

Teplárenská troska – vlastnosti, úprava a použitie

Michalíková Františka^a Jacko Vladimír^b Sisol Martin¹ a Kozáková Ľubica¹

Thermal power sludge – properties, treatment, utilization.

In this paper a knowledge about properties of thermal power sludge from coal combustion in smelting boilers is presented. The physical and technological properties of slag – granularity, density, specific, volume and pouring weight, hardness and decoupling – together with chemical properties influence its exploitation. The possibility of concentrating the Fe component by the mineral processing technologies (wet low-intensity magnetic separation) is verified. An industrial use of the slag in civil engineering, e.g. road construction, was realised. The slag-fly ashes are directly utilized in the cement production as a substitute of a part of natural raw materials. For the use of slag as the stoneware in the road construction, all the criteria are fulfilled.

Key words: properties and utilization fly ashes, slag.

Motto:

*Skládkovanie je najmenej vhodný postup nakladania s troskou a popolčekom, nakoľko výstavba a udržiavanie skládok zatažuje producenta odpadu ďalšími nákladmi. Z hľadiska environmentálneho, materiálového a následne aj ekonomického je výhodnejšie ich **zhodnocovanie** v priemyselnom rozsahu.*

Úvod

Vo výrobe energie a tepla v teplárni energetiky U. S. Steel Košice (ďalej USSK) je spaľované čierne antracitové uhlie. Od začiatku výroby energií pribúda priemerne ročne na suchej halde 80 až 90 kt tuhého odpadu, ktorý je tvorený popolčekom (cca 40 kt) a troskou (cca 50 kt). Pre tento odpad – troskopopoločkovú zmes – sa doteraz nepodarilo nájsť využitie. Dôvody sú nasledovné:

- Popolček obsahuje 10-14 a viac % zvyškov nespáleného uhlia, vyjadrených stratou žiňaním (ďalej s.ž.).
- Popolček s takým vysokým obsahom nedopalu nemá nádej na využitie v mnohých oblastiach stavebníctva.
- Stavebníctvo môže byť potenciálne jeho najväčším odberateľom vtedy, ak obsah s.ž. neprekročil limity dané EN – 206-1, čo je 3-5 % s.ž., resp. podľa STN 722065 maximálne 10 % s. ž. pre popolček z čierneho uhlia (pre hnedouhoľný popolček iba 7 % s.ž.).

V súčasnosti sú popolček a troska spoločne – ako troskopopoločková zmes (ďalej TPZ) – hydraulicky dopravované na miesto dočasného uskladnenia a neskôr po odsedimentovaní, vyťažení a prevezení uložené na suchej halde. Za uloženie TPZ na suchej halde je legislatívne určená výška poplatkov, ktoré je potrebné uhradiť, pričom poplatky za 1 tonu uloženej TPZ sa každoročne zvyšujú. Za 1 tonu to bolo v r. 2004 20 Sk, v r. 2005 je to 30 Sk, pre r. 2006 – 50 Sk, r. 2007 – 100 Sk, r. 2008 – 200 Sk. Lepšia kvalita paliva (zmena dodávateľov uhlia) je málo významná z hľadiska zníženia produkcie TPZ, hoci pozitívne vplyva na znižovanie záťaže životného prostredia.

Za najvýznamnejšie riešenie problematiky TPZ v budúcnosti považujeme to, ktorým sa po aplikáciách vhodných technológií získajú z TPZ priemyselne použiteľné produkty.

V tomto príspevku sú prezentované súčasné možnosti **zužitkovania troskopopoločkovej zmesi a trosky**.

Rozbor problému

Z dostupných možností priemyselného využitia troskopopoločkovej zmesi a trosky sú významné najmä:

- a) využitie trosky a troskopopoločkovej zmesi ako zložky vo výrobe cementárenského slinku,
- b) využitie samotnej trosky v stavebníctve,
- c) úpravnicke spracovanie trosky s cieľom získať skoncentrovanú Fe zložku.

¹ doc. Ing. Františka Michalíková, CSc., Ing. Martin Sisol, Ing. Ľubica Kozáková, PhD., Technická univerzita v Košiciach, Fakulta BERG, Katedra mineralurgie a environmentálnych technológií, Park Komenského 19, frantiska.michalikova@tuke.sk, martin.sisol@tuke.sk, lubica.kozakova@tuke.sk

² Ing. Vladimír Jacko, MBA U.S. Steel Košice, s.r.o., Košice, vjacko@sk.uss.com
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 8. 10. 2005)

O využiteľnosti popolčiekov a trosky rozhodujú fyzikálne a chemické vlastnosti, petrografické zloženie dané druhom spaľovaného uhlia – v tomto prípade čierneho - a procesom spaľovania – vo výtavnom kotle pri teplote 1 400 – 1600 °C.

Charakteristické vlastnosti trosky

Troska vzniká z taveniny, ktorá vypadáva z kúreniska výtavných kotlov do dopravnej vody, kde je prudko ochladená. Vytvára beztvaré čierne až tmavohnedé sklené častice s ostrými hranami rozmerov od 0,1 až po 10-20 mm, vzácné aj väčších.

Medzi **fyzikálne a technologické vlastnosti trosky** patrí zrnitosť, hustota, merná, objemová a sypná hmotnosť, tvrdosť, rozpojiteľnosť, nasiakavosť, magnetické vlastnosti (Michalíková et al., 1990).

Pre použitie v stavebníctve sú významné nasledovné vlastnosti:

Merná hmotnosť/hustota trosky:	2,66 g.cm ⁻³
Objemová hmotnosť (pre zrnitostnú triedu 0 - 4 mm):	2,4 - 2,6 g.cm ⁻³
Sypná hmotnosť – trieda:	
0 – 4 mm	1,30 g.cm ⁻³
4 – 8 mm	1,21 g.cm ⁻³
8 – 11,2 mm	1,14 g.cm ⁻³
11,2 – 16 mm	1,11 g.cm ⁻³
16 – 22 mm	1,11 g.cm ⁻³

„Prirodzené“ zrnitostné zloženie:

Zrnitostná trieda [mm]	Hmotnostný výnos [%]
0 – 4	50,87
4 – 8	20,54
8 – 11,2	7,42
11,2 – 16	6,01
16 – 22	1,06
+ 22	<u>13,90</u>
Spolu:	100,00

Mikrotvrdosť trosky: 10 790-11 770 Mpa VHN (Vickers hardness number)

Mikrotvrdosť trosky je zaujímavá vlastnosť v prípade, ak je potrebné pre jej ďalšie použitie realizovať proces zdobňovania (tvrdosť trosky nie je možné určiť priamymi metódami). Mikrotvrdosť bola meraná na Katedre geológie a mineralógie mikrotvrdomerom.

Princíp merania: Diamantový hrot je silou, ktorej veľkosť je určovaná hmotnosťou závažia, vtlačá do vzorky. Hrot vtlačí do vzorky otláčok. Súčasťou prístroja sú závažia hmotnosti od 10 do 200 g. Na testovanej vzorke trosky spôsobilo závažie hmotnosti 200 g otláčok, menší ako porovnateľný otláčok na kremeň. Z toho vyplýva, že mikrotvrdosť trosky je rovnaká alebo vyššia ako mikrotvrdosť kremeňa. Opakovanými meraniami zistená mikrotvrdosť trosky, t. j. 1 100 – 1 200 kg.mm⁻² je vyššia ako mikrotvrdosť kremeňa stanovená na 1 050 kg.mm⁻².

Merania sú v súlade s našimi pozorovaniami pri rozpojovaní a mletí trosky (Michalíková et al., 1990). Troska sa v procese drvenia správa ako krehký materiál, ako sklo. Počas mletia v trecom mlyne, kde sa jedná o rozpojovanie rozotieraním, sa troska javí ako húževnatý materiál.

Rozpojiteľnosť trosky* bola meraná na Katedre dobývania ložísk metódou dynamického drvenia.

Z tabuliek, ktoré sú k dispozícii, bolo možné určiť, že nameraný koeficient pevnosti zodpovedá stupňu pevnosti dosť mäkkých hornín, ako sú vápenec, sadrovec, ankerit, antracit, až stredne pevných, ako sú siderit, bridlice, atď.

Hatala et al. (1987) uvádzajú pre pevnosť v prostom tlaku [MPa], $\delta_{tl} = 100 f / g$, čo pre posudzovaný zložku znamená, že hodnota jej pevnosti je 20 MPa.

* Rozpojiteľnosť tuhých látok vyjadruje ich odpor proti rozdrobovaniu kusov na menšie časti. Odpor proti rozpojovaniu je vyjadrený súčiniteľom pevnosti podľa vzťahu:

$$f = 20 n / h,$$

kde f = súčiniteľ pevnosti, h = výška náplne v objemometri v [cm], n = počet úderov závažia.

Metóda dynamického drvenia spočíva v drvení vzoriek hmotnosti 50 g v oceľovom valci určitým počtom n úderov závažia hmotnosti 2,4 kg z výšky 64 cm. Následne je rozdrvená troska preosiata cez sito s okatnosťou 0,5 mm a objem nadsitného materiálu sa určí z objemu 5 kusov skúšobných telies v objemometri daného prierezu odčítaním výšky podsitného materiálu h . Pre trosku bol zistený koeficient $f = 2$.

Skúšky mikrotvrdosti a rozpojiteľnosti sú významnými údajmi pri rozhodovaní o použiteľnosti trosky v stavebníctve.

Nasiakavosť trosky je minimálna, pohybuje sa od 0,5 do 1,5 %.

Počas hydraulického dopravy TPZ dochádza k obrusovaniu až rozpojovaniu častíc, teda k zväčšovaniu ich povrchu.

Chemické vlastnosti trosky sú dôležité kvôli následnému využívaniu v priemysle a tiež kvôli skládkovaniu. Troska je na rozdiel od popolčeka je takmer nerozpustná vo vodnom prostredí, je netoxická. Kvantitatívnu analýzu je potvrdené, že obsahy chemických prvkov v troske a popolčeku sú rovnaké, odlišujú sa však kvalitou.

Rádioaktivita popolčeka a trosky. Troska aj popolček sú nositeľmi rádioaktivity. Rádioaktivita spaľovaného uhoľného prášku bola stanovená na 37,7 až 37,8 Bq.kg⁻¹, po spálení uhlia bola v popolčeku stanovená merná aktivita ²²⁶Ra 181 Bq.kg⁻¹, avšak v popolčeku, z ktorého bol vo flotačnom procese odseparovaný nedopal/zvyšky nespáleného uhlia, bola stanovená merná aktivita ²²⁶Ra 198 Bq.kg⁻¹ (prítomnosť zvyškov uhlia spôsobuje, že výsledná rádioaktivita je nižšia), v troske 151 - 157 Bq.kg⁻¹.

Na hodnotenie rádioaktivity stavebných materiálov boli zvolené tieto kritériá:

- Kritérium OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) Nuclear Energy Agency, Paris:

$$\frac{C_K}{1500} + \frac{C_{Ra}}{150} + \frac{C_{Th}}{100} < 2$$

- Kritérium Poľskej republiky (Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa)

1. pre ²²⁶Ra

$$C_{Ra} \leq 185 \text{ Bq.kg}^{-1}$$

2. pre merné aktivity

$$\frac{C_K}{3700} + \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{233} < 1$$

- Kritérium Slovenskej republiky (návrh pokynu hlavného hygienika Slovenskej republiky)

$$C_{Ra} < 120 \text{ Bq.kg}^{-1}$$

U nás zatiaľ platí návrh smernice hlavného hygienika SR z roku 1988, ktorý stanovuje pre objekty bytovej a občianskej výstavby tieto limitné hodnoty merných aktivít prírodných rádionuklidov ²²⁶Ra, ²³²Th a ⁴⁰K v stavených materiáloch (Đurica, 1990)

3. pre ²²⁶Ra

$$a_{Ra} < 120 \text{ Bq.kg}^{-1}$$

4. pre ekvivalentnú mernú aktivitu ²²⁶Ra danú vzťahom

$$a_{ekv} = 0,086 \cdot a_k + a_{Ra} + 1,25 \cdot a_{Th}$$

$$a_{ekv} < 370 \text{ Bq.kg}^{-1}$$

Spáliteľné látky v troske. Troska má vzhľad čiernej lesklej sklovitej hmoty. Vo vzorkách trosky bola zisťovaná v jednotlivých zrnitostných triedach prítomnosť zatavených nespálených zvyškov uhlia. Počas pôsobenia teploty 900 °C dochádza pri rovnakých hmotnostiach vzoriek k prírastku hmotnosti vo všetkých zrnitostných triedach (Michalíková et al., 1990).

Zrnitostná trieda [mm]	Prírastok hmotnosti [%]
0 - 4	+ 0,19
4 - 8	+ 0,44
8 - 11,2	+ 0,71
11,2 - 16	+ 0,76
16 - 22	+ 0,81

Z výsledkov vyplýva predpoklad, že počas pôsobenia teploty 900 °C prebiehal proces oxidácie, v dôsledku čoho vzrástla hmotnosť trosky. Obsah spáliteľných látok nebol zistený. Pre trosku teda nie je preukázané obmedzenie, ak má byť použitá ako náhrada kameniva.

Využitie troskopopoločekovej zmesi vo výrobe cementárenského slinku

Použitie popolčeka vo výrobe cementárenského slinku vo svete je známe. Popolček by však nemal mať vyšší obsah zvyškov nespáleného uhlia, nakoľko čím menšia je častica paliva (frakcia pod 1 mm), tým väčšie

sú straty tepla, najmä v šachtových peciach. Ak sa výroba slinku uskutočňuje v rotačných peciach, zvyšky nevyhoreného uhlia dohoria a tak sa podieľajú na čiastočnej úspore energie. **Troskopopolčeková zmes** bola použitá ako náhrada časti aluminosilikátov vo výrobe cementárskeho slinku v CETU – Cementárni v Turni nad Bodvou (Kuzma, 1998; Sisol, 2005). Okrem toho, že pri tomto postupe bol **zhodnotený odpad**, použitie TPZ malo pozitívny dopad na energetickú bilanciu. Nedopal v TPZ obsahoval 14 – 18 % s.ž., čo predstavuje príspevok 4–5 MJ.kg⁻¹. (Spalné teplo spaľovaného uhlia sa pohybuje v rozsahu 27-28 MJ.kg⁻¹, jeho výhrevnosť je 26,7-27,8 MJ.kg⁻¹).

Vo výrobe cementu je možné časť aluminosilikátov nahradiť TPZ v množstve asi 11 % hmotnostných, alebo sú pridávané prírodné aluminosilikáty s TPZ v pomere 1:1. Obidva spôsoby sú použiteľné bez negatívneho vplyvu na kvalitu slinku. Priaznivou skutočnosťou je, že v TPZ je prítomné železo, ktoré je nevyhnutnou prísadou vo výrobe slinku v cementárni. TPZ obsahuje 7,5-11,6 % Fe (Maga, 1992).

Množstvo vzniknutého a nespáleného CO je závislé aj od merného povrchu paliva. Zvyšky nespáleného uhlia v popolčkoch, z ktorých boli odparené prchavé látky, sú značne pórovité a majú veľkú afinitu k reakcii s CO₂ uhlíka z nedopalu k O₂, pri jeho dostatočnom prísune, resp. parciálnom tlaku sa zabraňuje tvorbe CO, pričom vzniká inert CO₂ ako produkt dokonalého horenia. Značná variabilita prekokovania nespálených zvyškov uhlia v popolčkoch spôsobuje rozdiely aj v redukčnom horení.

Straty tepla boli dokázané, ak bola použitá technológia mletia paliva spolu so surovinou. Približne platí, že v daných podmienkach znamená **obsah 1 % CO** v dymových plynoch stratu asi **3 %** paliva. Využitie paliva z popolčiek vo šachtových peciach je asi 50 %, v rotačných peciach je vyššie. Napriek uvedenému spĺňa TPZ podmienky použitia ako aluminosilikátová zložka vo výrobe cementu (Sisol, 2005).

Troskopopolčeková zmes ako prísada do výroby cementu

Popolčeky ako prísada do cementu nemajú obsahovať viac ako 3 – 5 % s.ž. Nebezpečný je podiel expandujúceho uhlia, už obsah 4 % s.ž. spôsobuje rozptínanie betónovej zmesi. Nakoľko popolčeky z USSK obsahujú viac ako 10 % s.ž., tento spôsob zužitkovania nespĺňa požiadavky platných STN 722060-70 ani EN-206-1. Použitie trosky na tento účel nie je bežné, hoci teplárenská troska vykazuje lepšie puzolánové vlastnosti ako popolček.

Možnosti použitia teplárenskej trosky v stavebníctve

Využitelnosť trosky v stavebníctve nie je fyzikálnymi a chemickými vlastnosťami obmedzená, vyžaduje iba proces zdobňovania.

Použitie teplárenskej trosky v cestnom staviteľstve predpokladá znalosť jej vlastností podľa STN 72 1513 „Hutné kamenivo na netuhé vozovky“. Umelé kamenivo – troska - je zužitkovateľné všade tam, kde prírodné, v prípade že spĺňa všetky požiadavky normy.

Technické požiadavky na kamenivo pre netuhú vozovku sú:

- základné, ktoré musí spĺňať každé kamenivo,
- doplnujúce, prípadne zvýšené – tieto požiadavky musí odberateľ nárokovať u dodávateľa,
- osobitné, ktoré sú uplatňované podľa STN 72 1511.

Na základe zistených vlastností vyhovuje troska základným technickým požiadavkám na kamenivo podľa STN 72 1513 triede N I až N III. Doplnujúce, prípadne zvýšené požiadavky môžu byť vyžadované jednotlivo.

Podľa STN 73 6187 „Cestné podklady z nestmeleného kameniva“ sa troskový štrk (teplárenská troska) môže použiť pre podkladovú vrstvu z vibrovaného štrku. Štrk musí byť dostatočne hrubý, čo najviac rovnozrnný. Môže to byť štrk zrnitosti 32-63 mm, prípadne 32-45 mm. Výplňovým kamenivom môže byť popolček. Okrem základných požiadaviek musí byť kamenivo nerozpadavé a nenamízávané.

Podľa STN 73 6187 sa troskový štrk môže použiť pre podkladovú vrstvu zo štrkodrviny, zhotovenej z teplárenskej trosky, ak bude spĺňať ustanovenia STN 72 1511. Aj v tomto prípade platí, že materiál musí byť nerozpadavý a nenamízávaný.

Zo zahraničných skúseností (Anglicko) využívania teplárenskej trosky v cestnom staviteľstve je možné uviesť nasledovné poznatky:

Teplárenská troska, ktorá obsahuje častice prevažne pod 50 mm, z toho 10 % pod 0,75 mm, bola použitá na stabilizáciu podlažia s použitím 10 % hmotnostných cementu (čo zodpovedá asi 70-90 kg.m⁻³). Kocková pevnosť v tlaku stabilizovaných komponentov dosahuje 20 MPa. Zásluhou puzolánovej aktivity trosky narastá pevnosť v tlaku po 84 dňoch na 25-30 MPa.

Je predpoklad, že teplárenská troska vzhľadom na vysokú hutnosť, tvrdosť a minimálnu nasiakavosť bude odolná voči účinkom mrazu a rovnako vyhovie aj požiadavkám na otlkavosť, vyhladiteľnosť

a trvanlivosť. Ďalšie požiadavky (nadsitné a podsitné podiely, tvarový index, odplaviteľné častice) vyplývajú z technológie zdobňovania a triedenia trosky.

Reálnosť selektívneho využívania teplárenskej trosky pri výstavbe ciest (bez popolčeka, ktorý nespĺňa požiadavky príslušných STN) potvrdzuje jej použitie v úseku komunikácie v obci Bežovce, kde bola troska primiešaná do vrchnej vrstvy vozovky. Počas cesty autom po zotmení je príjemná prítomnosť reflexných javov – troska odráža svetlo reflektorov, a tým je pre vodiča zvýraznená trasa cesty.

Úpravnicke spracovanie trosky – získavanie Fe zložky

Chemickými analýzami trosky boli opakovane stanovené obsahy Fe v rozsahu 7,5-10-12,6 %. Počas zdobňovania trosky bolo možné v jemnozrnných produktoch drvenia a mletia pozorovať častice kovu. Preto bola troska podrobená mokrému nízkointenzitnému magnetickému rozdzružovaniu.

Rozdzružovanie sa uskutočňovalo v jednom základnom a v troch prečistných štádiách. Výsledky rozdzružovania sú v nasledujúcej Tab. 1.

Vo vzorke je síce stanovený pomerne vysoký obsah Fe, avšak počas tvorby trosky nedochádza k výraznému kumulovaniu Fe a následné laboratórne testy preukázali, že hoci je obsah Fe v magnetických produktoch pomerne vysoký (57-61,7 % Fe) neprekročil 1 % hmotnostný výnos.

Z výsledkov rozdzružovania trosky vyplýva, že získavanie Fe zložky nie je efektívne, preto bude vhodné voliť iné spôsoby jej zhodnocovania, napr. v cestnom staviteľstve alebo v iných oblastiach stavebníctva.

Tab. 1. Výsledky mokrého nízkointenzitného magnetického rozdzružovania teplárenskej trosky z výtavných kotlov.
Tab. 1. Results of the wet magnetic low-intensity separation of thermal power sludge from smelting boilers.

vzorka	hmotnostný výnos [%]	obsah Fe [%]	vzorka	Hmotnostný výnos [%]	obsah Fe [%]
1P	100,00	11,65	2P	100,00	11,70
1N ₁	96,63	-	2N ₁	90,40	-
1M ₄	0,57	54,62	2M ₄	0,83	57,68
3P	100,00	12,12	4P	100,00	12,15
3N ₁	93,90	-	4N ₁	96,20	-
3M ₄	0,84	61,71	4M ₄	0,72	61,25
5P	100,00	11,95	6P	100,00	12,10
5N ₁	94,69	-	6N ₁	95,71	-
5M ₄	0,73	59,69	6M ₄ -	0,82	60,63

Vysvetlivky: P = podanie – troska zrnitosti 0 - 0,15 mm, návažok 100 g,

N₁ = nemagnetický produkt po prvom - základnom magnetickom rozdzružovaní,

M₄ = magnetický produkt po tretej prečistke – po 4. magnetickom rozdzružovaní.

Záver

Vlastnosti teplárenskej trosky zo spaľovania čierneho uhlia vo výtavných kotloch boli študované kvôli zisťovaniu možnosti získavania koncentrátov Fe zložky úpravnicovými technológiami. Koncentráty z mokrého nízkointenzitného magnetického rozdzružovania preukázali, že tento postup skoncentrovania Fe zložky nie je efektívny.

Teplárenská troska z Energetiky U. S. Steel Košice je vďaka svojim vlastnostiam plnohodnotnou náhradou kameniva, použiteľná je najmä v cestnom staviteľstve, vo výrobe cementového slínku a v ďalších výrobách stavebných hmôt.

Podakovanie: Práca bola vykonaná v rámci riešenia grantového projektu VEGA č. 1/0124/03

Literatúra - References

Ďurica, T.: Štúdia možnosti využitia teplárenskej trosky a popolčeka z kotlov teplárne VSŽ, š.p. Košice. Výskumná správa HZ č. 64/90, VŠT Košice, Stavebná fakulta

- Fečko, P., Kušnierová, M., Lyčková, B., Čablík, V., Farkašová, A.: Popílky., *Monografia. VŠB-TU Ostrava, HGF, Institut environmentálneho inžénrství, 2003, ISBN 80-248-0327-5*
- Hatala, J., Trančík, P.: Mechanika hornín a masívu. *ALFA, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry Bratislava 1987. Vysokoškolské skriptá*
- Kuzma, R.: Využitie troskopopolčiekov pri výrobe cementu. *Záverečná bakalárska práca 1998, Fakulta BERG TU Košice*
- Maga, J.: Využitie troskopopolčekovej zmesi z teplárne divízneho závodu Energetika Oceľ VSŽ, s.r.o. *Záverečná správa čiastkovej úlohy, 1992.*
- Michalíková, F., et al.: Výskum možnosti využitia popolčeka a teplárenskej trosky z kotlov teplárne VSŽ, š.p. Košice. *Výskumná správa HZ č. 63/90, Katedra úpravníctva a ochrany životného prostredia Banícka fakulta VŠT Košice.*
- Michalíková, F., Floreková, L., Benková, M.: Vlastnosti energetického odpadu –popola. Využitie technológií pre jeho environmentálne nakladanie. *Monografia, tlačiareň Krivda, Košice 2003, ISBN 80-8073-054-7*
- Růžičková, Z., Srb, J., Vidlář, J.: Druhotné suroviny – nové zdroje průmyslu. *SNTL, Praha 1989.*
- Sisol, M.: Využitie odpadov pri výrobe cementárenského slinku. *Zborník z konferencie "Integrované systémy nakladania s odpadmi", Košice 2005, str. 137-141, ISBN 80-232-025-2.*
- STN 722060 – 722070 Súbor noriem o používaní popolčiekov v stavebníctve.
- Številová, N., Mezencevová, A., Sičáková, A.: Využitie energetických popolčiekov ako aktívnej prísady do betónu. *Zborník III. odborného seminára „Partikulárne látky vo vede, priemysle a životnom prostredí“, Košice 2000, str.91-94, ISBN 80-7099-621-8.*