

Doc. Ing. Františka Michalíková CSc., Ing. Marián Košuth PhD., Prof. Ing. Jiří Škvarla CSc., Doc. Ing. Fridrich Zelenák PhD., Ing. Martin Sisol PhD., Technická univerzita Košice, Fakulta B.E.R.G., Slovenská republika

Vlastnosti hnedouhoľných popolčiekov zo spaľovania uhlia v tepelnej elektrárni Eno Nováky

Prijato: 14. 1. 2008, recenzováno: 10. 3. 2008

V príspevku sú prezentované výsledky nášho výskumu – fyzikálne (najmä morfológické), chemické a technologické vlastnosti popolčiekov zo spaľovania hnedého uhlia v granuláčnych kotloch na základe ich mineralogického zloženia. Výsledky výskumu potvrdzujú dominantný vplyv teploty spaľovania uhlia na **morfológiu častíc**, študovanú elektronovým mikroskopom. Chemické zloženie jednotlivých častíc popolčiekov bolo zisťované pomocou **plošných** EDX mikroanalýz. Na základe obsahov chemických prvkov boli jednotlivé novotvary aproximované so známymi minerálnymi druhmi. Takúto identifikáciu vznikajúcich minerálnych novotvarov považujeme za rozhodujúcu pre použitie popolčiekov najmä v stavebníctve. Pre ich využitie vo výrobe cementu a betónov sú rozhodujúce ich puzolánové vlastnosti. *Je potrebné zdôrazniť, že za ich puzolánové vlastnosti je zodpovedné mineralogické a nie iba chemické zloženie.*

The features of brown coal fly ash from coal combustion in The Eno Nováky heat power plant

The article presents the results of our research – physical properties (mainly morphological), chemical and process properties of fly ash generated during brown coal combustion in the dry bottom boilers based on their mineralogical composition. The research results prove a dominant effect of coal combustion temperature on **the particles morphology**, studied with an electron microscope. The chemical composition of the ash particles was developed using **planar** EDX for microanalyses. Based upon the contents of chemical elements the neologisms were approximated with the known mineral species. Such an identification of the generated mineral neologisms is considered decisive for the use of fly ash mainly for civil engineering. Their pozzolane properties are critical for their development in the production of cement and concretes. *We must emphasize that their mineralogical and not only chemical composition is accountable for their pozzolane properties.*

Eigenschaften von Braunkohlenaschen aus der Kohleverbrennung im Wärmekraftwerk Eno Nováky

Im Beitrag werden Ergebnisse unserer Forschung dargestellt – physikalische (besonders morphologische), chemische und technologische Eigenschaften der Aschen aus der Braunkohleverbrennung in Granulierungskesseln auf Basis ihrer mineralogischen Zusammensetzung. Die Forschungsergebnisse bestätigen den dominanten Einfluss der Temperatur der Kohleverbrennung auf **Morphologie von Partikeln**, die mithilfe eines Elektronenmikroskops geforscht wird. Die chemische Zusammensetzung einzelner Aschenpartikel wurde mithilfe der **flächigen** EDX-Mikroanalysen festgestellt. Auf Basis der Inhalte chemischer Elementen wurden einzelne Neubildungen mit bekannten mineralischen Arten approximiert. Solche Identifikation der entstehenden mineralischen Neubildungen halten wir als maßgebend für Aschenanwendung vor allem im Bauwesen. Für ihre Nutzung bei der Zement- und Betonherstellung sind ihre Puzzolaneigenschaften entscheidend. *Es ist hervorzuheben, dass für ihre Puzzolaneigenschaften deren mineralogische, nicht nur chemische Zusammensetzung verantwortlich ist*

Úvod

Výskum sme zamerali na štúdium fyzikálnych – najmä morfológických parametrov, chemického i mineralogického zloženia častíc tuhých odpadov, vznikajúcich v procese spaľovania hnedého uhlia v granuláčnych kotloch elektrárne ENO Nováky,

o.z. Na tieto vlastnosti vplyva teplota spaľovania, t.j. teplota vzniku popolov a pôvodné petrografické zloženie uhlia. Možnosti zhodnocovania popolčiekov zo spaľovania hnedého uhlia podmieňujú zrnitosť, veľkosť povrchov, morfológia / sféricita častíc. Rôzne minerálne novotvary, vznikajúce pri spaľovaní,

sú blízke prírodným minerálom. Najvyšší potenciál v zhodnocovaní popolčiek má stavebníctvo, kde je pre vznik puzolánových vlastností rozhodujúce mineralogické zloženie novotvarov.

Vlastností hnedouhoľných popolčiek z granulačných kotlov

Medzi dôležité fyzikálne vlastnosti granulačného popolčeka a škvary, ktoré rozhodujú o ich využití v stavebníctve patria:

1. Veľkosť povrchov, v skúmaných vzorkách stanovená na úrovni:

a. granulačný popolček z r. 2005 :
4,16 m².g⁻¹,

b. granulačný popolček z r. 2006 :
5,62 m².g⁻¹,

c. škvara z granulačného kotla z r. 2005 :
26,47 m².g⁻¹ až 29,82 m².g⁻¹,

2. Zrnitostné zloženie granulačného popolčeka a škvary

Výsledky zrnitostných analýz popolčiek z granulačných kotlov ENO Nováky dokumentujú nasledujúce tabuľky. Potvrdzujú dlhoročné skúsenosti. Na ich základe možno tvrdiť: v rovnakom type spaľovacích zariadení pre spaľovanie hnedého uhlia vzniká podobná zrnitostná skladba popolčeka (obr.1 a 3).

Tab. 1: Porovnanie zrnitostného zloženia granulačného popolčeka z ENO Nováky za roky 2005 a 2006

zrnitostná trieda [mm]	hmotnostný výnos [g]		hmotnostný výnos [%]		obsah spaliteľ. látok [%]	
	r. 2005	r.2006	r. 2005	r.2006	r. 2005	r.2006
podanie	155.79	190.10	100	100	1.50	2.24
+ 0.25	9.98	15.14	6.41	7.96	7.04	7.19
0.09 – 0.25	67.75	85.19	43.49	44.81	1.07	1.54
0.071 – 0.09	31.67	11.71	20.33	6.16	0.83	0.89
0.05 – 0.071	1.18	4.49	0.76	2.36	0.85	1.13
0 – 0,05	45,21	73,57	29,02	38,70	1,50	2,32

Tab. 2: Zrnitostné zloženie škvary z granulačného kotla z ENO Nováky za rok 2005

Zrnitostná trieda [mm]	Hmotnostný výnos [g]	Hmotnostný výnos [%]	Obsah spaliteľných látok [%]
podanie	266,00	100	19.16
+ 4.0	5.22	1.96	21.98
2.8 – 4.0	3.73	1.40	56.06
2.0 – 2.8	9.04	3.40	72.10
1.4 – 2.0	7.08	2.66	65.46
1.25 – 1.4	3.88	1.46	60.77
1.0 – 1.25	9.79	3.68	56.57
0.5 – 1.0	46.81	17.60	32.96
0.315 – 0.5	51.57	19.39	13.42
0.2 – 0.315	70.86	26.64	5.80
0 – 0.2	58.02	21.81	3.84

3. Morfológické vlastnosti popolčiek

Morfológické parametre boli skúmané pomocou rastrovacieho elektrónového mikroskopu Jeol JSM 35 CF (v zobrazení

pomocou sekundárnych elektrónov). Merania boli vykonané na Katedre náuky o materiáloch Hutníckej fakulty TU v Košiciach. Na tvarové parametre mikročastíc skúmaných popolčiek okrem petrografického zloženia spaľovaného

uhlia výrazne vplýva teplota spaľovania - v granulačných kotloch sú dosahované teploty 1100 až 1300 °C. Podľa našich zistení má teplota spaľovania uhlia dominantný vplyv na morfológiu popolčeka. Granulačný popolček v dôsledku čiastočného až úplného natavenia obsahuje najmä zaoblené častice, vyskytujú sa aj plné sférické častice. S teplotou horenia súvisí aj polykomponentnosť.

Mikroanalytické merania častíc

Zloženie jednotlivých častíc bolo analyzované s využitím mikroanalyzátoru Link AN10.000. Vzorok granulačného popolčeka z elektrárne ENO Nováky boli špeciálne pripravené na plošné snímanie vybraných častíc EDX metódou. Z energiovo-disperzných RTG-spektier boli stanovené obsahy prítomných chemických prvkov (po aplikácii ZAF korektúr v počítačovom programe). Obsahy zistených chemických prvkov v jednotlivých časticách

boli namerané s reálnou citlivosťou 0,1 - 0,5 %.

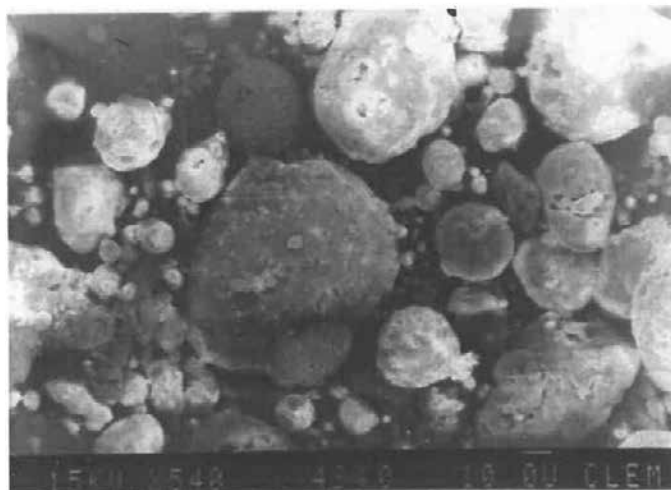
Merania morfológie i EDX mikroanalýzy boli vykonané na vzorkách :

- granulačného hnedouhoľného popolčeka, odber v r. 2005,
- granulačného hnedouhoľného popolčeka, odber v r. 2006,
- škvary, odobranej z granulačného kotla v r. 2005.

Prvé dva prezentované obrázky približujú častice popolčeka z odberov vzoriek v r. 2005. Na obr.1 (4939) je širšia kompozícia častíc popolčeka z granulačného kotla pri 54 násobnom zväčšení. Častice majú izometrický, čiastočne zaoblený tvar; hladké častice guľového tvaru sú relatívne zriedkavé – zachytáva ich detailný snímok na obr. 2 (4940; zväčšenie 540 x), kde sú viaceré hladké častice oválneho až izometrického sférického tvaru.



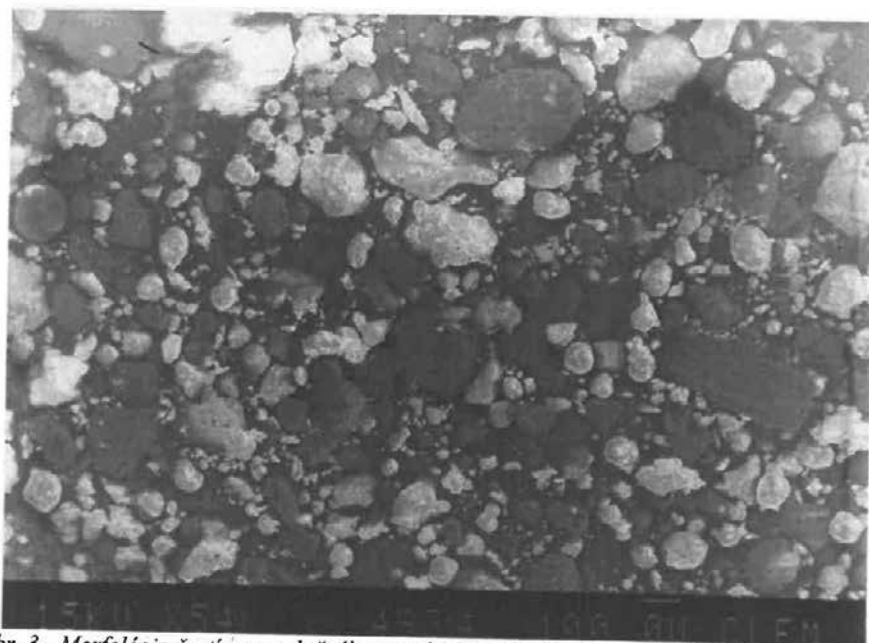
Obr. 1 - Morfológia granulačného popolčeka z roku 2005 - zväčšenie 54 x



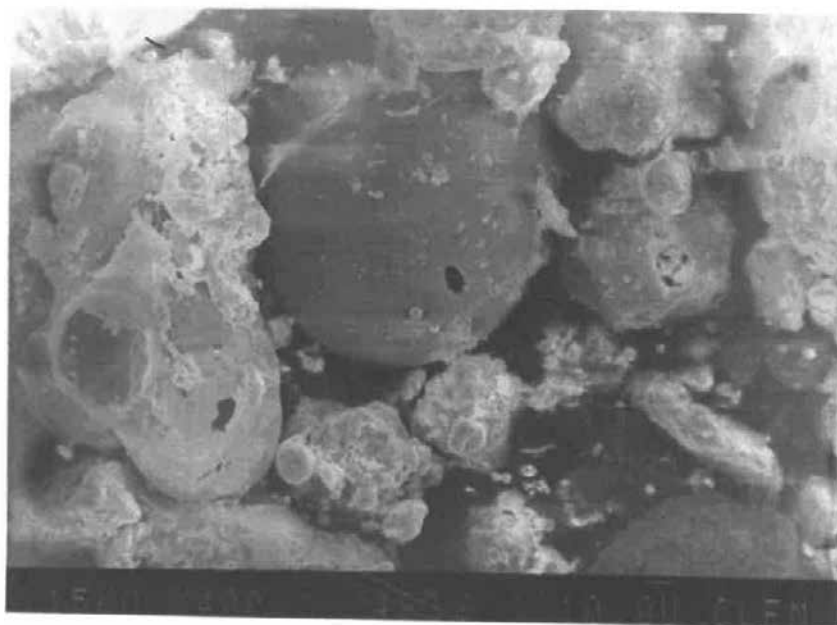
Obr. 2 - Detail častíc guľového tvaru z granulačného popolčeka 2005 (540 x)

Morfológia častíc z odberu vzoriek za r. 2006 je podobná ako v prípade vzoriek popolčeka na obr. 1 a obr. 2 z odberov z r. 2005. Dokumentujú to ďalšie dva obrázky: obr. 3 (4934) pri 54-násobnom zväčšení prezentuje charakteristické častice granulačného popolčeka z r. 2006. Majú prevažne semioválny tvar. Zriedka sa tu vyskytujú hladké častice guľového tvaru. Takými sú častice veľkosti 0,010 – 0,6 mm, zachytené v detailnejšej mierke (zväčšenie 400 x) na obr. 4. Veľká častica uprostred má guľový tvar; ďalšie častice majú členitejší tvar.

Oválna častica vľavo je na povrchu pokrytá povlakom, vytvoreným pravdepodobne kondenzáciou pár tých zlúčenín, ktoré sa odparili v zóne spaľovania a postupne sa vyzrážali z plynov tých prvkov, ktoré kondenzujú pri nižších teplotách (napr. pary As zostávajú v plynnom stave do teplôt nad 219-239 ° – Gažo, 1974). Prvky, dodatočne vyzrážané na povrchu častíc popolčeka je obtiažne identifikovať, pre ich malé rozmery sú mimo identifikačný raster.



Obr. 3 - Morfológia častíc granulačného popolčeka ENO Nováky z roku 2006 (zväčšenie 54 x)



Obr. 4 - Sférické častice v granulačnom popolčeku z r. 2006, ENO Nováky (400 x)

Z obrázkov je možné porovnať častice granulačného popolčeka v horizonte dvoch rokov 2005 a 2006. Častice z uvedených rokov sú vzájomne podobné aj chemickým zložením. Z detailov na snímkach je možné predpokladať, že niektoré sférické častice sú duté a že ide o hnedouhoľné mikrosféry.

Na ďalších obrázkoch je zreteľná odlišná morfológia častíc škvary z granulačného kotla

ENO Nováky, z r. 2005. Na obr. 5 (4937; zväčšenie 54 x) je kompozícia pospiekaných segmentov škvary. Častice majú nepravidelný tvar, ich povrch je značne nerovný, až pórovitý. Na obr. 6 (4938; zväčšenie 540 x) je detail častíc z obr. 5. Škvara predstavuje značne porézny materiál, čo potvrdzujú aj výsledky merania veľkosti povrchov ($26,47 - 29,82 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$).



Obr. 5 - Morfológia škvary z roku 2005 z ENO Nováky (celkový pohľad pri zväčšení 54x)



Obr. 6 - Morfológia škvary z roku 2005 z ENO Nováky pri zväčšení 540x

Zloženie častíc popolčeka – priradenie minerálnej identity novotvarom

Puzolánové a cementačné vlastnosti popolčeka (ako prídavnej zmesi do cementov a betónov) nie sú dôsledkom ich chemického, ale **minerálneho** zloženia. Klasifikácie a reštrikčné špecifikácie populov, zdôrazňujúce chemické zloženie sú zavádzajúce. Potrebne je vychádzať z látkovej povahy (minerálnej identifikácie) zvyškov po spaľovaní uhlia, ktorá vysvetľuje ich vlastnosti vo vzťahu k požadovanej štruktúre hydratovaných zmesí maltovín a v betónoch rôzneho určenia.

Hydraulicita, resp. **puzolanita** je schopnosť látok tuhnúť a tvrdnúť po zmiešaní s vodou, a to buď samostatne, alebo v iniciačnej prítomnosti napr. portlandského slinku. V prípade maltových, či betónových zmesí sú piesok a kamenivo ako neaktívne zložky, kým vápno a cement sú zložkami aktívnymi. Popolčeky môžu byť aktívne aj neaktívne – v závislosti od obsahu vápnika a alumosilikátov. Puzolánová reakcia je reakciou oxidu kremičitého SiO_2 a oxidu hlinitého Al_2O_3 v popolčeku s hydroxidom vápenatým Ca(OH)_2 , pričom sa tvoria Ca-silikátové a Ca-aluminátové hydratačné produkty. Pri hodnotení puzolánovej reakcie je potrebné zohľadňovať nielen schopnosť viazať hydroxid vápenatý Ca(OH)_2 , aj priebeh reakcie medzi Ca(OH)_2 a aditívnym popolčekom.

Pripomíname, že za puzolánové vlastnosti popolčeka ako zložky vo výrobe stavebných materiálov je zodpovedné **minerologické** a nie chemické zloženie. Popolčeky sú tvorené alumosilikátmi Fe, Ca, K a iných prvkov. Podľa Davidoviča a Škváru platí táto definícia geopolyméru: *“Geopolymér je látka, ktorá vzniká anorganickou polykondenzáciou tzv. geopolymeráciou ako dôsledok alkalického aktivácie alumosilikátových látok.”* Vzniká nová rozsiahla skupina anorganických spojív s vlastnosťami, ktoré doteraz neboli popísané. Sú to :

- geopolymérne materiály na báze popolčeka,
- geopolymérne materiály na báze metakaolínu, atď...

Lacné a dostupné popolčeky zo spaľovania uhlia môžu byť použité ako prekursor

geopolymérov. Geopolyméry na báze popolčeka sú vždy heterogénne, t.j. polykomponentné. Výsledná pevnosť geopolymérov súvisí s veľkosťou častíc, s chemickým zložením, obsahom a reaktivitou sklenej fázy, s veľkosťou a reaktivnosťou povrchu.

Nízkoenergetický proces alkalického aktivácie vedie k tvorbe rýchlotuhnúceho materiálu s neobvyklou tvrdosťou a pevnosťou, čím sú geopolyméry podobné cementom.

Medzi najvhodnejšie suroviny na tvorbu geopolymérov patrí popolček zo spaľovania uhlia.

Pre uvedené skutočnosti sme popolčeky skúmali aj z pohľadu formovania minerálnych novotvarov. Môžu vstupovať ako aktívne zložky, ktoré sa vyskytujú v cementoch a betónoch ako určité modifikácie polymérov.

V nasledujúcich tabuľkách sú výsledky plošných EDX mikroanalýz z reprezentatívnych častíc popolčeka zo spaľovania hnedého uhlia z odberu v r. 2005, 2006, a škvary z r. 2005:

Poznámka:

V tabuľkách sú prezentované iba výsledky troch EDX plošných analýz častíc popolčeka. Samotné merania nám potvrdili, že z 10 - 12 meraní bolo 8 - 10 s takmer totožnými obsahmi EDX spektier, teda s takmer rovnakými obsahmi chemických prvkov.

Plošné distribučné EDX-mikroanalýzy (v tab. 3 a 4) v princípe nezodpovedajú skutočným obsahom prvkov v minerálnych novotvaroch. Korekčný program ignoruje obsah kyslíka príp. ďalších aniónových prvkov (F, Cl...) a automaticky prepočítava merané obsahy prvkov na celkových 100 %. Pre stotožnenie ich identity s prírodnými minerálnymi ekvivalentmi sú smerodajné skôr atómové koeficienty prvkov, resp. ich vzájomný pomer, v akom sa vyskytujú v každom z analyzovaných novotvarov. Zároveň je potrebné rešpektovať možné izomorfné nahrádzanie / zastupovanie prvkov s analogickými chemickými vlastnosťami, vstupujúcimi do ekvivalentnej pozície štruktúry. Interpretácia zloženia častíc potom vyznieva nasledovne:

Tab. 3: Výsledky EDX plošných mikroanalýz částic zo vzorky granulaceho popolčka z ENO Nováky z rokov 2005 a 2006. Obsahy prvkov sú analyzované v %

částice zo vzorky granulaceho popolčka z roku 2005									
analyz.prvok	Si	Al	K	Ca	Fe	Mg	S	Ti	Mn
částica 331	56.7	20.2	5.5	1.0	13.3	2.5	0.0	0.8	0.0
332	58.5	19.6	3.5	3.9	11.7	1.6	0.0	0.8	0,4<
333	57.6	16.6	6.6	3.9	11.3	3.0	0.0	0.6	0,3<
částice zo vzorky granulaceho popolčka z roku 2006									
	Si	Al	K	Ca	Fe	Mg	S	Ti	Mn
částica 321	48.4	19.1	7.6	4.3	16.9	0.9	1.7	0.8	0,3<
322	88.9	3.6	1.2	1.8	3.7	0.5	0.0	0,0<	0,2<
323	52.0	16.7	7.6	4.5	14.8	2.8	0.0	1.5	0,1<

Tab. 4: Výsledky EDX plošných mikroanalýz částic zo vzorky škvary z roku 2005 z ENO Nováky. Obsahy prvkov sú analyzované v %

analyz.prvok	Si	Al	K	Ca	Fe	Mg	S	Ti	Mn
částica 311	35.6	14.4	1.6	4.1	42.8	0.8	0.0	0.6	0,2<
částica 312	53.1	18.6	6.5	4.0	14.9	1.7	0.0	1.0	0,3<

Částica 322 má jediná z meraných také zloženie, ktoré s najväčšou pravdepodobnosťou zodpovedá kremeňu. Prímеси Al, K i Ca môžu tvoriť zložky drobných mikročastíc na jej povrchu. Podobne prímеси Fe môžu spôsobovať limonitické povlaky na povrchu a v puklinách. Ďalšou možnosťou je vznik novotvarov minerálu magnetitu, ktorý môže vznikať v procese spaľovania uhlia v určitých priestoroch granulaceho kotla, v miestach

s lokálnym nedostatkom spaľovacieho vzduchu. Naopak hliník môže tvoriť izomorfnú prímеси v štruktúre kremeňa.

Částice 331, 332, 333, 323 a 312, aj trochu odlišná částica 321, chudobnejšia na Si – majú podobný charakter – sú to K, Fe, Al kremičitany. Variabilitu ich alumosilikátového zloženia (tab. 3 a 4) je možné vyjadriť súborným vzorcom:

$K_{0,09-0,19} (Fe_{0,20-0,30} Ca_{0,02-0,11} Mg_{0,04-0,12})_{0,46-0,67} Al_{0,62-0,75} Si_{1,72-2,08} O_7$,
Vzájomný pomer atómových koeficientov obsahov všetkých kationových elementov K až Mg, kumulovaných pod značkou Σ vo vzťahu k Al a Si približujú pomerové vzorce v rozsahu ($\Sigma_2 Al_3 Si_8$) až ($\Sigma_2 Al_2 Si_5$).

Všetky uvedené částice sú vysoko kremičité. Preto pri výpočte skutočných obsahov prvkov v silikátových fázach je vhodné namerané EDX hodnoty obsahov (tab. 3 a 4) stechiometricky prepočítať na oxidické molekuly (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO ...; a tieto redukovat' na sumárnu hodnotu ~100 %). Takto získané hodnoty sú ekvivalentné analýzam horninotvorných silikátov, príp. skutočným obsahom prvkov v mineráli (spolu s O_2). Konštrukciu vzorca novotvarov limituje prítomnosť Fe, ktoré môže mať dvojité oxidačné číslo (2+ resp. 3+ ako minerálny novotvar magnetitu). V silikátoch vystupuje Fe (okrem kationovej pozície s Ca, Mg...) často aj v pozícii spoločne s Al^{3+} . Keďže spaľovanie

hnedeého uhlia prebieha pri vysokých teplotách (v granulacných kotloch pri $1100 \div 1300$ °C), je predpoklad oxidácie podstatnej časti Fe^{2+} na vyššie oxidačné číslo (Fe^{3+}) – pred aj po vstupoch do štruktúry novotvarov. Z morfológie mnohých částic novotvarov možno predpokladať len mezomorfne vyvinutú štruktúru, príp. prevládajúce znaky amorfnej neusporiadanosti částic.

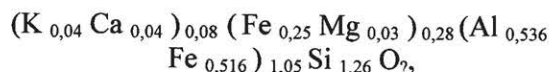
Väčšia časť Fe zrejme vystupuje aj v pozícii spolu s Al, kedy pri predpokladanom pomere $Fe^{2+} : Fe^{3+} = 1 : 2$ a priemernom chemickom zložení piatich částic 331 až 312, predpokladáme také zloženie, aké je v tab.7.

Tab. 5: Priemerné reálne chemické zloženie – obsah molekulových komponentov v meraných časticiach

častice /obsah	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	FeO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂
Ø 331 - 312	63,03	18,37	3,78	2,56	2,04	2,98	5,96	0,83
311	44,03	15,73	1,11	3,32	0,77	10,60	23,58	0,57

Úplná asociácia elementov v tab. 5 sa vyskytuje len v biotitických (krajných Fe) sľudách ako sú: annit $K_1 Fe_3 Al_1 Si_3 O_{10} (OH)_2$; siderofylit $K_1 Fe_2 Al_3 Si_2 O_{10} (OH)_2$ príp. celadonit $K_1 Mg Fe_2 Si_4 O_{10} (OH)_2$, avšak s omnoho nižším zastúpením kremíka (v priemernom biotite je ~ 41,6 % SiO₂). Prepočítaný obsah 29,45 % Si je tu blízky skôr niektorým zeolitovým minerálom, príp. amfibolom (skupina minerálov obvykle bez K, avšak s obsahmi SiO₂ do 48 %). Z ostatných silikátov – ako málo pravdepodobný – prichádza ešte do úvahy sekaninait (= krajný Fe-kordierit) - $Fe_2 Al_4 Si_5 O_{18}$ - s preň neobvyklou prímiesou draslíka. Sľudy napriek obsahu $(OH)_2$ sú termicky relatívne inertné až do teplôt 850 - 920 °C, kedy len u jemných častíc dochádza k endotermicky nevýraznej dekompozícii. Tmavé biotitové sľudy navyše vykazujú (pri teplote cca 400 °C) oxidačnú exotermickú reakciu, spojenú s transformáciou Fe^{2+} na Fe^{3+} . Priemerný obsah 6,5 % Fe_{celk} v 5 skúmaných časticiach zodpovedá 6,45 % obsahu Fe v priemernom biotite; ten však obsahuje omnoho viac draslíka (priemerný biotit 9,2 % K oproti 3,15 % draslíka v nami meraných časticiach) a na strane druhej menej Al (biotit má 6,22 % Al) ako nami získaná hodnota (Ø 9,72 % Al). Preto za najbližšie minerálnej identite skúmaných častíc podobného zloženia (v tab. 5 a 6) sa javia niektoré nízkohydratované druhy zo skupiny zeolitov – najskôr buď klinoptilolit-Ca, event. tiež ferrierit, heulandit či erionit – vo všetkých prípadoch s výraznou prímiesou Fe, ktoré nahrádza deficit Al^{3+} , príp. čiastočne vystupuje tiež v pozícii kationov spolu s Ca, Mg i K (Coombs et al., 1997). Takúto interpretáciu identity zmieňovaných častíc novotvarov podporuje aj známy poznatok, že rad čistých **minerálov zeolitovej skupiny sa priemyselne pripravuje práve z popolčiek**.

Odlišný charakter má častica 311 – jediná s nízkym obsahom Si aj Al a s výrazným obsahom Fe. Prepočítané chemické zloženie zaznamenáva tab. 5. a pomerové atómové koeficienty prvkov (pri pomere $Fe^{2+} : Fe^{3+} = 1 : 2$) aj súborný kryštalochemický vzorec :



V prípade tejto častice na základe blízkeho zloženia ju s najväčšou pravdepodobnosťou môžeme považovať za novotvar ekvivalentný minerálu amfibolovej skupiny (obvykle Fe, Mg, Ca inosilikáty bez K). Z 5 amfibolových skupín je identite novotvarov najbližší buď: K-ferritschermakit, $(K,Ca)_2 (Fe, Mg)_3 Al_2 (Si_7 Al) O_{22} (OH)_2$, prípadne K-ferrisaganait $(K,Na)Ca_2 (Fe^{2+}, Mg)_2 (Fe^{3+}, Al)_2 (Si_5 Al_3) O_{22} (OH)_2$, avšak tu v anhydralnej forme (Leake et al., 2003).

Poznatky o minerálnych novotvaroch, ktoré vznikajú počas spaľovania uhlia v tepelných elektrárnach, sú významné najmä z hľadiska ich uplatnenia ako prídavných zmesí do cementov a betónov. Identifikácia možných minerálnych novotvarov je dôležitá v prípadoch, ak popolčeky majú byť použité v stavebníctve, pre tieto účely sú rozhodujúce ich puzolánové vlastnosti a ich aktuálna možnosť využitia pri syntéze geopolymérov.

Z tohto pohľadu nadobúdajú dôležitosť geopolymérne materiály - syntetické anorganické polyméry, ktoré vznikajú polykondenzačnou reakciou spravidla amorfného aluminosilikátového materiálu (prekursoru) v tuhej forme v aktivačnom roztoku hydroxidu (NaOH, KOH), pri zvýšenej teplote (20 až 90 °C). Dostupné priemyselné reziduá ako popolčeky zo spaľovania uhlia môžu byť použité ako **prekursor geopolymérov**. Puzolány, medzi ktoré patria čiastočne aj popolčeky, dodatočne indukujú puzolánovú reakciu v cemente.

Popolčeky zo spaľovania uhlia obsahujú minerálne novotvary blízke prírodným zeolitom - phillipsitu a klinoptilolitu. Opäť pripomíname, že za ich puzolánové a cementačné vlastnosti je zodpovedné ich mineralogické a nie iba chemické zloženie.

Záver

V procese spaľovania uhlia dochádza k slinovaniu jednotlivých častíc popolovín. Častice popolčeka **nevytvárajú ideálny model**

minerálních novotvarov, tým sa odlišujú od prírodných minerálov. Z výsledkov prezentovaných meraní je možné predpokladať mineralogické zloženie častíc popolčiek a následne prognózovať vhodnosť ich použitia ako novej puzolánovej zložky, aj ako prekursorov geopolymérov.

Z morfológie popolčiek z hnedého uhlia je možné zistiť analogický tvar všetkých častíc, ktoré vznikali v rovnakých podmienkach spaľovania uhlia. Granulačné popolčky majú zaoblený až guľový tvar častíc. Z ich porovnania vyplýva záver, že *medzi jednotlivými druhmi popola pri rovnakom stálom režime kotla nie je rozdiel vo vzhľade/morfológii častíc, ale iba v ich veľkosti a v obsahu chemických prvkov.*

Literatúra:

- [1] Coombs D.S., et al.: *Recommended nomenclature for zeolite minerals... Canad.Mineralogist, Vol. 35, pp.1571-1606, 1997.*
- [2] Davidovič J. Geopolymers: inorganic polymeric new materials, *Journal of Thermal Analysis*, **1991**, 37, 1633; Davidovits, J. Environmentally driven geopolymer cement applications, *Geopolymer 2002 Conference*, Melbourne, Austrália, **2002**; Davidovits, J. Properties of geopolymer cements, *Proceedings of the First International Conference on Alkaline Cements and Concretes*, Kiev, Ukrajina, **1994**, s. 131; Davidovits, J. 30 years of success and failures in geopolymer applications. Market trends and potential breakthroughs, *Geopolymer 2002 Conference*, Conference, Melbourne, Austrália, **2002**.
- [3] Fečko P., Kušnierová M., Lyčková B., Čablík V., Farkašová A.: *Popílky*. Monografia. 187 strán, VŠB-TU Ostrava, Ediční středisko, 2003. ISBN 80-248-0327-5
- [4] Juhásová J. Diplomová práca TU F BERG, 2007, 81 str.
- [5] Leake B.E., et al.: *Nomenclature of amphiboles... Canad.Mineralogist, Vol. 41, pp.1355-1362, 2003.*
- [6] Ledererová J., Svoboda M., Sedláková M., Suchardová M., Leber P., Knězek J.: *O základních aspektech ekologického a ekonomického využívání průmyslových odpadních materiálů (POM). X. Konference „Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky“*, VUSTAH Brno, str. 8-11, 2006; ISBN 80-239-7146-8
- [7] Michalíková F., Floreková L., Benková M.: *Vlastnosti energetického odpadu – popola. Využitie technológií pre environmentálne nakladanie. Monografia. Vydanie: prvé, 2003, 228 strán, Tlačiareň Krivda, Košice, ISBN 80-8087-054-7.*
- [8] Michalíková, F., Škvarla, J., Zeleňák, F. Možnosti využiti popílku ze spalování černého uhlí, *Odpady*, **2004**, 2, 21;
- [9] Michalíková, F., Floreková, L., Škvarla, J. Technologie a zariadenia pre zhodnocovanie popola-odpadu z elektrární, *Acta Montanistica Slovaca*, **2004**, 4, 2.
- [10] Sičáková A.: Betón a nanotechnologie In: Kamenivo a betón : *Samostatná príloha odborného časopisu SZVK ku konferencii Betón 2005*. - Roč. (2005), s. 7-11.
- [11] Stárková B.: *Morfologie popílku z elektrárny Mělník III. a elektrárny Pruněřov*. Výzkumný ústav vzduchotechniky Praha – Malešice, 1983
- [12] Stehlíková, B.: *Ekonomické možnosti zužitkovania hnedouhoľných popolov z tepelných elektrární*. Zpravodaj HNĚDÉ UHLÍ, Most, 3/2005, str. 5 - 12, ISSN 1213-1660
- [13] Škvára F. Alkalicky aktivované materiály – geopolyméry 2007, Ústav skla a keramiky VŠCHT Praha.: *Prednáška pre Českú betonársku spoločnosť*; http://www.vscht.cz/sil/pojiva/Gluchovskij_1.pdf, http://www.vscht.cz/sil/pojiva/geo_2007.pdf
- [14] Škvára F., Doležal J., Svoboda P., Kopecký L., Pavlasová S.: *Concrete based on fly ash geopolymer. Intern. Baustofftagung IBAUSIL, Weimar* (2006), Band 1, pp.1 1079 – 1-1086, (ed. J.Stark), F.A.Finger-Institut fuer Baustoffkunde 2006
- [15] Škvarla J.: *Environmentálne častice. Monografia. TU Košice*, vyd. Štroffek, 110 strán, 2000. ISBN 80-88896-44-4

Podakovanie:

Práca vznikla pri riešení vedeckého grantu č. 1/3347/06, prideleného Slovenskou agentúrou VEGA.