

Beáta Stehliková, TU Košice, Fakulta BERG, Katedra informatizácie a riadenia procesov, Košice, Slovenská republika

Ekonomické možnosti zúžitkovania hnedouhoľných popolov z tepelných elektrární

Přijato: 21.3.2005, recenzováno: 25.5.2005

Ökonomische Möglichkeiten der Nutzung von Braunkohlenkraftwerkaschen

Im Beitrag sind Möglichkeiten der wirtschaftlichen Nutzung von Aschen aus der Verbrennung der Braunkohle in Granulations- und Wirbelschichtkesseln präsentiert, ausgehend von den Erkenntnissen von deren physikalischen, chemischen und mineralogischen Eigenschaften. Die Stromproduzenten in den Wärmekraftwerken stehen seit einigen Jahren unter dem legislativen Druck zu der Emissionsreduzierung entsprechend den Kjótó- und Johannesburg-Protokollen. Manche Kraftwerke entweder bauen Wirbelschichtverbrennungsanlagen ein oder führen Nassprozesse der Entschwefelung ein.

In den Kraftwerken, in denen die Kohleverbrennungsweise aus den Schmelzkesseln auf Wirbelschichtkessel geändert wurde, kommt zu deutlicher Emissionsreduzierung. Weitere bedeutende Wirkung dieser Änderung ist die Änderung **der Eigenschaften der festen Verbrennungsreste**. Die Änderung der Eigenschaften ist durch die **Änderung der Temperatur der Kohleverbrennung** verursacht.

Economical Possibilities of Use of Brown-Coal Ash from Thermal Power Plants

The article presents the possibilities of economic use of ash from brown coal burning in granulating and fluid boilers based on the information about their physical, chemical and mineralogical properties. Legislation has been pushing the power producers in thermal power plants to minimise emissions in compliance with Kyoto and Johannesburg protocol for several years. Therefore a lot of power plants either install fluid burning facilities for desulphurizing the dry way or implement wet processes of fluid gases desulphurization.

In the power plants where the way of coal burning from liquid-slag to fluid boilers changed there has been outstanding drop of emissions. Change of **solid waste after coal burning** is another consequence of this change. The change of properties is caused by the **change of coal burning temperature**.

Экономические возможности утилизации бурогоугольной золы из тепловых электростанций

В статье представляются возможности экономического использования летучей золы из сгорания бурого угля в грануляционных котлах и котлах с кипящим слоем, на основе сведений о их физических, химических и минералогических свойствах. Законодательство уже несколько лет вызывает давление на заводы-изготовители электроэнергии в тепловых электростанциях, чтобы минимизировать выделение эмиссий в соответствии с Протоколами из Киото и Йоганнесбурга. Поэтому многие электростанции или инсталлируют устройства сжигания в кипящем слое, в которых происходит обессеривание сухим путем, или же внедряют мокрые процессы обессеривания. В электростанциях с измененным способом сжигания угля на котлы с кипящим слоем, получается резкое снижение эмиссий. Дальнейшим значительным последствием такого изменения является изменение свойств твердых остатков после сгорания угля. Изменение свойств вызывает изменение температуры сгорания угля.

Ekonomické možnosti zúžitkovania hnedouhoľných popolov z tepelných elektrární

V príspevku sú prezentované možnosti hospodárneho využitia popolčiek zo spaľovania hnedého uhlia v granulačných

a fluidných kotloch na základe poznatkov o ich fyzikálnych, chemických a mineralogických vlastnostiach. Legislatíva už niekoľko rokov vytvára tlak na producentov elektrickej energie v tepelných elektrárňach v smere minimalizácie emisií v súlade s Kjótskym a johanesburgským protokolom. Preto mnohé elektrárne buď inštalujú fluidné spaľovacie zariadenia, v ktorých dochádza k odsiřovaniu suchou cestou, alebo

zavádzajú mokré procesy odsiřovania spaľín.

V elektrárňach, v ktorých je zmenený spôsob spaľovania uhlia z výtavných na fluidné kotly, dochádza k výraznému zníženiu emisií. Ďalším významným dôsledkom tejto zmeny je zmena **vlastností tuhých zvyškov po spaľovaní uhlia**. Zmenu vlastností spôsobuje **zmena teploty spaľovania uhlia**.

1. Úvod

Energetika TVORÍ - ako priemyselné odvetvie - pilier všetkých ďalších priemyselných odvetví národných ekonomík. Úroveň ochrany životného prostredia v rámci energetiky odzrkadľuje environmentálnu etiku priemyslu, čo mimoriadne ovplyvňuje kvalitu života obyvateľstva.

O tuhé odpady zo spaľovania uhlia v elektrárňach a teplárňach prejavujú odberatelia stále väčší záujem. V prognózach sa častejšie objavuje termín „perspektívna surovina budúcnosti“.

Využitelnosť uvedených odpadov je **rozdielna**, podľa toho, aký druh uhlia je spaľovaný a aké **vlastnosti počas spaľovania získajú**.

2. Vlastnosti tuhých zvyškov zo spaľovania uhlia v rozličných spaľovacích zariadeniach

a) Fyzikálne a technologické vlastnosti

Fyzikálne a technologické vlastnosti popolčiek sú zásadne ovplyvnené vlastnosťami uhlia, ktorého spaľovaním vznikajú. K fyzikálnym vlastnostiam patrí zrnitosť, resp. veľkosť povrchu, hustota, merná, objemová a sypaná hmotnosť, tvrdosť, optické vlastnosti, magnetizmus, elektrické vlastnosti, tepelná vodivosť a rozťažnosť, namrzavosť, zhutniteľnosť, taviťnosť a napučíavanie, rádioaktivita.

Teplota spaľovania uhlia je technologickou vlastnosťou.

Príkladom je spaľovanie **čierneho uhlia vo výtavných kotloch** (v EVO Vojany, TEKŮ a USS Košice). Teplota v spaľovacom priestore kotla je 1 400 – 1 550 – 1 600 °C. Pri tejto teplote je popolček natavený až roztavený. Prevládajúci tvar častíc je **sférický**.

Teplota spaľovania **hnedeého uhlia v granulačných kotloch** (ENO Nováky) sa pohybuje v rozsahu 1 100 – 1 300 °C. Popolček obsahuje častice, u ktorých prevláda **komôrková stavba**. Všeobecne sa teplota horenia hnedeých uhlí, určená ich výhrevnosťou (horná hranica je limitovaná teplotou tavenia popola) pohybuje v rozsahu 1 100 – 1 250 – 1 300 °C.

Teplota spaľovania **uhlia vo fluidných kotloch** – (čierne uhlie v EVO Vojany, v Energetike Trinec, hnedé uhlie v ENO Nováky) – má byť **okolo 800 – 850 °C**. Nesmie však prekročiť 900 °C, nakoľko potom dochádza ku škvárovaní. Častice popolčeka, ktoré vznikajú pri fluidnom spaľovaní v dôsledku nižšej teploty

v spaľovacom priestore, vytvárajú z pôvodného uhoľného zrna minerálny skelet so zvyškami nespáleného uhlia.

b) Chemické vlastnosti

Sú charakterizované prítomnosťou chemických prvkov, ktorých počet sa blíži k počtu vyše polovice prvkov z Mendelejevovej tabuľky. Z nich sú pre priemyselné využitie v stavebníctve najvýznamnejšie Si (40-60 %), Al (10-15-20 %), Fe (4-11 %), Ca (0,5-10 %, vo fluidných popoloch aj vyššie), Mg (0,3-4 %).

c) Mineralogické vlastnosti

Zasluhujú si pozornosť kvôli tomu, že v jednotlivých spaľovacích zariadeniach (vo výtavných, granulačných i fluidných kotloch) vznikajú rozdielne minerálne novotvary aj v prípadoch, že spaľujú uhlie z toho istého zdroja. Z toho vyplýva, že iba chemické zloženie dostatočne nedefinuje vlastnosti vznikajúcich tuhých zvyškov. Pre ich správanie v následných spracovateľských technológiách je potrebné poznať ich mineralogické zloženie, teda minerálne novotvary, vznikajúce v jednotlivých druhoch spaľovacích zariadení. Napríklad vo fluidných popoloch je Ca zastúpené takými minerálnymi novotvarmi ako portlandit – $\text{Ca}(\text{OH})_2$, anhydrit CaSO_4 , hannebachit $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$, sadrovec $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ettringit $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ a thaumazit $\text{Ca}_6\text{Si}_2(\text{SO}_4)_2(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_{12} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$, vyskytuje sa však aj nerozložený CaCO_3 , ktorý je pridávaný v dvojnásobku stechiometrickej spotreby do spaľovacieho procesu práve kvôli interakcii so sírou v uhlí, pričom vznikajú horeuvedené minerálne novotvary. Uvedené minerálne novotvary majú cementačné a puzolánové vlastnosti.

d) Úžitkové vlastnosti

Pre stavebníctvo, ako dominantného odberateľa je dôležitý vznik minerálnych novotvarov s obsahom Si, Al, Ca a Fe, ktorých prítomnosť je zárukou vzniku ich puzolánových vlastností, práve tieto vlastnosti umožňujú použitie popolov v stavebníctve.

Niektoré druhy čiernouhoľných popolčiek z výtavných kotlov obsahujú vyšší podiel nedopaľu – zvyškov nespáleného uhlia – ako povoľujú STN a EN 206 – 1, preto majú obmedzené možnosti priameho zúžitkovania. Avšak úpravníckym spracovaním je možné z nich separovať úžitkové zložky, využiteľné v iných priemyselných oblastiach.

Hnedouhoľné popolčeky z granulačných kotlov sú typickým príkladom možnosti priameho využitia v stavebníctve – bez potreby úpravy.

Popoly zo spaľovania hnedého uhlia vo fluidných kotloch – popol (úlet i lôžko) – majú tiež možnosti priameho zúžitkovania najmä v cestnom staviteľstve.

Popoly zo spaľovania čierneho uhlia vo fluidných kotloch – popol (úlet i lôžko) – majú v mnohých prípadoch obmedzené možnosti priameho zúžitkovania (kvôli vyššiemu obsahu zvyškov nespáleného uhlia – nedopaľu) a ich zneškodňovanie sa uskutočňuje solidifikáciou - úpravou na formu stabilizátu.

3. Ekonomicko - environmentálne posudzovanie využitia tuhých zvyškov po spaľovaní

Svetový trend využívania priemyselných odpadov je motivovaný ekonomickými výhodami, najmä úsporami surovín, energií a nevyhnutnosťou ochrany životného prostredia. Tento trend sa týka i tuhého odpadu z energetiky – popolov i popolčekov. Finančné náklady na budovanie a udržiavanie skládok, resp. úložísk/odkalísk sú vysoké (zriaďovacie náklady na odkalisko predstavujú desiatky až stovky miliónov korún).

Ekonomický efekt kontinuálneho spracovania spočíva v znížení nákladov spojených s nakladaním s popolčekom ako odpadom. Spracovanie popolčeka vyžaduje zvýšené náklady, ale súčasne prináša tržby za finálne produkty. Výsledkom uvedených činností je **zisk**.

Environmentálny efekt predstavuje zníženie množstva skládkovaného popolčeka, „premenu“ odpadu na jednotlivé produkty, využívané v priemysle a značné zníženie záťaže životného prostredia.

4. Priame zužitkovanie popolov/popolčekov bez úpravy

Záujem o popolčeky vyplýva i z toho, že sa jedná o prístupnú, lacnú a hromadnú surovinu, s dobrými užitkovými vlastnosťami, často s takými, ktoré nepôsobia škodlivo na človeka a životné prostredie.

Použitie popolov/popolčekov v stavebníctve

V štátoch západnej Európy a USA sa popolčeky najčastejšie využívajú v stavebníctve. Popolček je možné využiť v týchto hlavných oblastiach: Vo výrobe cementu a pórobetónu, vo výrobe málorozmerných stenových prvkov z betónu, ako náhradu jemných podielov kameniva, ako čiastočnú náhradu cementu pri výrobe betónov, pri stabilizácii základov stavieb, v cestnom stavitelstve, vo výrobe mált, keramických výrobkov, betónovej krytiny, na sypané tepelné izolácie, na výrobu tepelnoizolačných hmôt.

Škvára (podobne ako troska zo spaľovania čierneho uhlia) je často používaná ako **ostrivo** vo výrobe stavebných materiálov, ale tiež v betónoch.

Najväčšie rezervy v oblasti výroby stavebných hmôt sú v rozšírení použitia popolčeka vo výrobe cementu. Nutnosť spotreby popolčekov aj v iných oblastiach stavebnej výroby, najmä v oblasti výroby betónov je zrejmá aj z toho, že pre túto potrebu bola prijatá európska norma STN EN 450. Slovenské firmy pristupujú pri limitoch dodržiavania **EN 206 – 1/73 2403** na využívanie popolčeka s obsahom nedopalu **do 2-5 % s.ž.**

V súčasnosti sa značné množstvo tuhých zvyškov z fluidného spaľovania uhlia používa na vyplňanie priestorov zanechaných banskou činnosťou. Ďalšie možnosti využitia sú pri rekultiváciách, pri budovaní základov cestných komunikácií a vo využití ako prímiesi do mált a betónov.

Vlastnosti a využitie energosadrovca, ako vedľajšieho produktu z odsírovania spalín

Problemátike jeho separácie a ďalšieho nakladania sa venujú autori Vejvoda et al. (1998). Energosadrovec je možné využívať vo výrobe cementu ako regulátor tuhnutia, na výrobu sadrových stavebných materiálov, napríklad sadrokartónových dosiek.

Vo vyspelých krajinách tvorí produkcia energosadrovca 30 - 52 kg na obyvateľa za rok. Odborné kruhy boli v uplynulých rokoch skeptické k jeho zavedeniu do stavebnej praxe. S odsirowaním spalín v elektrárňach došlo k rozvoju jeho využitia. Napríklad elektráreň Počerady produkuje ročne 240 – 250 tis. ton sadrovca, ktorý sa prakticky úplne predáva zákazníkom. Prevažnú časť odoberie závod na výrobu sadrokartónových dosiek Knauf Počerady.

Ďalšie elektrárne tiež počítajú s odbytom energosadrovca. S čiastočným využitím sa uvažuje v elektrárni Mělník. Produkcia v ETU 11 (Elektráreň Tušimice) a EPRU I (Elektráreň Pruněřov) je použitá najmä na produkciu stabilizátu na ukladanie do vyťažených banských priestorov. Produkciu energosadrovca pre tento účel nebude možné zužitkovať v plnom objeme, avšak jeho deponovanie vo vyťažených baniach nie je hygienicky závadné.

Cena prírodného sadrovca sa pohybuje od 400 do 500 Sk za tonu. Cena energosadrovca je nižšia a tak je zaujímavá pre odberateľov. Ide o výrobcov sadrokartónových stavebných materiálov, aj o cementárne, ktoré pre výrobu cementov potrebujú práve sadrovec.

Poznámka:

Častou formou zneškodňovania fluidných popolov býva ich solidifikácia, počas ktorej sa využíva popol, popolček a energosadrovcová suspenzia na tvorbu stabilizátu. **Skládkovaním popola vo forme stabilizátu dochádza k stratám cennej suroviny - fluidného popola, popolčeka z výtavných alebo granulačných kotlov a energosadrovca.** Efektívnym riadením/manažovaním jednotlivých komodít z popolov je možné umiestniť jednotlivé druhy popolov na trhu, a tým vytvárať podmienky pre minimalizáciu odpadov. Na Slovensku sa prejavuje vyšší dopyt po energosadrovci. V cementárňach môže nahradiť prírodnú surovinu - sadrovec. Touto formou využitia energosadrovca odpadne „potreba“ vytvárať stabilizát, fluidný popol môže byť produktom pre vytváranie podkladových vrstiev vozoviek, diaľnic. **Energosadrovec môže byť finálnym trhovým produktom, nie prostriedkom na znehodnocovanie cennej suroviny – popolov.**

Uprednostňovanie výroby stabilizátu ako jedného zo spôsobov solidifikácie, sa v súčasnosti javí ako nevhodný. Nielen že sa stráca cenná surovina – popoly, ale ukazuje sa, že stabilizát je trhovo neatraktívny, jeho predaj je často problematický, má menšie možnosti úspešného využitia. Stabilizát je možné použiť ako zásypový materiál, aj ako podložie skládky pre nie nebezpečný odpad.

5. ***Ekonomické spôsoby nakladania s tuhými odpadmi zo spaľovania hnedého uhlia***

a) ***Popoly z granulačných kotlov***

Z celkovej produkcie je iba určitý hmotnostný podiel skládkovaný na odkaliskách. Náklady na skládkovanie 1 tony popolčeka sa u jednotlivých producentov pohybujú v rozsahu **100 – 200 Sk**, v závislosti od dopravnej vzdialenosti skládky/odkaliska.

- Vo výrobe **cementárenského slinku** je cena popolčeka porovnateľná s cenou prírodných ťažených surovín. Úmerné množstvo je v tomto prípade 25 % hmotnostných.
- Významný podiel je spracovaný vo výrobe pórabetónových materiálov.
- Ak je popolček použitý ako **jemné kamenivo do betónov**, môže úspešne nahradiť jemný prírodný piesok, ktorého cena sa pohybuje od **500 do 900 Sk** za 1 m³. Objemová hmotnosť popolčeka je 880-1020 g.dm⁻¹.
- Použitie popolčeka ako **čiastočnej náhrady cementu v betónoch** je podmienené ich puzolánovými vlastnosťami (podľa STN EN 450 sa stanovuje index aktivity). Ide o dve formy využitia:
 - náhrada **jemných podielov kameniva** (bez zníženia dávky cementu) – pasívna forma,
 - **čiastočná náhrada cementu** (zníženie dávky cementu) – aktívna forma.

Príkladom môže byť stavba priehrady Orlik, kde bola použitá dávka **50 kg popolčeka na 1 m³ betónu**, čím sa ušetrilo **60 kt cementu a súčasne bola dosiahnutá lepšia kvalita betónu** (vďaka puzolánovým vlastnostiam použitých popolčeka).

Obsahy zvyškov nespáleného uhlia, vyjadrené stratou žíhaním – s.ž., limituje EN 206-1 hodnotami **3 – 5 % s.ž.**, túto normu spĺňajú všetky popolčeky z granulačných kotlov.

Pre použitie popolčeka vo výrobe **maltovín** platia v zásade tie isté kritériá a požiadavky ako pri betóne a cementových kompozitoch. Opäť ide o náhrady za jemné kamenivo a čiastočnú náhradu cementu.

V cestnom stavitel'stve majú popolčeky perspektívu využitia, a to v **zabudovaní do cestného telesa, do jadra násypu, alebo vo vrstvách sendvičového násypu**.

Doterajšie skúsenosti s použitím vo vozovkových konštrukciách umožňujú nasledovné varianty:

- V nestmelenej podkladovej vrstve ako výkonnej tepelnoizolačnej vrstvy (VTIV) alebo v zmesi s iným materiálom ako tepelnoizolačnej vrstvy (TIV).
- Ako materiál pre podkladovú vrstvu stmelenu cementom.
- V stmelenej podkladovej vrstve vo funkcii spojiva alebo prímеси ku kamenivu.

Podľa ON 73 6133 sa do VTIV môže zabudovať iba **nenamrzavý popolček**. Napr. popolček z ENO Nováky má mieru namrzavosti $\beta = 0,03$. Namrzavosť by nemala prekročiť hodnotu $\beta = 0,25$.

Uvedené možnosti predstavujú **najčastejšie a ekonomicky výhodné spôsoby zúžitkovania popolčeka z granulačných kotlov**.

b) Popoly z fluidných kotlov

Fluidný popol – úlet i fluidný popol – lôžko môžu byť úspešne použité ako jedna zo zložiek pri výstavbe cestných komunikácií, kde sú ich výrazné puzolánové vlastnosti cielene využívané. Sú **vhodnou surovinou na vytváranie podkladových vrstiev vozoviek**. Pri súčasnej potrebe výstavby nových komunikácií je predpoklad ich 100 % využiteľnosti. Hrubo zrnnejšia **lôžková** časť popola môže byť použitá ako **kamenivo**, prípadne po premletí ako **väzobná zložka**. Mimoriadne dobré vlastnosti v maltách a cementoch vykazuje najjemnejšia – **úletová** časť z posledných filtrov s ultrajemnými časticami, ktorá obsahuje anhydrit, preto môže byť úspešne použitá ako náhrada sadry v portlandskom popolovom cemente. Opäť ide o **finančne významné zhodnotenie odpadu**.

Poznámka:

Od roku 1965 do roku 2000 bola vo svete uložená asi miliarda ton popola na povrchových skládkach bez toho, aby sa zvažovali alternatívne procesy, ktorých výsledkom by mohli byť iné typy odpadov a následne z nich získané iné modifikácie produktov.

6. Záver

Na tuhé odpady zo spaľovania uhlia z energetiky je v súčasnosti potrebné pozerat' ako na možnú druhotnú surovinu, do ktorej už bola vložená ľudská práca.

Finančné zhodnotenie ekonomického prínosu, vyjadreného v korunách nebude úplne presné. Ide skôr o odhad skutočných cien, ktoré platia medzi producentami a odberateľmi popolov. Jednotlivé firmy sa bránia uverejniť **ceny**, za ktoré nakupujú **prírodné suroviny**, aj náhradné materiály týchto prírodných surovín, teda **zvyšky po spaľovaní uhlia v energetických zariadeniach**.

V porovnaní s výrobou z prírodných surovín je možné jednotlivé druhy popolčekov – ako zložky, použité v jednotlivých technológiách - získať bez nároku na prírodné suroviny. Ich tržová cena je vždy **nížšia** ako cena pôvodných prírodných surovín.

Významná je skutočnosť, že komplexným zúžitkovaním celého produkovaného tuhého odpadu z výroby tepelných elektrární nebude vznikať **odpad**, nebude potrebné riešiť problémy s jeho **nakladaním** - budovať skládky, resp. odkaliská, ktoré je po zaplnení, resp. uzavretí potrebné rekultivovať. Okrem ekonomického prínosu je evidentný i environmentálny pozitívny dopad na životné prostredie.

Uvedené spôsoby **priameho** zúžitkovania tuhých zvyškov zo spaľovania uhlia v granulačných a vo fluidných spaľovacích zariadeniach sú príkladom úspešných spôsobov využitia **odpadu**, jeho zhodnotenia ako **suroviny**.

Možností zúžitkovania budú závisieť od rozhodovania vrcholového manažmentu, ako vyrieši komplexnú využiteľnosť všetkých zložiek, ktoré vznikajú počas spaľovania uhlia v elektrárni. Záleží od ekonomických podmienok, výberu technológií, ekonomickom zhodnotení. Iba manažment na základe poznatkov o vlastnostiach popolčekov môže rozhodnúť o **spôsoboch** nakladania s jednotlivými zložkami, pričom do zhodnotenia je potrebné zahrnúť náklady na výstavbu úložiska/odkaliska, jeho uzatvorenie a následnú rekultiváciu. Pri komplexnom využití

produkovaných odpadov odpadnú náklady spojené s odkaliskom a tento príspevok k hospodárnosti by sa mal premietnuť do výšky alternatívnych nákladov.

Výsledky budú závislé predovšetkým od získania záujmu odberateľov a v značnej miere aj od vhodne zvolenej a účinnej obchodnej „diplomacie“ manažmentu.

Práca bola realizovaná v rámci riešenia grantového projektu VEGA č. 1/0124/03.

Literatúra

1. Benková, M., Košuth, M., Floreková, L., Michalíková, F.: Properties of Magnetite concentrates from fly ash. Proc.of 7th Conference on Environmental and Mineral Processing. VŠB-TU Ostrava, 2003, p. 9-14, ISBN 80-248-0248-1.
2. Ďurica, T. 1990: Štúdia využitia teplárenskej trosky a popolčeka z kotlov teplárne VSŽ, a.s., Košice, HZ č. 64/90.
3. Farkašová, A.: Hodnotenie technologických postupov získavania úžitkových zložiek z energetických odpadov a návrh štruktúry vhodných technologických reťazcov. Dizertačná doktorandská práca, 2002, F BERG TU v Košiciach.
4. Fečko, P., Kušnierová, M., Lyčková, B., Čablík, V., Farkašová, A.: Popílky. VŠB TU Ostrava, HGF, Institut environmentálneho inžinýrství, 2003.
5. Fečko, P., Raclavská, H., Horklová, P., Kraussová, J.: Mineralogické zloženie popolčeka z elektrárne Opatovice pred a po technologickom procese. Medzinárodná konferencia „Energetické odpady a životné prostredie“ Piešťany, 1993, str. 71-77.
6. Floreková, L., Bednárová, D.: Faktory intenzívneho rozvoja kvality výrobkov a služieb 3. časť: Ťažobný a spracovateľský priemysel, TU v Košiciach, 2000, ISBN 80-7099-634-X.
7. Hanzelová, M., Benková, M.: The Environmental and Economical Evaluation of the Development Waste in the Slovak Republic. Proceedings of 3th ICCO, Ostrava 2002, p. 412-419, ISBN 80-248-0089-6.
8. Krličková, E.: Sú naše popolčeky namrzavé? Silniční obzor č. 1/1991, str. 18-20
9. Kyseľová, K., Ďurišin, J.: Chemical Analysis of Complex Metallurgical Systems, Acta Metallurgica Slovaca, 4. Special Issue, 1, 1998, 150-152.
10. Malík S.: Náhradné palivá v parných kotloch. Alfa, Bratislava, 1988
11. Michalíková, F.: Možnosti využitia úpravnických technológií pre environmentálne nakladanie s energetickým odpadom – popolčkami. Habilitačná práca, F BERG TU v Košiciach, 1997.
12. Michalíková, F., Floreková, L., Benková, M.: Vlastnosti energetického odpadu – popola, využitie technológií pre environmentálne nakladanie. Monografia. F BERG TU v Košiciach, tlačiareň Krivda. 228 strán, ISBN 8087-054-7
13. Růžičková, Z., Srb, J., Mayerová, M.: Popílky, jejich úprava a využití. ÚVR – oborové středisko TEI – knižnice „Technika rudního hornictví a úpravnictví“ svazek 27, ročník 1983, Praha.
14. Števílová, N., Mezencevová, A., Sičáková A.: Využitie energetických popolčeka ako aktívnej prísady do betónu. Zborník III. Odborného seminára „Partikulárne látky vo vede, priemysle a v životnom prostredí“, Košice, str. 91-94, ISBN 80-7099-621-8
15. Števílová, N., Mezencevová, A., Boldižárová, E.: Možnosti materiálového zhodnotenia popolčeka z fluidného spaľovania uhlia v stavebníctve. 4. Medzinárodná konferencia „Recyklace odpadu, Košice, str. 265-270, ISBN 80-248-0165-5
16. Vejvoda, J., Burvan P., Svrček, P.: Odsířování spalin v České republice. Acta Montanistica Slovaca 3 (1998), str.264-268, ISSN 1335-1788