

Současný stav problematiky využívání produktů po spalování

Ing. Schmidt Pavel, Ing. Šašek Petr, Ph.D.

Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., schmidt@vuuh.cz

Přijato: 10. 2. 2009, recenzováno: 3. 9. 2009

Abstrakt

S rostoucí spotřebou elektrické energie, která je vyráběna ve velké míře spalováním fosilních paliv, roste i problém využití produktů po spalování. Tato problematika se řeší již od 50. let minulého století a stále se hledají nové způsoby, jak s těmito produkty naložit. Mezi produkty po spalování řadíme především popílek (ložový, fluidní), produkt odsíření (energósádovec), strusku, škváru.

Current State of Using Combustion Products

With growing energy consumption generated, to great extent, by fossil fuels combustion, the issue of using combustion products also grows. This issue has been tackled since 1950-ies and new ways how to use these products have been searched for. Mainly ash (bed-type, fluid), a desulphurization product (energy-gypsum), cinder and slag are classified as combustion products.

Gegenwärtiger Zustand der Problematik der Nutzung von Verbrennungsprodukten

Infolge des wachsenden Strombedarfs, der in großem Maß durch Verbrennung von Fossilbrennstoffen gedeckt wird, wächst auch das Problem der Nutzung von Verbrennungsprodukten. Diese Problematik wird seit 50er Jahren des vorigen Jahrhunderts gelöst und immer wieder werden neue Art und Weise gesucht, wie man diese Produkte nutzen kann. Zu den Verbrennungsprodukten gehören vor allem Asche (Bettasche, Asche aus der Wirbelschichtfeuerung), Entschwefelungsprodukt (REA-Gips), Schlacke.

Klíčová slova: popílek, produkty po spalování, využití.

Keywords: fly ash, coal combustion products, utilization.

1 Co jsou produkty po spalování?

- Popílek – jemné částičky tuhých zbytků, které proud spalín vynesl ze spalovací komory a zachytily se v zadních tazích nebo v odlučovačích.
- Struska – minerální látky prošly procesem tavení; je sklovitá, hutná (tavné a granulační kotle).
- Škvára – minerální látky v průběhu hoření změkly, spekly se a vytvořily pórovitý materiál (roštové kotle).
- Popel – minerální látky se neroztavily ani nezměkly, zůstaly sypké (fluidní kotle).
- Úlet – část popílku, který pronikl odlučovači do komína a tvoří emise a imisní spady do okolí.

Při klasickém způsobu spalování, tj. výtavné, roštové kotle, vzniká popílek a struska, u roštového kotle vzniká škvára a popílek. Podle technologie odsíření pak jako produkty odsíření dále vznikají energósádovec (technologie mokré vápencové vypírky), REA produkty (nejčastěji tzv. polosuchá metoda odsíření). Popílek z klasického způsobu spalování není sám schopen reagovat s vodou, je nutné do něj přidávat hydraulický iniciátor, aby došlo k vytvrdnutí. Tato vlastnost se nazývá pucolanita.

U fluidního způsobu spalování fosilních paliv vzniká popílek a popel. Fluidní popílek i popel obsahují nezreagovaný CaO ve formě tzv. měkce páleného vápna. Tento popílek vykazuje schopnost tuhnout a tvrdnout po smísení s vodou.

2 Současnost využívání produktů po spalování

V současné době se na produkty po spalování nenahliží jako na odpady, ale jako na cenné druhotné suroviny, které je možné

využít v mnoha průmyslových odvětvích.

Ze statistik společenství ECOBA (European Coal Combustion Products Association) je patrné, že v roce 2005, kdy EU měla 15 členů, bylo vyprodukováno přibližně 65 milionů tun produktů po spalování. Po rozšíření EU o dalších 12 členů byla odhadována produkce v roce 2007 přibližně 95 milionů tun produktů po spalování. Nadpoloviční většina této produkce je reprezentována popílkem, následuje produkt z odsíření a struska a škvára.

Využitelnost produktů po spalování a odsíření je závislá na kvalitativních vlastnostech těchto materiálů. Obecně platí, že při nekvalitní vstupní surovině (tj. palivu) nelze očekávat kvalitní produkt po spalování. Největší využití produktů po spalování je ve výrobě stavebních hmot, v pozemním stavitelství jako konstrukční materiál, dále na rekultivaci výsypek povrchových dolů nebo lomů a jiné sanační práce, pouze malé množství je v současné době trvale ukládáno na úložiště popílků. Z grafu č. 1 je patrné, že stoupá využití těchto produktů a klesá jejich trvalé uložení. [7]

Zájem o popílky vyplývá i z toho, že se jedná o přístupnou a relativně levnou surovinu, která je produkována ve velkém množství, s dobrými užitkovými vlastnostmi, které v převážné většině nemají negativní působení na člověka a životní prostředí.

3 Popílek jako částečná náhrada cementu v betonu

Při výrobě betonu se v posledních letech ve zvýšené míře začíná využívat popílku jako jedné ze složek betonářských receptur. Ne všechny používané popílky však vyhovují normativním

předpisům pro betonářská použití.

Popílky mohou být používány jako částečná náhrada cementu v betonu, v případě vápenatějšího popílku může dosahovat tato náhrada až 50 % cementové příměsi. Nahrazení cementu do 35 % dává uspokojivou pevnost, nahrazení do 40 % zvyšuje odolnost. Kvalita popílku musí být obecně vyšší, pokud je jemnější frakce, a mít nižší obsah nedopalu. Požadavky na popílek se značně mění podle druhu produkovaného betonu.

Přínos popílku v betonu je daný jeho pucolánovými vlastnostmi a jejich reakcí s volným vápnem, dále je výhodou kulový tvar zrn a snížení spotřeby vody. Tyto vlastnosti pomáhají zabránit oddělování a tzv. „krvácení“ čerstvého betonu a zvyšují dlouhodobou pevnost a odolnost. Nejdůležitější je ovšem redukování reakce s alkalickými křemičitany (ASR reakce). Tato reakce nastává s některými příměsemi a může způsobit nezralost betonu a jeho praskání. Další výhody zahrnují nižší permeabilitu a vyšší odolnost vůči alkáliím, sulfidům, chloridům a CO_2 , korozi, tak jako nižší vodopropustnost (nasákavost) snižuje korozi výztuží.

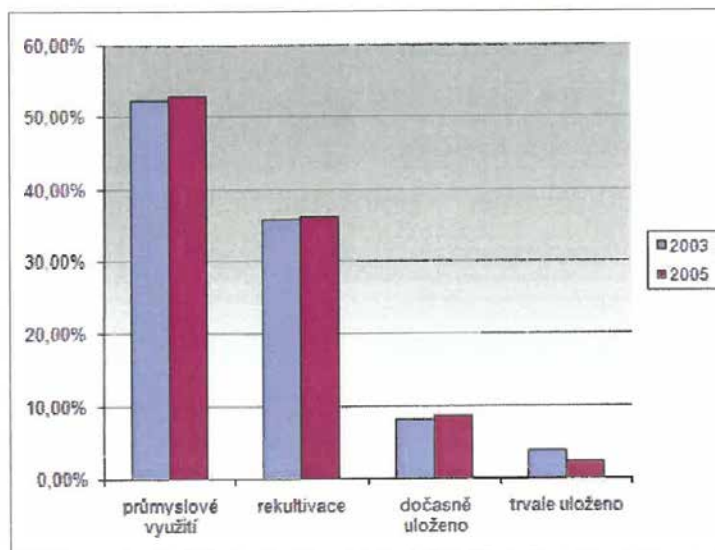
Popílek ve formě filleru optimalizuje křivku zrnitosti kame-niva, zvyšuje podíl jemných částic pro dobrou tekutost čerstvého betonu, zlepšuje zpracovatelnost a soudržnost čerstvého betonu, zmenšuje náchylnost na rozmišení čerstvého betonu při dopravě a zpracování. Popílek nezhoršuje mrazuvzdornost ztvrdlého betonu a omezuje proces reversibilního smršťování betonu. [2]

Výhody použití popílku do betonu

- Lepší zpracovatelnost – jelikož popílek má kulovitá zrna, vzniká tak směs s lepší plasticitou a zároveň se redukuje množství vody potřebné do směsi.
- Snížení rozmišení – přidavek popílku do betonu má za následek vznik betonu, který je odolný vůči rozmišení z důvodu lepší soudržnosti.
- Redukce vytěšňování vody – nižší potřeba vody při výrobě betonu snižuje vytěšňování vody ze směsi.
- Zvýšení čerpatelnosti – kulatá zrna popílku se cho-

vají jako malá kuličková ložiska, redukuje vnitřní tření, a proto vzniká směs, která je lépe čerpatelná.

- Snížení opotřebenosti zařízení – beton z popílku snižuje opotřebení výrobního zařízení, např. při přečerpávání z důvodu nízkého vnitřního tření připisovanému přirozeným vlastnostem popílku.
- Zvýšení pevnosti betonu – studie ukazují, že pevnost betonu s popílkem roste i po 28 dnech zrání. Se zlepšenou zpracovatelností a snížením spotřeby vody, klesá i vodní součinitel, čímž vzniká beton s vyšší pevností a delší životností.
- Snížení smrštění vysušením – za předpokladu snížení obsahu vody až o 10 % ve směsi si beton z popílku udržuje zpracovatelnost a snižuje se tím smrštění způsobené vysušením.
- Snížení permeability – efekt zhuštění kulových částic popílku pomáhá snižovat permeabilitu. Chemická reakce mezi popílkem a vápencem vytváří další vazbu ($\text{C} - \text{S} - \text{H}$), která blokuje kanály, jež způsobují vytěšňování vody, a současně zaplňuje póry.
- Odolnost proti síře – kombinace popílku s volným vápnem neumožňuje reakci se sírany. Při tvorbě méně pevných vazeb se zvyšuje odolnost na agresivní síranové roztoky, která se projeví v prodloužení životnosti betonu.
- Snížení hydratačního tepla – u velkého množství betonové hmoty je obvyklá tvorba vyššího vnitřního tepla a tepelného praskání. U betonů z popílku vzniká značně nižší teplo než u betonů z portlandského cementu.
- Cenová konkurenceschopnost.
- Environmentální faktory – zpracování popílku do betonové směsi umožňuje výrobcům cementu a betonu snižovat emise skleníkových plynů spojených s výrobou portlandského cementu a betonu. Rostoucí využití popílku do betonu má vliv na životní prostředí, snižuje se množství ukládaného popílku na úložiště, snižuje se spotřeba přírodních materiálů, a tím se chrání drahé přírodní zdroje pro budoucí použití. [5]



Graf 1: Způsob nakládání s produkty po spalování v EU15 /I/

Tab. 1: Kvalitativní požadavky na popílek dle ČSN EN 450

Vlastnost	Požadavek	Podst. vada	Zkuš. norma
Ztráta žíháním (1 hod.)	$\leq 5\%$ hm. výjimečně $\leq 7\%$ hm.	+ 2 %	EN 196 - 2
Obsah chloridů Cl^-	$\leq 0,1\%$ hm		EN 196 - 2
Obsah SO_3	$\leq 3\%$ hm.	+ 0,5 %	EN 196 - 2
Volné CaO	podmín. $\leq 2,5\%$	+ 0,1 %	EN 451 - 1
Jemnost Zbytek na síť 0,045 mm	$\leq 40\text{mm}$	$\pm 5\%$	EN 451 - 2 Prosev za mokra
Index účinnosti Porovnání pevnosti v tlaku	za 28 dní 75 % za 90 dní 85 %	- 5 %	EN 196 - 1
Objemová stálost 50 % popílek, 50 % cement	$\leq 10\text{mm}$	+ 0,1 mm	EN 196 - 3 Le Chatelier
Měrná hmotnost	Tolerance max. $\leq 150\text{ kg.m}^{-3}$ od průměru		EN 196 - 6

3.1 Podmínky pro výrobu betonu v ČR

Popílky mají proměnlivé chemické, mineralogické i granulometrické složení podle druhu spalovaného uhlí, lokality, spalovacího procesu a způsobu odlučování z kouřových plynů. Popílek z černého uhlí má menší variabilitu vlastností a je vhodnější přiměsí do betonu než popílek z hnědého uhlí (v ČR je 80 % popílků z hnědého uhlí). Popílky bohaté na SiO_2 působí jako pucolány. Pucolanita se projevuje velmi pomalu a je prakticky zjištělná za 90 dnů a později. Černouhelné popílky většinou obsahují skelné kuličky velikostí blízké zrnům cementu, hnědouhelné popílky mají nepravidelný tvar zrn. Samotný hnědouhelný popílek potřebuje pro iniciaci hydratace 18 - 20 % hm. CaO , avšak překročení této hodnoty vyvolá nebezpečí rozpadu. Popílky mají vyšší pravděpodobnost překročení limitu hmotnostní aktivity 226 Ra. Obsahují také podíly prvků těžkých kovů, které se vyluhováním stávají potenciálním nebezpečím kontaminace spodních vod. Zrnatost popílků je závislá na použitých odlučovačích, z mechanických odlučovačů je popílek hrubší (zrna větší než 0,09 mm jsou obsažena nad 20 %, sypaná hmotnost je 900 - 1200 kg.m^{-3}) než z elektrostatických odlučovačů (zrna nad 0,09 mm do 20 %, sypaná hmotnost asi 800 kg.m^{-3}). Vlastnosti popílků podle způsobu použití jsou normovány v ČSN EN 450 (viz tabulka 1). [1]

3.2 Popílkový beton pro sanace betonových konstrukcí

Sanace betonu dnes představují důležité průmyslové odvětví, které prožívá renesanci. Prakticky každá betonová konstrukce potřebuje (nebo za čas bude potřebovat) rutinní opravy a údržbu, od jednoduchých ochranných povlaků přes opravy odlupujícího se betonu až po zesilování poddimenzovaných dílců. Především současný stav panelové zástavby v ČR a způsob sanace objektů, u nichž docházelo k údržbě a opravám pouze sporadicky, vypovídá o odůvodněnosti hledání nových (vhodných, ekonomických) způsobů sanací degradovaných

konstrukcí.

Především se jedná o opravy povrchů obvodových betonových dílců, u nichž se začala oddělovat krycí vrstva výztuže od vlastní konstrukce. Dosavadní výzkum prokázal vhodnost využití popílkového betonu právě k tomuto účelu. Především vysoký stupeň lepivosti (přilnavosti) popílkového betonu, vysoká odolnost proti působení vnějších klimatických vlivů na konstrukce a také mnohem nižší výrobní náklady činí z tohoto druhu betonu zajímavou alternativu k doposud používaným sanačním materiálům a technologiím. [4]

4 Stavba silnic

Používání produktů po spalování při stavbě silnic přináší mnohé výhody. Fyzikální vlastnosti popílku jsou specifické, unikátní kulatý tvar a rozložení částic z popílku dělají dobrý minerální filler do horkých asfaltových směsí, zlepšují tekutost malt a tekutých zásypů a snižují permeabilitu betonu.

Popílek může být využíván k výrobě kvalitních výrobků díky svým cementujícím vlastnostem. Mícháním popílku s portlandským cementem do směsi je možno vyrobit pevnější a trvanlivější cesty a mosty v porovnání s betonem, ve kterém je jako pojivo použit pouze portlandský cement. Mezi výhody popílku v betonu patří zvýšení zpracovatelnosti díky přirozeným vlastnostem popílku a tvaru jeho částic, dále je v tomto betonu sníženo množství vody, snižují efekt „bleedingu“ (vytlačování vody ze směsi) na okrajích povrchu vozovky, propustnost vlhkosti a smršťování betonu, naopak zvyšují jeho pevnost a dlouhodobou odolnost.

Popílek může být používán jako konstrukční materiál u silničních náspů. Pokud je popílek zhutněn, může být použit i pro násep v nevhodném prostředí rozbředavých zemin. Mezi výhody popílku při tomto způsobu využití patří snadná manipulovatelnost a hutnění, které snižují čas potřebný na stavbu i nároky na strojní vybavení.

Tekuté zásypy na bázi popílku mohou být používány místo běžných zásypových materiálů. Hlavní výhodou použití popílku jako tekutých zásypů je aplikace za jakéhokoliv počasí (i za mrazu) a schopnost vyplnit veškeré prostory v okolí stavební konstrukce oproti běžným zásypovým materiálům zeminového charakteru. Snižují se problémy se sedáním zemin po aplikaci zásypu, zvyšuje rychlost zasypávání a zjednodušuje se zasypávání díky tekutosti.

Popílek s přídavkem vápna (nebo jiného hydraulického pojiva) může být míchán s kamenivem, a z této směsi mohou být konstruovány podkladové vrstvy vozovek v aktivní zóně. Tyto podklady vozovek jsou uváděny jako stabilizované směsi a jsou ve výhodě oproti jiným podkladovým materiálům díky vyšší odolnosti a nízkým nákladům.

Popílek může být použit jako minerální filler v asfaltové vrstvě vozovky. Minerální filler zvyšuje tuhost asfaltové směsi a zlepšuje její odolnost. V porovnání s ostatními fillery popílky snižují možné rozpraskání asfaltové vrstvy. [6]

Při stavbě silnic má popílek následující výhody:

- dobrá zhutnitelnost,
- vysoký vnitřní úhel tření,
- malá propustnost,
- nízká hmotnost, může se použít u nezpevněných zemin.

5 Produkty po spalování v přehradním stavitelství

V betonovém stavitelství vodohospodářských, inženýrských a pozemních staveb se popílek požadovaných vlastností může zpracovávat jako částečná náhrada jemné frakce kameniva a cementu. Přítomnost popílku v betonu zabraňuje vzniku trhlin, zvyšuje jeho pevnost a odolnost proti agresivnímu prostředí.

V zahraničí je využití popílku při stavbě a rekonstrukci přehrad docela běžné a používají se buď v přirozené formě, anebo se upravují, a jsou považovány za vhodnou náhradu cementu a jemné frakce kameniva. V ČR je zatím využití těchto druhotných surovin velmi nízké a vzhledem k dobrým zahraničním zkušenostem a kladným výsledkům výzkumných prací by mohlo být rozsáhlejší a efektivnější.

Současný ekonomický vývoj je stále podmiňován potřebou racionálnějšího použití energeticky náročného materiálu – cementu CEM I., jehož energetická náročnost výroby se odhaduje na 4000 MJ.t⁻¹ (suchý způsob) až 6500 MJ.t⁻¹ (mokřý způsob).

V mnoha zemích je prakticky ověřen efektivní způsob náhrady cementu jemně mletou vysokopecní granulovanou struskou, která se mele na obdobnou zrnitost jako cement, a energetická náročnost odpovídá zhruba 1000 až 1500 MJ.t⁻¹. Tím klesá energetická náročnost pojiva vhodného do betonu, pro stabilizaci zemin apod.

S tímto pojivem do betonu se v širším měřítku začalo v šedesátých letech v JAR a od sedmdesátých let ve Velké Británii a posléze v USA, Kanadě a v republikách bývalého SSSR.

Mezi významné větší stavby ze směsi portlandcementu a 50 % jemně mleté strusky patří v Anglii přehrada West

Sleddale ve Westmoreland i několik dalších, dále most Pothill Bridleway v Kentu a několik jaderných elektráren (Hartlepool aj.). Beton s obsahem 80 % jemně mleté strusky se použil při stavbě základů pod jednu z největších vysokých pecí v Evropě v hutích Redcar. Desetitisíce metrů kubických betonů s obsahem 30 až 70 % jemně mleté strusky se použilo při výstavbě silnic a dálnic. Toto pojivo jako základní složka výroby struskoalkalických betonů bylo použito např. při stavbě kanalizační sítě v Odese (Ukrajina), dvaceti a šestnáctipatrových obytných objektů v Lipecku (Ruská federace), komunikací v Maďarsku apod.

V současné době je o způsob výstavby pomocí technologie válcovaného betonu na celém světě zvýšený zájem, neboť tato technologie umožňuje zkrácení lhůty výstavby v porovnání se sypanými přehradami, zvyšuje se stabilita hrází a jejich životnost. Mezi významné přehrady realizované uvedenou technologií patří například přehrady Tamagawa (Japonsko, H = 103 m) a Upper Stillwater (USA, H = 87 m). Technologie válcovaného betonu se však použila i při výstavbě nízkých vzdouvacích staveb, např. Bocca (Austrálie, H = 12 m) a dále byla použita i při výstavbě klenbových přehrad Mohale, H = 162 m a Mashai, H = 180 m, JAR a jiných objektů hydrotechnických staveb. V posledních letech se rozvíjí též v přehradním stavitelství v Číně.

Ve světě existuje řada technologických postupů při realizaci hydrotechnických staveb:

- technologie suchého betonu zhutňovaného válcováním (RCC, „rollcrete“),
- technologie válcovaného betonu s vysokým dávkováním hydraulického pojiva, zejména elektrárenského popílku,
- japonské technologie (RCD).

Obdobné technologie, které se vyznačují značným zásehem do klasických technologických zásad, se uplatňují např. ve Francii, Austrálii, JAR, Maroku a dalších zemích, sleduje se hlavně plynulost a rychlost výstavby. Snahou je vyloučit nebo maximálně omezit dilatační spáry v přehradním tělese a v co největší míře se vyhnout všem atypickým konstrukčním prvkům. [3]

6 Stabilizace zemin

Díky svým vlastnostem jsou produkty po spalování ve velké míře celosvětově využívány při stabilizaci zemin. V České republice je tento způsob využití aplikován zejména v severních Čechách při stabilizaci výsypek hnědouhelných dolů.

I v zemědělství lze produkty po spalování využít při stabilizaci zemin. V USA bylo testováno využití popílku při stabilizaci zemin ve výběhu dobytka. Severní státy USA jsou sužovány nepříznivými klimatickými podmínkami. V těchto podmínkách byl zjištěn 30% úbytek růstu mladého skotu a snížil se příjem potravy v porovnání s dobyt看em chovaným v suchých podmínkách. Tradičním materiálem pro výběh a chovné hospodářství jsou hutněné zeminy, ovšem při nepříznivém počasí jsou tyto podklady nevýhodou a způsobují ztráty v produkci dobytka. Optimální je řešení s celobetonovým výběhem s asfaltovými

cestami mezi jednotlivými výběhy, ovšem toto řešení je značně nákladné. Způsob, jak vylepšit podmínky ve výběhu při zachování nízkých nákladů, je využití popílku, který je smíchán se zeminou, obsah popílku je 15 – 25 %.

Existují 2 způsoby, jak aplikovat popílky do zemin. První způsob je aplikace in situ, kdy zemina je rozrušena rotačním kypřičem půdy (zemní fréza). Doporučuje se, aby zemina byla vlhká před aplikací popílku. Ke zvýšení vlhkosti se může půda pokropit vodou. Popílek je poté rovnoměrně rozprostřen po celé ploše. K promíchání se použije opět zemní fréza, k dokonalému promíchání dojde, pokud se celá plocha projede cca 3-4x. Druhým způsobem je míchání ex situ s následnou aplikací popílkové směsi na místo. Podkladová zemina by měla být málo rozrušená. Nejprve se odstraní 15cm svrchní vrstva, ke které se na míchacím místě přidá popílek. Směs se promíchá a v případě nutnosti se přidá voda, aby se zvýšila vlhkost směsi. Promíchaná směs se poté rovnoměrně rozprostře na místo, kde je výběh pro dobytek. Posledním krokem pro obě varianty je hutnění a zrání. Rovnoměrně rozprostřenou směs je nutné ztuhnout, nejvhodnější je využití ježkového vibračního válce. Po ztuhnutí je nutné tuto stabilizovanou vrstvu nechat zrát ve vlhku minimálně 5 dní, kdy je možné zvyšovat vlhkost kropením.

7 Závěr

Produkty po spalování jsou celosvětovým problémem, s rostoucí poptávkou po elektrické energii, která je vyráběna spalováním fosilních paliv, vzniká čím dál větší množství produktů po spalování. Trendem všech zemí je tyto produkty následně využít tak, aby nebyly deponovány. Z celosvětového hlediska je největší využití produktů po spalování ve stavebním průmyslu. Popílek má specifické vlastnosti, které se využívají jako náhrada portlandského cementu v betonu. Současně s využitím odpadních produktů se šetří životní prostředí i tím, že není vyráběno takové množství cementu, jehož výroba je značně energeticky náročná a vzniká při ní velké množství skleníkových plynů. Výsledné vlastnosti betonů s přídavkem popílku jsou srovnatelné, ne-li lepší, než při použití portlandského cementu, zcela však portlandský cement nahradit nelze. Ve stavebnictví se dále produkty po spalování dají využít jako materiál pro výrobu konstrukčních prvků (cihly, tvárnice, sádkokartonové desky). Při stavbách vodních nádrží je popílek obsažen ve válcovaném betonu a jako takový je využíván už řadu let. V Číně byl válcovaný beton s obsahem popílku použit při stavbě největší přehradní nádrže Tři soutěsky.

Dalším odvětvím, kde se popílek dá využít velkoobjemově, je stavba silnic. Díky svým vlastnostem po ztuhnutí je popílek dobrým materiálem pro podkladové vrstvy, pro tvorbu násypů a může být použit jako minerální filler v asfaltové směsi.

Ve směsi s vodou je popílek používán jako tekutý zásyp. Jeho hlavní výhodou je výborná tekutost, snadná manipulace a dokonalé umístění zásypu, kdy se částice popílku chovají jako kulová ložiska a díky svému kulovému tvaru jsou snadno dopravitelná do míst, kam se normální zásyp nemůže dostat. Další výhodou je jeho aplikovatelnost v jakémkoliv počasí.

V České republice jsou velkoobjemově využívány produkty po spalování při technické rekultivaci a revitalizaci území dotče-

ných povrchovou těžbou hnědého uhlí a rovněž v dopravním stavitelství.

Poděkování

Tato práce vznikla jako součást řešení a finanční podpory MŠMT projektu č. 4456918101 „Výzkum fyzikálně chemických vlastností hmot dotčených těžbou a užitím uhlí a jejich vlivů na životní prostředí v regionu severozápadních Čech“.

Literatura

- [1] Beton [online]. 2005 [cit 2008 – 12 – 02]. Dostupný z WWW: <www.heidelbergcement.cz/RMC/download.php?id=172>.
- [2] Cement and concrete – benefits and barriers in coal fly ash utilisation (CCC/94) [online]. 2005 [cit 2006 – 03 – 14]. Dostupný z WWW: <<http://www.iea-coal.org.uk/site/ieacoal/reportdetails?LogDocId=81179>>.
- [3] LEMBÁK, M. A KOL.: Využití průmyslového odpadu v technologii válcovaného betonu v přehradním stavitelství. In Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada hornícko – geologická. VŠB- TU Ostrava: 2004. ISSN 0474 – 8476. str. 83 – 90.
- [4] Popílkový beton - možná alternativa pro sanace betonových konstrukcí, I. díl [online]. 2005 [cit 2006 – 12 – 29]. Dostupný z WWW: <<http://www.stavebnitechnologie.cz/view.php?cisloclanku=2005112201>>.
- [5] The Benefits of Using Fly Ash in Concrete [online]. 2002 [cit 2006 – 03 – 09]. Dostupný z WWW: <<http://www.circainfo.ca/factsheets.htm>>.
- [6] Using Coal Ash in Highway Construction: A Guide to Benefits and Impacts [online]. 2005 [2008 – 12 – 02]. Dostupný z WWW: <<http://www.aaa-usa.org/displaycommon.cfm?an=1&subarticlenbr=109>>.
- [7] What are CCPs [online]. 2008 [cit 2008 – 01 – 22]. Dostupný z WWW: <<http://www.ecoba.com/ecobaccps.html>>.