

## Možnosti využitia teplárenských popolčiek v cestnom stavitel'stve

Edita Krličková<sup>1</sup>

### Possible Use of Fly-Ash in Road Building Industry

Problems concerning the use of waste from industrial and other productions have been dealt with at our workplace for several years. The reason is not only a lack of natural material resources but mainly economical and environmental aspects.

Current research at our workplace has been aimed at finding solutions to problems concerning the use of fly-ash in road building.

**Key words:** waste material, fly-ash, road building industry.

### Úvod

Problematika likvidácie priemyselných a teplárenských odpadov je široká a jej riešenie vyžaduje rozsiahly výskum, zameraný na ich zhodnotenie a využitie. Doterajší spôsob zbavovania sa odpadov spočíval v ich ukladaní na skládky a zložiská. Producenti odpadov neboli v minulosti legislatívou nútení riešiť ich likvidáciu. Dnes sa však likvidácia odpadov stáva jedným z kľúčových celospoločenských problémov. Naše pracoviisko sa už niekoľko rokov vo svojich výskumných úlohách zaoberá problematikou využívania odpadov z priemyselných a iných výrobní. Jedným z energetických odpadov, ktorý bol skúmaný, je popolček.

### Možnosti využitia popolčeka

Stavebníctvo všeobecne patrí medzi odvetvia, ktoré v značnej miere využíva popolček, či ako plnivo pri výrobe pórobetónu, pri výrobe cementu, v menšej miere ako ostrivo pri výrobe tehál. V cestnom stavitel'stve sa doteraz využíva veľmi málo. Snahy zužitkovať popolček do násypov, zásypov a na obsypy vyústili do spracovania normy (STN 73 3052), avšak nedostali sa na úroveň širšej praktickej aplikácie. Podmienky normy neodporúčajú použiť popolček na stavbách, kde je :

- hladina podzemnej vody v úrovni pláne podložja násypu alebo nad ňou,
- hladina podzemnej vody nad úrovňou dna stavebnej rýhy,
- výška násypu menšia ako 50 cm.

Dôvodom týchto obmedzení je nutnosť, vhodnými opatreniami zabrániť priamemu styku popolčeka s vodou. V oblastiach so zásobami pitnej vody je potrebné preukázať, že nehrozí nebezpečie znečistenia chemickými výluhmi z popolčeka.

Pri využití popolčeka na obsyp je nutné posúdiť agresivitu vodného výluhu na obsypané konštrukcie a potrubie.

Ďalšie možnosti zužitkovania popolčeka viedli k vypracovaniu celého súboru noriem (STN 73 2060-68), ktoré definujú základné požiadavky na fyzikálne a chemické vlastnosti popolčeka pre ich využitie, či ako aktívne alebo neaktívne zložky, najmä do cementových kompozitov.

Využitie popolčeka v cestnom stavitel'stve je pomerne obtiažne z dôvodu jeho premenlivých vlastností. Na vlastnosti popolčeka má veľký vplyv pôvodné mineralogické a petrografické zloženie spaľovaného uhlia, teplota spaľovania, ale aj rýchlosť ochladzovania popolčekových zrn. Spaľovaním pri teplote  $1\ 500 \pm 200^\circ\text{C}$  dochádza k rôznym chemickým a fyzikálnym premenám minerálov, čím sa popolček stáva materiálom, zloženým z častíc s rozdielnymi fyzikálnymi, mineralogickými a chemickými vlastnosťami.

**Pre cestné stavitel'stvo je dôležité poznať granulometrické zloženie, zhutniteľnosť a namrzavosť popolčeka.**

---

<sup>1</sup> Doc. Ing. Edita Krličková, CSc., Katedra geotechniky a dopravného stavitel'stva, Stavebná fakulta TU Košice (Recenzovaná a revidovaná verzia doručená 30.10.1998)

Zrinitosť popolčeka závisí od zdroja, z ktorého vzniká, od miest a spôsobu odlúčenia. Všeobecne sú popolčky z elektrických odlučovačov jemnejšie ako popolčky zachytené v mechanických odlučovačoch. Popolčky obsahujú zrná v oblasti prachu a piesku, s malým obsahom fľovitých častíc.

Z hľadiska zrinitosti ich možno klasifikovať ako prachovité hliny, prachovitý piesok alebo hlinité piesok. Ukladanie popolčeka hydraulickou cestou na odkalisko spôsobuje, že sa stáva materiálom heterogénnym.

Hrubé zrná popolčeka sa usadia pri výustnom otvore, jemné sa odplavia na vzdialenejšie miesta od výustného otvoru. Pri odbere zo zložiska nie je zabezpečená rovnomerná zrinitosť materiálu, čo je pre využitie veľmi dôležité.

Ďalšie snahy o využitie popolčeka boli v hľadaní spôsobu jeho použitia v konštrukciách cestných vozoviek. Tu sa hľadali spôsoby použitia popolčeka:

- vo funkcii výkonnej tepelnoizolačnej vrstvy,
- ako materiálu pre podkladovú vrstvu vozoviek, spevnenú cementom,
- vo funkcii spojiva alebo prímеси ku kamenivu.

Vo funkcii výkonnej tepelnoizolačnej vrstvy popolček čiastočne nahrádza štrkopieskový podsyp klasickej vozovky. Popolčeková izolačná vrstva spomaľuje zamrzanie a bráni nebezpečným výkyvom teploty v oblasti cestnej pláne. Táto skutočnosť umožní navrhovať vozovky s vrstvou neupraveného popolčeka, ktoré by boli tenké, nenáročné na nedostatkové materiály a na technologické zariadenia. Podmienkou je, aby popolček bol nenamrzavý.

Namrzavosť popolčeka sa zisťuje priamou skúškou namrzavosti podľa STN 72 1191 Skúšanie miery namrzavosti zemín. Priama skúška namrzavosti simuluje účinok mrazu na vozovku pri nepriaznivom konštantnom vodnoteplotnom režime. Definuje vyhodnotenie miery namrzavosti  $\beta$

$$\beta = \frac{\Delta h}{\Delta \sqrt{I_m}} \text{ [ mm } \cdot (\text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{h})^{-1/2}\text{ ]},$$

kde  $\Delta h$  je namerané zodvihnutie skúšanej vzorky v mm, odpovedajúce  $\Delta \sqrt{I_m}$

$I_m$  je index mrazu ( $^\circ\text{C} \cdot \text{h}$ ).

Kritériá miery namrzavosti zatriedujú materiály do troch skupín podľa dosiahnutej priemernej hodnoty  $\beta$ , a to na namrzavé materiály ( $\beta < 0,25$ ), mierne namrzavé až namrzavé ( $\beta = 0,25$  až  $0,50$ ) a nebezpečne namrzavé ( $\beta > 0,50$ ).

### Popolčky v stabilizovaných podkladoch

Najčastejší spôsob využitia popolčeka v cestnom staviteľstve je jeho použitie v stabilizovaných podkladoch. Pre stabilizované podklady platí norma STN 73 6125 Stavba vozoviek – Stabilizované podklady. V stabilizáciách je možné použiť popolček vo funkcii spojiva alebo prímеси ku kamenivu.

Pre popolček vo funkcii spojiva je dôležitá jeho puzolánová vlastnosť. Aktivita popolčekov je hodnotená takto:

- málo aktívne sú tie popolčky, ktoré majú menej ako 60 % zrn pod 0,063 mm, stratu žíhaním nad 7 % a obsah CaO pod 4 %,
- veľmi aktívne, ktoré majú viac ako 90 % zrn pod 0,063 mm, stratu žíhaním nad 1 % a obsah CaO nad 10 %.

Aktívny popolček môže čiastočne nahradiť cement, v prípade vysokej aktivity môže úplne nahradiť spojivo. Popolčky, použité vo funkcii spojiva, musia vyhovovať požiadavkám noriem STN 72 2060 - popolček pre stavebné účely a STN 72 2064 - popolček ako aktívna zložka do betónu.

Častejšie používame popolčky v stabilizáciách vo funkcii prímеси ku kamenivu, ako náhradu za jemné častice kameniva. Popolček priaznivo ovplyvňuje spracovateľnosť zmesi, znižuje hydratačné teplo a spomaľuje rýchlosť jeho vývinu. Zvyšuje odolnosť zmesi proti chemickým účinkom a agresívnym vodám, najmä síranových. Pre takúto úpravu sa musí použiť popolček suchý, skladovaný u výrobcu v zásobníkoch. Popolček nesmie obsahovať nečistoty, ako je roztavená troska, hlina, úlomky tehál, dreva, kovových predmetov, tkaniny a pod.

Stabilizácia je spôsob úpravy zemín, zmesi zemín alebo iného zrnitého materiálu s použitím spojiva, ktorou stabilizované materiály získavajú vyžadovanú pevnosť a odolnosť. Stabilizovať v zásade možno všetky druhy vhodných zemín, kameniva, druhotných surovín alebo iných zmesí, ktoré možno príslušným mechanizačným zariadením rozdrobiť a spracovať. Norma STN 73 6125 stanovuje orientačne vhodnosť materiálov podľa oboru zrinitosti a spôsobu výroby stabilizácie miešaním v centre alebo na mieste frézou. Norma ďalej odporúča použitie stabilizácií vo vozovke, a to

podľa kvalitatívnych tried stabilizácií a dovolenej triedy dopravného zaťaženia, do hornej alebo spodnej podkladovej vrstvy alebo ochrannej vrstvy, ako uvádza tab.1. Norma rozlišuje tri kvalitatívne triedy stabilizácií, podľa dosiahnutých pevností v prostom tlaku a odolnosti stabilizácií proti mrazu a vode.

Tab.1. Použitie stabilizácií vo vozovke.

Vrstva vozovky	Dovolená trieda dopravného zaťaženia		
	S I	S II	S III
Horná podkladová vrstva	I – III	II - IV	-
Spodná podkladová vrstva	I – III	II - IV	IV - VI
Ochranná vrstva	-	-	I - VI

Predpísané hodnoty pevnosti a odolnosti pre kvalitatívne triedy stabilizácií sú uvedené v tab. 2.

Tab.2. Pevnosti a odolnosti stabilizácií proti mrazu.

Trieda stabilizácií	Pevnosť v prostom tlaku $R_7$ [MPa]	Odolnosť proti mrazu a vode $R_{28,z}$ [MPa]
S I	2,5 až 4,0	najmenej 3,5
S II	1,8 až 3,0	najmenej 2,1
S III	1,0 až 1,8	najmenej 1,2

Hodnoty pevnosti a odolnosti sa stanovujú laboratórnymi skúškami návrhov zmesi na valčekových vzorkách s priemerom 100 mm a výškou 100 mm. Pevnosť cementových stabilizácií sa skúša po 7 dňoch dozrievania, odolnosť proti účinkom mrazu a vody po 28 dňoch dozrievania vzoriek a príslušnom počte zmrazovacích cyklov. Teploty zmrazovania a počet cyklov zmrazovania závisia od funkcie zmesi v konštrukcii vozovky a od klimatickej oblasti, ktorá je určená hodnotou návrhového indexu mrazu. Hodnoty sú uvedené v tab. 3.

Tab.3. Teploty a počet cyklov zmrazovania.

Vrstva vozovky	Teplota zmrazovania [ °C]	Počet cyklov podľa návrhového indexu mrazu danej oblasti [°C . deň]		
		do 350	300 až 600	nad 650
horná podkladová vrstva	- 20	10	13	16
spodná podkladová vrstva	- 15	7	10	13
ochranná vrstva	- 10	5	7	10

Základnou požiadavkou na použitie popolčeka je zabezpečenie rovnomernej kvality. Ak dôjde k zmene kvality z akýchkoľvek dôvodov, je potrebné upozorniť odberateľa na zmenu, pretože tá môže ovplyvniť aj zmenu vlastností výslednej stavebnej zmesi.

### Cementové stabilizácie s použitím popolčeka

Vlastnosti cementom stmelených podkladových vrstiev vozoviek sú ovplyvnené mnohými činiteľmi. Ide najmä o kvalitu hlavných komponentov – kameniva a spojiva, v našom prípade cementu.

Pre návrh zmesí cementových stabilizácií s popolčekom bolo použité kamenivo z vysokopečnej trosky VSŽ (VPT), z magnezitových odpadov lokalít Jelšava a Lubeník. Pri návrhu zmesí bol použitý popolček TEKO (z teplárne Košice), ale len vo funkcii náhrady za drobné kamenivo. Všetky navrhnuté zmesi boli stabilizované cementom CEM II/B-S 32,5, v množstve 4 %. Čiary zrnitosti pre stabilizácie boli navrhnuté tak, aby vyhovovali predpísaným oborom zrnitosti podľa predmetnej normy. Popolček bol pridávaný v množstve 10, 15 alebo 20 %. Pridaním väčšieho množstva popolčeka by bol priebeh čiary zrnitosti navrhnutých zmesí mimo doporučený obor zrnitosti.

Pre zatriedenie stabilizácií do kvalitatívnych tried boli vykonané skúšky pevnosti v prostom tlaku a skúška odolnosti proti mrazu a vode tak, ako to vyžaduje predmetná norma. Keďže stabilizácie boli navrhované z vedľajších priemyselných produktov, boli vykonané skúšky pevnosti v tlaku po dlhodobom uložení vo vlhkom prostredí. Dosiahnuté hodnoty pevnosti v tlaku sú uvedené v tab. 4.

Tab.4. Pevnosti v tlaku cementových stabilizácií.

Zmesi cementových stabilizácií	Pevnosť v tlaku $R$ [MPa]			
	$R_7$	$R_{28,z}$	$R_{180}$	$R_{365}$
VPT VSŽ + 10% pop. TEKO	2,44	4,17	5,64	5,05
VPT VSŽ + 20% pop. TEKO	1,49	2,61	3,31	3,63
Jelšava + 10% pop. TEKO	3,70	5,67	4,58	4,62
Jelšava + 15% pop. TEKO	1,76	3,70	5,36	5,58
Lubeník + 10% pop. TEKO	3,60	6,38	4,31	4,38
Lubeník + 15% pop. TEKO	1,71	4,50	5,20	4,26

Na základe dosiahnutých údajov hodnôt pevnosti v tlaku po 7 dňoch a po zmrazovacej skúške možno stabilizácie v súlade s požiadavkami normy zatriediť do kvalitatívnych tried takto :

- Cementovú stabilizáciu, v ktorej bolo použité kamenivo z lokality Jelšava alebo Lubeník s 10 % popolčeka do kvalitatívnej triedy S I.
- Cementovú stabilizáciu s troskovým kamenivom a 10 % popolčeka do kvalitatívnej triedy S II.
- Ostatné stabilizácie, v ktorých bolo 15 % alebo 20 % popolčeka možno, zatriediť do kvalitatívnej triedy S III.

Ak by sme navrhované zmesi hodnotili len na základe pevnosti v tlaku po zmrazovacej skúške, všetky, až na stabilizáciu, v ktorej bolo 20 % popolčeka, by vyhoveli kvalitatívnej triede S I.

Možno konštatovať, že určitý obsah popolčeka v zmesi stabilizácií spôsobuje pomalší nárast pevnosti, ale súčasne zlepšuje odolnosť stabilizácií proti mrazu a vode. Aj keď v norme nie je predpísané sledovanie pevnosti v tlaku počas dlhšieho obdobia, vzhľadom na to, že ide o stabilizácie z kameniva z vedľajších priemyselných produktov, boli sledované pevnosti až do jedného roka. Aj po tomto období boli zaznamenané pomerne vysoké pevnosti, čo dokumentujú údaje uvedené v tab. 4.

Na podklade dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že popolček má vplyv na pomalší nárast pevnosti zmesí v tlaku v závislosti na čase. V porovnaní s pevnosťami cementových stabilizácií bez popolčeka, ktoré v príspevku nie sú uvedené, ale v rámci výskumu boli sledované, sú pevnosti cementových stabilizácií s popolčekom nižšie. Spomalenie nárastu pevnosti má však kladný vplyv na tvorbu zmrašťovacích trhlín počas tvrdnutia zmesi a nižšie pevnosti sú v súlade s požiadavkami normy pre tieto úpravy.

### Záver

Získané výsledky navrhovaných zmesí cementových stabilizácií poukazujú na možnosť použitia popolčekov v týchto úpravách. Zujtkovanie popolčekov má všeobecne aj ekologický dopad. Ukladanie popolčekov na odkaliská sa prejavuje negatívne v zábere pôdy, jej dlhodobým znehodnocovaním a nakoniec aj narušením estetiky krajiny. Je príčinou prašnosti a znečistenia ovzdušia v danom okolí, čo postihuje obyvateľstvo a krajinu. Negatívne sa môže prejavovať aj v kontaminácii podzemných a povrchových vôd.

Použitie popolčekov si však bude vyžadovať pravidelnú kontrolu ich vlastností. Rovnomernou kvalitou odpadového materiálu možno zabezpečiť kvalitu stavebnej zmesi, a tým aj kvalitu technologickej úpravy, v ktorej bol odpadový materiál použitý.

### Literatúra

Krličková, E.: Sú naše popolčeky namfzavé? *Silniční obzor* č. 1/91, str. 18 – 20.

Krličková, E. a Kolivoška, J.: Využitie kameniva z magnezitových odpadov a popolčeka do podkladových vrstiev vozoviek. *Zborník prednášok 9. medzinárodnej konferencie VŠDS v Žiline, 1993, str. 89 – 92.*

Krličková, E. and Kolivoška, J.: Blast-furnace slag and ash-materials for road construction. *THE EAST-WEST EUROPEAN ROAD CONFERENCE, Warsaw, 1993, Poľsko, str. 233 – 236.*

Krličková, E.: Odpadové materiály v cestnom staviteľstve. *Habilitačná práca, Košice, 1994.*

Krličková, E.: Svojstva zoly-unosa elektrostancij. *Medzinárodná konferencia Bieloruskej štátnej politechnickej akadémie, Minsk, 1996, Bielorusko, str. 58 – 62.*

Krličková, E.: Využitie odpadových materiálov do podkladových vrstiev vozoviek. *Vedecká konferencia s medzinárodnou účasťou, ŽU Žilina, 1997, str. 27 – 30.*