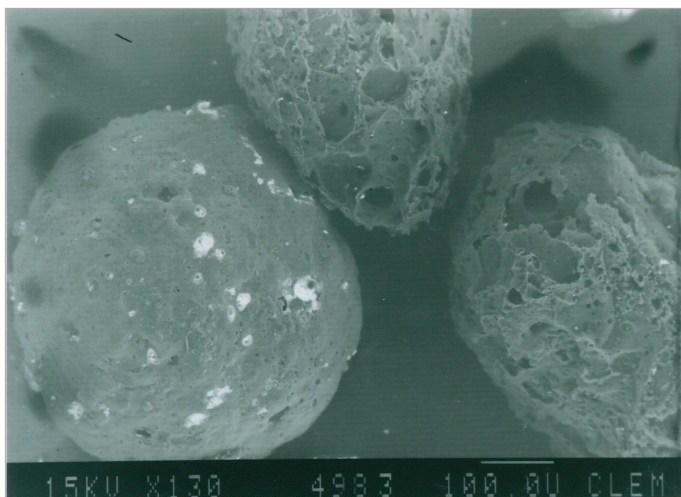
Zrnitostná trieda [mm]	Hmotnostný výnos (%)	Obsah spáliteľných látok (s.ž. v %)
+ 4,0	1,96	21,98
2,8 – 4,0	1,40	56,06
2,0 – 2,8	3,40	72,10
1,4 – 2,0	2,66	65,46
1,25 – 1,4	1,46	60,77
1,0 – 1,25	3,68	56,57
0,5 – 1,0	17,60	32,96
0,315 – 0,5	19,39	13,42
0,2 – 0,315	26,64	5,80
0 – 0,2	21,81	3,84
vsádzka	100,00	19,16

Pozn.: Priemerný obsah Fe v škvare je 4,65 %.

Tab. 3: Zrnitostné zloženie fluidného popola z ENO Nováky – mokré triedenie. [2]

Zrnitostná trieda [mm]	Fluidný popol-lôžko*	Fluidný popol-úlet**
	Hmotnostný výnos (%)	
+ 2	0,31	0,61
1 – 2	2,03	
0,71 – 1	5,06	
0,4 – 0,71	19,60	
0,315 – 0,4	12,60	0,73
0,25 – 0,315	17,33	1,83
0,18 – 0,25	23,37	4,59
0,12 – 0,18	9,43	6,07
0,09 – 0,12	7,45	11,75
0,071 – 0,09	1,37	7,42
0,056 – 0,071	0,63	5,49
0,045 – 0,056	0,15	1,92
– 0,045	0,14	59,60
vsádzka	100,00	100,00

Pozn.: *2,04 % Fe a 0,06 % s.ž.; **3,98 % Fe a 0,7 % s.ž.



Obr. 1: Morfológia častíc hnedouhoľného granuláčného popolčeka (a), škvary (b) a mikrosfér (c) [5].

0-2,5 mm a u fluidného popola-úlet je zrnitosť 0-0,4 mm (častice 0-0,04 mm prekračujú hmotnostný výnos 65 %) [7]. Ako dokumentujú tabuľky č. 1, 2 a 3, zreteľne sa odlišujú tiež obsahy zvyškov nespáleného uhlia – spaliteľných látok, vyjadrené stratou žiháním (s.ž.) v jednotlivých druhoch popolov a v jednotlivých zrnitostných triedach.

Veľkosť merného povrchu [14] ovplyvňuje morfológické zloženie popolov a obsahy zvyškov nespáleného uhlia, vyjadre-

né stratou žiháním (s.ž.). Popolček z granuláčného kotla ENO Nováky má veľkosť povrchu $4-6 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ (1,3-2,4 % s.ž.), škvara z granuláčného kotla $25-30 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ (19 % s.ž.) [5]. Veľkosť povrchu fluidného hnedouhoľného popola-lôžko je $4-5 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ (1-1,6 % s.ž.) a popola-úlet $5-7 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ (2,2-2,8 % s.ž.). Pre porovnanie veľkosť povrchov čiernouhoľného fluidného popola-úlet z dvoch fluidných kotlov EVO Vojany je výrazne väčšia, a to $20,03 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ a $30,69 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. Príčinou je vysoký obsah zvyškov nespáleného uhlia: straty žiháním v popole-úlet sú až 18-34 % a v popole-lôžko 0,5-0,7 % (zrnitosť 0 až 10-14 mm).

Ďalšie dôležité vlastnosti popolov sú ich merná hmotnosť a tvarové parametre častíc nedopalu i sfomovaných novotvarov.

Merná hmotnosť hnedouhoľného popolčeka z granuláčného kotla je $1,9-2,6 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ [5], z fluidného kotla $2,2-2,6 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (popol-úlet); vyššiu mernú hmotnosť má popol-lôžko: $2,6-2,88 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ [11].

Morfológické parametre častíc popolov závisia na petrografickom zložení spaľovaného uhlia a podmienkach spaľovania [16,7,5]. Morfológia a habitus častíc hnedouhoľného popolčeka z granuláčnych kotlov (teplota 1 100 až 1 300 °C) sa vyznačuje tým, že častice popolčeka si čiastočne zachovávajú obrysy pôvodného tvaru uhoľného zrna nadobudnutého zomletím, avšak sú zaoblené v dôsledku natavenia. Sférický tvar častíc – často dokonale izometrický – sa vyskytuje iba u častíc mikroskopických rozmerov (obrázok č. 1a), pričom mikrosféry sú pórovité (detail na obrázok č. 1c).

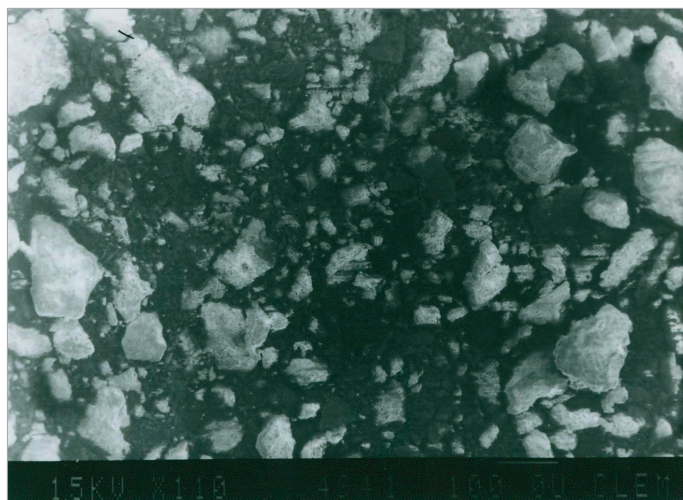
Na obrázku č. 1a je kompozícia častíc popolčeka z granuláčného kotla pri 540násobnom zväčšení. Väčšie častice majú zväčša nepravidelný, čiastočne zaoblený tvar; hladké izometrické častice guľového tvaru sú menších rozmerov a sú pomerne zriedkavé [5,7]. Kompozícia segmentov škvary je na obrázku č. 1b: Majú nepravidelný tvar, povrch segmentov je značne nerovný, pórovitý, čo potvrdzujú aj výsledky merania veľkosti povrchov [12].

Častice fluidného popola si zachovávajú morfológiu pôvodného uhoľného zrna (obrázok č. 2a, zväčšenie 110x, obrázok č. 2b, zväčšenie 100x). Len zriedka sa vyskytujú častice zaoblené, vznik a výskyt amorfnej fázy závisí od prítomnosti nízkotaviteľných zložiek v popole, ktorých bod topenia je v rozsahu teplôt vo fluidnom kotle, tj. 800-850 °C. S teplotou horenia súvisí aj ich polykomponentnosť.

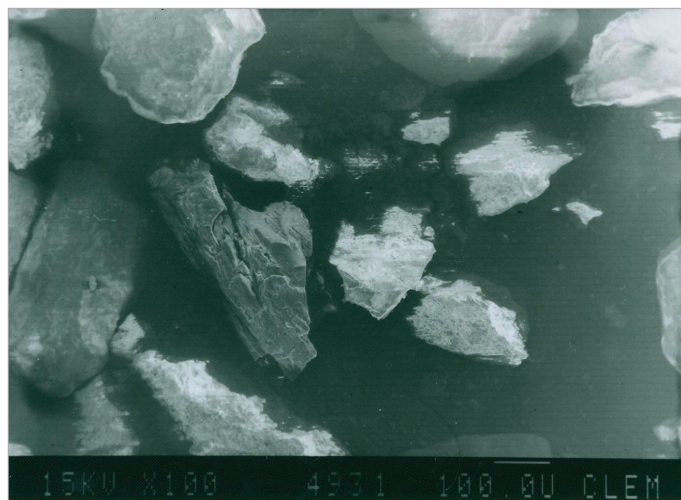
Zhutniteľnosť a namŕzavosť [7] sú významné vlastnosti pre posudzovanie použitia popolov v cestnom staviteľstve. Súvisia s tvarom/morfológiou a veľkosťou častíc. Hnedouhoľný popolček z granuláčnych kotlov obsahuje väčší podiel pórovitých častíc a iba malé množstvo sklovitej (amorfnej) fázy. Silne narušené a pórovité častice majú väčšiu nasiakavosť.

Taviteľnosť je dôležitá vlastnosť napr. v procese pálenia keramických hmôt, ak sa popolček používa ako náhrada prírodných aluminosilikátov, napr. vo výrobe tehál. Teploty topenia popolov sú v rozsahoch 900-1 100-1 400 °C [7].

Tvrdosť popolov je potrebné poznať v prípadoch, ak je do technologického procesu potrebné zaradiť zdobňovanie [7]. Častice popola sa pri deštrukcii nárazom rozpojujú ľahko, pri mletí, kde sa rozpojovanie realizuje roztieraním, je rozpojitelnosť obtiažnejšia.



Obr. 2a: Morfológia nepravidelných častíc fluidného popola-
úlet.



Obr. 2b: Morfológia nepravidelných častíc fluidného popola-
lôžko.

2.2 Chemické zloženie hnedouhoľných popolov

Popolčeky ako polykomponentné látky obsahujú diskretnú škálu chemických prvkov. Ich úžitkovosť je potrebné posudzovať podľa toho, či ich je možné použitím vhodných technológií koncentrovať, v ktorých produktoch úpravy popolčekov dochádza k ich kumulovaniu a ako ovplyvňujú proces, do ktorého vstupujú [6].

Charakter popolov ovplyvňuje fázové zloženie pôvodných popolovín v uhoľnej hmote, prímies takých minerálov ako kaolinit, illit, kremeň, karbonáty, zo sulfidov pyrit, markazit a realgár.

Odpady zo spaľovania všetkých druhov uhlia obsahujú takmer 80 % chemických prvkov z Mendelejevovej tabuľky. Prímies väčšiny z nich je však nízka. SiO_2 zložka predstavuje 43-65 hmotnostných %, Al_2O_3 19-34 hmot. %, tretím najfrekvencovanejším prvkom je Fe, potom nasledujú Ca, Mg, K, Na, S, Ti, Mo, Cu, Sb, Mn, Ni, Ge. Škodlivé prvky, ktoré popolčeky obsahujú vo významnejšom množstve sú najmä As, B, Be, Bi, Mn, Hg, Cd, Ta, Cr^{6+} , Pb, Sb, S, CN^- . Napr. berýlium a bór, viazané hlavne na biogénne popoloviny, dosahovali v hnedouhoľnom popolčeku z elektrárne Tušimice obsahy od 10^{-4} do 10^{-2} %, bór 0,013 %, čo sú značne vysoké koncentrácie. Kým v hnedom uhlí z Novák je obsah As 0,027-0,041 %, v granulačnom popolčeku 0,06-0,1 % a vo fluidnom popole 0,02-0,04 % [7]. Arzén uniká ako bezhmotová častica so spaľinami, časť As zostáva adsorbovaná na povrchu častíc popola a na odkaliskách dochádza k jeho postupnému vyluhovaniu [5]. Obsahy chemických prvkov v hnedouhoľnom popolčeku z granulačných a z fluidných kotlov sú rovnaké, rozdiely sú v mineralogickom a petrografickom zložení, nakoľko počas horenia uhlia pri rôznych teplotách vznikajú odlišné minerálne novotvary.

Pozn.:

Všetky druhy popolov majú výrazné sorpčné vlastnosti, z nich najmä zvyšky nespáleného uhlia sú selektívne ako sorbenty Pb^{2+} [6] aj iných látok. Fluidný popol-úlet má vyšší obsah s.ž., je možné ho použiť v uzatvorených reakčných nádobách na realizáciu sorpčných procesov.

2.3 Mineralogické zloženie častíc popolov

V procese spaľovania hnedého uhlia vzniká viacero analógov prírodných minerálov (napr. anhydrit), ale aj rad syntetických novotvarov, kombinujúcich prvky v neznámych pomeroch [4]. Pri použití tradičných identifikačných metód RTG - difrakčnej analýzy a elektronickej mikroanalýzy - je preto priradenie fázyvej identity vzniknutým novotvarom častým problémom.

Poznatky o minerálnych novotvaroch, vznikajúcich počas spaľovania uhlia v tepelných elektrárnach, sú významné najmä z hľadiska ich uplatnenia ako prídavných zmesí do cementov a betónov. Puzolánové a cementačné vlastnosti popolčekov (ako prídavnej zmesi do cementov a betónov) podmieňuje práve ich mineralogické, nie chemické zloženie [5,7]. Rôzne spôsoby klasifikácií a reštrikčné špecifikácie popolov, zdôrazňujúce chemické zloženie, sú zavádzajúce. Vo vzťahu k požadovaným spracovateľským kritériám a k mikroštruktúre hydratovaných zmesí v maltách a betónoch bude v budúcnosti potrebné minerálne novotvary v popoloch identifikovať čo najpresnejšie. V súčasnosti sú popolčeky študované z hľadiska formovania minerálnych novotvarov, schopných reagovať ako aktívne zložky – určité modifikácie geopolymérov, vyskytujúcich sa v cementoch a v betónoch.

Výsledky plošných EDX mikroanalýz z produktov spaľovania hnedého uhlia v granulačných a fluidných kotloch boli už čiastočne prezentované v prácach [9,12,13,16]. Zistené plošné distribúcie prvkov, zmapované EDX - mikroanalýzou reprezentujú kvalitatívne vymedzenie obsiahnutých prvkov v minerálnych novotvaroch, nie ich skutočné obsahy. Vo výpočtoch reálnych obsahov prvkov je potrebné stechiometricky prepočítavať hodnoty obsahov – namerané EDX metódou – na ich molekulárne oxidické ekvivalenty (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO) a redukovat' na sumárnu hodnotu 100 % (príp. nižšiu). Presnú konštrukciu vzorca novotvarov limituje okrem iných aj prítomnosť Fe, ktoré má bežne dvojaké oxidačné číslo 2^+ aj 3^+ . V zložitejších silikátoch môže Fe okrem kationovej 2^+ pozície s Ca, Mg a Mn často vystupovať aj v pozícii spoločne s Al^{3+} .

Ako už bolo spomenuté, spaľovanie hnedého uhlia prebieha v nasledujúcich teplotách: Fluidné spaľovanie pri $800 \div 850^\circ\text{C}$,

Tab. 4: Výsledky semikvantitativnej spektrochemickej analýzy hnedouhoľného popolčeka z granulačných kotlov. [7]

Vzorka popolčeka	Zistené obsahy prvkov (%)			
	nad 1	1,0 – 0,1	0,1 – 0,01	0,01 – 0,001
Tušimice z hned. uhlia	Si, Al, Mg, Fe, Na	Ca, K, P, Ti, Mn	B, V, Ni, Cu, Cr	Co, Ba, Ga, Ge, Zr, Li, Mo, Pb, Zn
Větrní z hned. uhlia	Si, Al, Ca, Fe, Mg	P, Mg, Ti, Cu	Cr, Zn, Co, Na, In	V, Bi, Ba, Mn, Sr, Zr, Ga, Mo, W, Sn, Co, Pb
Nováky z hned. uhlia	Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na	Ba	Mn, Cr, V, Ti K, Sr, Ni	B, Mo, Zr, Pb, Co, Zn, Cd, Sn, Li, Ag, As, Ge

Tab. 5: EDX mikroanalýzy častíc popola-lôžko a popola-úlet v % hmot.

Fluidný popol-lôžko									
Častica/prvok	Si	Al	K	Ca	Fe	Mg	S	Ti	Mn
1	18,1	5,6	0,5	53,3	7,6	7,1	7,0	0,4<	0,3<
2	26,2	9,3	0,5	43,7	10,3	5,3	3,6	0,8	0,2<
3	4,6	1,0	0,3<	60,9	2,7	2,5	27,3	0,7	0,2<
Fluidný popol-úlet									
Častica/prvok	Si	Al	K	Ca	Fe	Mg	S	Ti	Mn
4	25,5	9,8	4,3	28,7	28,1	0,8<	1,0	1,8	0,0
5	25,4	7,5	1,3	14,1	50,1	0,9	0,0	0,7	0,0
6	52,5	17,5	4,3	10,1	13,0	1,8	0,0	0,4<	0,2<
7	4,5	1,4	0,5<	61,5	3,9	2,3	25,9	0,0	0,0

v granulačných kotloch teplota dosahuje $1\,100 \div 1\,300\,^{\circ}\text{C}$, kde je predpoklad oxidácie podstatnej časti Fe^{2+} na vyššie oxidačné číslo Fe^{3+} . Všetky vznikajúce častice novotvarov sú vysoko kremičité. Z morfológie mnohých častíc je možné predpokladať len mezomorfne vyvinutú štruktúru, prípadne amorfnú neusporiadanosť častíc.

2.4 Mikroanalýzy produktov spaľovania hnedého uhlia vo fluidných kotloch

V tabulke č. 5 sú prezentované výsledky plošných EDX mikroanalýz produktov spaľovania hnedého uhlia vo fluidných kotloch. Analyzované boli reprezentatívne častice popola-lôžko a úletového popola [9].

Všetky tri analyzované častice zo vzorky popola-lôžko majú vysoký obsah vápnika, pohybujúci sa v rozsahu 43,7-60,9 %. Charakterom tak zodpovedajú časticiam po odsírovanom procese s prebytkom Ca zložky. Obzvlášť variabilný je obsah síry – pohybuje sa v rozpätí 3,6-27,3 %, kým obsah horčíka je v rozpätí 2,5-7,1 %. Minerálny novotvar síran vápenatý (anhydrit, častica 3) a síran horečnatý-vápenatý sú typickými produktmi odsírovania. V analyzovanej vzorke fluidného popola-lôžko považujeme za pozoruhodné aj obsahy prvkov Si, Al, a Fe. V prípade častíc 1 a 2 evokujú možnosť ich Ca silikátovej identity s inkorporáciou Mg a Fe, resp. s Al a Fe [9].

Diverzitu zloženia častíc fluidného popola-úlet dokumentuje obsah kremika v rozpätí 4,5-52,5 %, obdobne sa mení obsah železa v rozsahu 3,9-50,1 %. V porovnaní s popolom-lôžko je zastúpenie Fe v časticiach popola-úlet zreteľne vyššie. Obsah železa v častici 5 podmieňuje predpoklad paramagnetických vlastností a tým separovateľnosť tejto Fe zložky, čo potvrdili

experimenty v procesoch nízkointenzitného magnetického rozdružovania popola, ktorý má vysokú vyluhovateľnosť (pH 12-12,7) [8]. Výťažnosť Fe do koncentráta je nízka, ovplyvnená adhéziou prachových častíc.

Ďalšie významné prvky v analyzovanej vzorke fluidného popola-úlet sú: Al, K, Ca. Na báze ich obsahov predpokladáme: Častice 4 a 5 sú Fe-silikátového zloženia, kým častica 6 je Ca-Fe alumosilikát. Minerálne novotvary ktoré najčastejšie formujú kryštalickú fázu fluidných popolov, sú v nasledujúcej tabulke č. 6.

Snahou producentov tuhých odpadov, ktorí spaľujú hnedé uhlie, je zaradiť ich medzi hmoty využiteľné ako druhotné suroviny najmä v stavebníctve, aj s využitím škvaropopulových

Tab. 6: Minerálne novotvary fluidných popolov (McCarty [11]), [7].

Minerálny novotvar	Predpokladaný chemický vzorec
Anhydrit	CaSO_4
Bassanit	$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$
Hannebachit	$\text{CaSO}_3 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$
Portlandit	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
Sadrovec	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Kalcit	CaCO_3
Kremeň	SiO_2
Hematit	Fe_2O_3
Magnetit	Fe_3O_4
Ettringit	$\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}$
Thaumazit	$\text{Ca}_6\text{Si}_2(\text{SO}_4)_2(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_{12}$

produktov. Príkladmi takého zhodnotenia sú stabilizačné a hydroizolačné zmesi stabilit a stafilit z ENO Nováky [5]. Úletový fluidný popol má vysoký obsah CaO, čo je zárukou dobrých vytvrdzovacích vlastností, a využíva sa ako jedna zo vstupných surovín stabilizátu. Stabilit je materiál, ktorý vznikne stvrdnutím vodnej zmesi puzolánového plniva, portlanditového spojiva a prísad v stanovených množstvách. Práve ako plnivo sa využívajú popoly z granulačného a fluidného kotla so sadrovcovou suspenziou z odsírovacieho zariadenia. Používaná voda z akumuláčnej nádrže a voda obehová majú deklarované chemicko-fyzikálne vlastnosti. Obdobne je fluidný popol základným komponentom stafilitu, využiteľného rovnako ako certifikovaný výrobok stabilit pre jeho hydroizolačné úžitkové vlastnosti – vodonepriepustnosť a pevnosť i zdravotnú nezávadnosť.

Vyrobené zmesi je možné využiť ako základku do vytážených banských priestorov, na sanácie lomov a skládok; na krajínovú výplň krajinných anomálií; ako ochrannú vrstvu voči kontaminácii podzemných vôd, do násypov podkladových, stabilizačných a technických rekultivácií.

3 Záver

Poznatky o fyzikálnych, chemických, mineralogických a technologických vlastnostiach tuhých odpadov zo spaľovania hnedého uhlia v tepelných elektrárnach slúžia ako východiskové informácie pri hľadaní optimálneho využitia v priemysle. Preto sme skúmali zloženie popolov z pohľadu minerálnych fáz aj syntetických novotvarov. Ako aktívne zložky môžu vystupovať v pozícii modifikovaných geopolymérov, tvoriacich súčasť v cementoch a v betónoch. Pre zhodnocovanie v stavebníctve sú rozhodujúce puzolánové vlastnosti popolov, ovplyvnené najmä mineralogickým, menej chemickým zložením. Popoly z granulačných a fluidných spaľovacích zariadení vykazujú nižšiu hodnotu straty žihami ako určuje EN STN 450 (STN 72 2064), teda ich priame využívanie vo výrobe betónu je možné.

Zhodnocovanie tuhých odpadov zo spaľovania hnedého uhlia podmieňujú ich fyzikálne vlastnosti – zrnitosť, veľkosť povrchov, morfológické parametre [11,12,13]. Tieto parametre ovplyvňuje najmä technológia spaľovania a druh prevládajúcich popolovín obsiahnutých v uhlí. V popolčekoch a popoloch podmieňujú predovšetkým vznik rôznych novotvarov, blízkych prírodným minerálom, častice však nevytvárajú ideálny fázový model, rovnaký ako u prírodných minerálov.

Analýzou morfológie častíc popolov bol zistený poznatok: Tvar všetkých častíc, ktoré vznikali v rovnakých podmienkach spaľovania uhlia, je analogický. Granulačné popolčeky majú tvar častíc viac zaoblený až sférický, kým fluidný popol si zachováva tvar pôvodného uhoľného zrna [7]. Pritom medzi jednotlivými druhmi popola pri rovnakom stálom režime spaľovania nie je rozdiel vo vzhľade častíc, iba v ich veľkosti a v zložení – v obsahoch chemických prvkov. Tento poznatok je využiteľný aj pre monitorovanie prášneho spadú – imisií. Na základe štúdia ich morfológie je možné určiť zdroj znečistenia (elektrárň, teplárň...), postihujúci zasiahnuté miesta.

Podakovanie

Práca vznikla pri riešení vedeckého grantu prideleného Slovenskou agentúrou VEGA, č. 1/1222/12.

Literatúra

- [1] BARTOVÁ, K.: *Výskum možností separácie úžitkových zložiek z fluidných hnedouhoľných popolov - lôžko a - úlet z tepelnej elektrárne ENO Nováky, o.z. na základe poznatkov o ich fyzikálnych, chemických a mineralogických vlastnostiach*. Diplomová práca. TU Košice, F BERG, 2007.
- [2] FEČKO, P., KUŠNIEROVÁ, M., LYČKOVÁ, B., ČABLÍK, V., FARKAŠOVÁ, A.: *Popílky*. VŠB-TU Ostrava, Ediční středisko. 2003. ISBN 80-248-0327-5.
- [3] JUHÁSOVÁ, J.: *Výskum vlastností tuhých odpadov zo spaľovania hnedého uhlia v granulačných kotloch elektrárne ENO Nováky, o.z. a testovanie separovateľnosti jednotlivých úžitkových zložiek*. Diplomová práca, 58 str. TU Košice, F BERG, 2007.
- [4] McCARTY, G.J. et al.: *Mineral analysis of advanced coal conversion residuals by X-ray diffraction*. 10th International Ash Use Symposium, Vol. 2: Ash Use and Clean Coal By-products, 1993, p. 58 – 113, American Coal Ash Association, Orlando, Florida, USA.
- [5] MICHALÍKOVÁ, F.: *Možnosti využitia uložených popolov na odkaliskách a skládke stabilizátu v ENO Nováky*. Štúdia pre SE ENO Nováky 1.7.2004, 86 str.
- [6] MICHALÍKOVÁ, F., BAKALÁR, T., SISOL, M., KOZÁKOVÁ, I.: *Sorptive properties of black coal ash from melting boilers*. In: *Czasopismo techniczne: Chemia*. Vol. 105, no. 16 (2008), p. 141-150. ISSN 0011-4561.
- [7] MICHALÍKOVÁ, F., FLOREKOVÁ, L., BENKOVÁ, M.: *Vlastnosti energetického odpadu – popola. Využitie technológií pre environmentálne nakladanie*. Košice: Tlačiareň Krivda, 2003, 228 s., ISBN 80-8073-054-7.
- [8] MICHALÍKOVÁ, F., JACKO, V., HREUS, P., SISOL, M., KOZÁKOVÁ, L.: *Separation of Fe component from fluid ashes*. In: *International Conference „Environment and Mineral Processing“*. Part 3., 2006, Ostrava: VŠB-TU, pp. 259-265. ISBN 8024811049.
- [9] MICHALÍKOVÁ, F., KOŠUTH, M., ŠKVARLA, J., ZELENÁK, F., SISOL, M.: *Vlastnosti hnedouhoľných popolčekov zo spaľovania uhlia v tepelnej elektrárni ENO Nováky*. Zpravodaj Hnědé uhlí, 2/2008, p. 33-41. ISSN 1213-1660.
- [10] MICHALÍKOVÁ, F., SISOL, M., ZELENÁK, F., KOZÁKOVÁ, L., JACKO, V.: *Možnosti zužitkovania teplárenskej trosky*. Uhlí, rudy, geologický průzkum, vol. 7, 2007, s. 35-39. ISSN 1210 – 7697.
- [11] MICHALÍKOVÁ, F., SISOL, M., KRINICKÁ, I.: *Chemické a mineralogické vlastnosti popolov zo spaľovania uhlia v tepelných elektrárnach*. Odpadové fórum, vol. 11, no. 4, 2010, s. 15-16. ISSN 1212-7779.

- [12] MICHALÍKOVÁ, F., SISOL, M., KRINICKÁ, I., KOLESÁROVÁ, M.: *Nakladanie s popolčkami zo spaľovania uhlia v tepelných elektrárnach*. Odpadové fórum, vol. 11, no. 4, 2010, p. 18-19. ISSN 1212-7779.
- [13] MICHALÍKOVÁ, F., ŠKVARLA, J., SISOL, M., KRINICKÁ, I.: *Popoly zo spaľovania uhlia v tepelných elektrárnach*. Odpadové fórum, vol. 11, no. 4, 2010, p. 13-14. ISSN 1212-7779.
- [14] MICHALÍKOVÁ, F., ŠKVARLA, J., SISOL, M., KRINICKÁ, I., KOLESÁROVÁ, M.: *Treatment processes for utilization of high carbon fly ashes from combustion of black coal in thermal power plants*. Inžynieria Mineralna. Vol. 11, no. 1-2/2010, p. 9-26. ISSN 1640-4920.
- [15] MICHALÍKOVÁ, F., ZELENÁK, F.: *Možnosti zhodnocovania tuhých odpadov zo spaľovania hnedého uhlia v tepelných elektrárnach – časť 1. Fyzikálne a chemické vlastnosti*. Odpady, vol. 3, s. 3-6, 2007, ISSN 1335-7808.
- [16] MICHALÍKOVÁ, F., ZELENÁK, F., SISOL, M., KOZÁKOVÁ, I.: *Morphological, chemical and mineralogical properties of solid wastes from coal combustion in fluidized boilers*. 11th Conference on Environment and Mineral Processing. Part 3. Ostrava: VŠB-TU, p. 37-42, 2007, ISBN 978-80-2481-431-5.

Studentská geologická konference

24. - 25. 5. 2012



Cílem této akce je prezentace výsledků vašich výzkumů, spojených se závěrečnými pracemi či dalšími odbornými aktivitami. Neváhejte a přijďte se podělit s kolegyněmi a kolegy z oboru o vaše poznatky, zjistíte na čem aktuálně pracují oni a navažte nové profesní či osobní kontakty!

Program konference se bude skládat nejen ze samotných přednášek, ale pro zájemce bude také navazovat společenský večírek a geologická exkurze do vnějších Západních Karpat.

Příspěvky mohou být ze všech okruhů geologických věd (geologie, petrologie, mineralogie, paleontologie, tektonika, hydrogeologie, geochemie, environmentální geologie, užitá geologie, ložisková geologie, kvartérní geologie a další). Nejlepší příspěvky vybere odborná porota a předá hodnotné ceny.

Registrovat se můžete nejpozději do **31. 3. 2012**, stačí k tomu vyplnit příslušný formulář umístěný na <http://www.sci.muni.cz/~studkonf>

Abstrakty do konferenčního sborníku zasílejte na e-mail: studkonf@sci.muni.cz do **10. 4. 2012** ve formátu uvedeném opět na webu: <http://www.sci.muni.cz/~studkonf>

Místo konání: Ústav geologických věd, Brno

Garant/kontaktní osoba: Ivo Čelechovský

Externí kontaktní osoba: Tomáš Kumpan, saguan@mail.muni.cz