

## **MOŽNOSTI APLIKACE VEDLEJŠÍCH ENERGETICKÝCH PRODUKTŮ PŘI ZAHLAZOVÁNÍ NÁSLEDKŮ HORNICKÉ ČINNOSTI V OBLASTI SEVEROČESKÉ PÁNVE**

### **1 Úvod**

Mezi vedlejší energetické produkty jsou v rámci této práce řazeny zejména produkty spalování uhelné hmoty a odsíření. Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s. se dlouhodobě zabývá výzkumem těchto produktů z hlediska jejich využití pro rekultivační účely a jako stavebních výrobků.

V uplynulém roce se Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s. zabýval monitoringem fyzikálně-mechanických parametrů pokusně vytvořených směsí z hlediska dlouhodobého působení klimatických vlivů. Z dosažených výsledků monitorování a zejména z provedených analýz a testů je patrné, že tyto směsi vykazují dostatečnou „stabilitu“ z hlediska technického i z hlediska vlivů na jednotlivé složky životního prostředí a lze je tedy úspěšně využít ve stavebnictví.

Problematika rekultivačního využití těchto produktů je dlouhodobě sledována na dvou lokalitách. Na vnitřní výsypce dolu Bílina je testována aplikace stabilizátu na různé typy výsypkových zemin. Jedním z těchto typů byly extrémně kyselé uhelné jílovce z úpravny uhlí Ledvice, které tvořily na výsypce rozsáhlou fytotoxickou plochu. Pro pokus byl využit zásaditý stabilizát z elektrárny Ledvice s cílem optimalizovat půdní reakci směsi. Aplikace popela z elektrárny Tušimice byla testována na pokusných plochách výsypky Březno tvořených extrémně homogenními slitými žlutými nadložními jíly z dolu Libouš. Zde byla cílem optimalizace zrnitostního složení výsledné směsi.

Výsledky výzkumu v roce 2010 uvádí tento příspěvek. Práce vznikla s podporou Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR v rámci výzkumného záměru č. MSM 4456918101 „Výzkum fyzikálně chemických vlastností hmot dotčených těžbou a užitím uhlí a jejich vlivů na životní prostředí v regionu severozápadních Čech“ a dále také Grantové agentury České republiky v rámci grantového úkolu GAČR č. 105/09/1675.

### **2 Výsledky výzkumu ploch pokusně rekultivovaných elektrárenskými stabilizáty a popely**

Uhelná hmota na povrchu rekultivovaných lokalit technickou i biologickou rekultivací silně komplikuje. Některé produkty zpracování uhelné hmoty [2] však mohou být úspěšně využity při zlepšování rekultivační využitelnosti zájmových lokalit. V podmínkách SHP se jedná především o elektrárenské stabilizáty a elektrárenské popely. V rámci výzkumných prací byly elektrárenské popely experimentálně aplikovány jako rekultivační aditivum na pokusné ploše s extrémně zrnitostně těžkými nadložními jíly, elektrárenské stabilizáty pak na kyselé fytotoxické ploše s výskytem uhelné hmoty. Cílem experimentů bylo zlepšení rekultivační využitelnosti těchto zemin. V rámci výzkumu jsou v současnosti dlouhodobě sledovány plochy vnitřní výsypka dolu Bílina I a Březno. V obou případech jde o plochy založené na lokalitách SD, a.s.

## 2.1 Hodnocení pokusné plochy Březno

Aplikace elektrárenského popela z elektrárny Tušimice byla testována na pokusných plochách výsypky Březno. Jde o vnější výsypku dolu Libouš. Pokusné plochy byly založeny na žlutých nadložních jílech z dolu Libouš.

Tyto zeminy jsou zpravidla homogenní, silně vazké a slité. Vzhledem k extrémně nepříznivým fyzikálním vlastnostem a vodnímu režimu nejsou pro rekultivační využití vhodné. V jejich mineralogickém složení převládá kaolinit, montmorillonit, křemen a illit. Z hlediska chemismu obsahují minimum karbonátů, půdní reakce bývá slabě alkalická až slabě kyselá, sorpční schopnost je zpravidla vysoká. Za nízký lze považovat obsah fosforu, draslík bývá většinou na úrovni hodnocení obsahu středního a obsah hořčíku na úrovni obsahu vysokého. Ze zrnitostního hlediska je lze považovat za extrémně jemnozrné a tedy pro rekultivační účely nevhodné [1]. Jejich hydrofyzikální půdní vlastnosti se po uložení na povrch výsypky dlouhodobě nemění.

Cílem pokusu bylo proto zlepšení zrnitostního složení svrchního horizontu pokusných ploch. Na tři plochy o rozloze 1 ha byly navezeny elektrárenské popely v dávce  $200 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  a pluhováním zapraveny do svrchního horizontu. Na odebraných vzorcích bylo vyhodnoceno zrnitostní složení původních žlutých jílu a vzniklé směsi. Kromě toho byl vzorek s aplikovaným popelem testován na přítomnost rizikových stopových prvků. Bylo potvrzeno, že vyhovuje vyhlášce MŽP ČR číslo 13/1994 Sb., pro ostatní půdy. Výsledky zrnitostních analýz udává následující tabulka č. 1.

**Tabulka č. 1: Výsledky zrnitostní analýzy žlutého jílu před a po aplikaci elektrárenského popele**

Sonda S1	zrnitostní kategorie I %	zrnitostní kategorie II %	zrnitostní kategorie III %	zrnitostní kategorie IV %	skelet %
1996					
žlutý jíl	76	17	1	5	1
směs po aplikaci popela	56	28	2	10	4
2005					
směs po aplikaci popela	53	30	3	10	4
2010					
směs po aplikaci popela	53	28	3	11	5

Zrnitostní kategorie I-frakce pod 0,01 mm      Zrnitostní kategorie IV–frakce 0,1-2 mm  
Zrnitostní kategorie II-frakce 0,01-0,05 mm      Skelet - frakce nad 2 mm  
Zrnitostní kategorie III–frakce 0,05-0,1 mm

Výsledky zrnitostních analýz prokazují významné zlepšení zrnitostního složení zeminy po aplikaci elektrárenského popela. Zatímco původní žlutý jíl lze zařadit ze zrnitostního hlediska do kategorie jílu, směs s elektrárenským popelem lze charakterizovat

jako zeminu jílovohlinitou. Problémem však zůstává rovnoměrné zapravení popelů do jílové vrstvy. Makroskopický popis vzorků totiž prokázal, že popel tvoří v jílech spíše jednotlivé izolované shluky.

Navzdory tomuto problému má metoda určité perspektivy, další výzkum bude zaměřen na vypracování optimální metodiky zapravení elektrárenského popela do svrchního horizontu rekultivovaných lokalit. V úvahu je třeba vzít i potenciální problémy, kterými jsou především vysoká prašnost při manipulaci a potenciální kontaminace rizikovými stopovými prvky, především arzenem (v případě použitých popelů však byla tato kontaminace zanedbatelná).

### 3 Hodnocení pokusné plochy vnitřní výsypky dolu Bílina I

V roce 1999 byla na vnitřní výsypce dolu Bílina testována aplikace elektrárenského stabilizátu na různé typy výsypkových zemin [3]. Jedním z těchto typů byly extrémně kyselé (z rekultivačního hlediska fytotoxické) uhelné jílovce z úpravny uhlí Ledvice, které tvořily na výsypce rozsáhlou plochu. Pro pokus byl využit stabilizát z elektrárny Ledvice. Jedná se o technologicky upravené produkty po spalování hnědého uhlí ve směsi s produkty po odsíření kouřových plynů. Cílem práce bylo posoudit možnosti zefektivnění technické rekultivace fytotoxických ploch. Plocha je v období 1999 - 2011 dlouhodobě sledována.

Hodnota půdní reakce ve vodním výluhu činila u výše uvedených uhelných jílovců obvykle zhruba 3,8 – 4,5. Po aplikaci elektrárenského stabilizátu v dávce 600 t.ha<sup>-1</sup> byla zjištěna půdní reakce výsledné směsi zhruba 9 -10. Z toho vyplynula potřeba optimalizovat dávky stabilizátu tak, aby bylo dosaženo půdní reakce výsledné směsi v rozmezí cca 6,5 – 7,5.

V rámci řešení byly nejprve odebrány vzorky čistého elektrárenského stabilizátu a uhelného jílovce, u nichž byla zjištěna hodnota půdní reakce ve vodním výluhu. Následně byly připraveny experimentální plochy, do nichž byly zapravovány různé dávky stabilizátu a následně zjišťována půdní reakce směsi. Zapravená dávka stabilizátu byla na závěr přepočítána na plochu 1 hektaru. Výsledky výzkumu dokládá následující tabulka č. 2. Vzorky byly odebrány ihned po aplikaci stabilizátu. Směsi A-F byly testovány na přítomnost rizikových stopových prvků, všechny vzorky vyhovují vyhlášce MŽP ČR č. 13/1994 Sb., pro ostatní půdy.

**Tabulka č. 2: Doporučené dávky stabilizátu a výsledné hodnoty půdní reakce**

vzorek	dávka stabilizátu/1h a (t)	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (H <sub>2</sub> O)
		1999	2003	2010
čistý stabilizát	-	12,1		
A	600	9,63	8,52	8,20
B	500	8,86	8,00	7,50
C	400	8,57	7,80	7,30
D	300	8,12	7,50	7,10
E	200	7,25	7,20	7,00
F	100	7,00	7,00	7,00
uhelný jílovec	0	4,11		

Potvrdilo se, že dávkování  $600 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  je extrémně vysoké a pH vzniklé směsi je silně zásadité. Optimální dávkování se pohybuje v rozmezí 100 – 300 t/ha, pro další aplikaci lze doporučit dávku 200 tun na hektar. Pozitivní je vývoj půdní reakce v závislosti na čase.

Experiment prokázal podstatné zlepšení vlastností sterilních uhelných jílovců a metoda je, ve vazbě na stálou produkci stabilizátu, velmi perspektivní. Před jejím praktickým využitím však budou třeba další, rozsáhlejší pokusy na větších plochách.

#### **4 Výzkum mechanických parametrů stavebně rekultivačních směsí**

Vedle výzkumu možností přímého rekultivačního využití produktů spalování hnědého uhlí (viz kapitoly č. 2 a 3) bylo v rámci řešení výzkumného záměru „Výzkum fyzikálně chemických vlastností hmot dotčených těžbou a užitím uhlí a jejich vlivů na životní prostředí v regionu severozápadních Čech“ realizováno dle přípravných dokumentací stanoviště kontrolního sledování – monitoringu vyrobených stavebně rekultivačních směsí na bázi produktů po spalování uhlí. V tomto monitorovacím stanovišti jsou sledovány kvalitativní parametry stavebně rekultivačních směsí v prostředí působení agresivních důlních vod [3].

Kontrolní stanoviště bylo vybudováno ve vytipovaném prostoru výsypkové části povrchového uhelného lomu. Monitorovány byly stavebně rekultivační směsi vyrobené na bázi produktů po spalování uhlí z různých energetických zdrojů v poloprovozních podmínkách. Na základě modelových zkoušek výroby různých typů těchto směsí z VEP byly vyrobeny reálné vzorky, které byly následně uloženy do monitorovacího stanoviště k dlouhodobému sledování vývoje kvalitativních parametrů s cílem získat průkazný soubor výsledků, který by dokladoval, že při reálném využití bude zajištěna mechanická trvanlivost a odolnost proti vlivům okolního prostředí a v přirozeném geologickém prostředí nebudou ohroženy zájmy ochrany životního prostředí a zdraví lidu při případném provozním využití. Výsledky budou komplexně vyhodnoceny po posledním odběru.

##### **4.1 Koncepce monitorovacího stanoviště**

Monitorovací stanoviště se skládalo z 6 hloubených zemních rýh, do kterých byly uloženy vzorky určené k dlouhodobému monitoringu. Pro každou typovou směs byla vybudována jedna rýha o rozměrech cca 10 x 0,5 m a hloubce cca 0,5 m (viz obrázek č. 1).

Na dno každé rýhy byla položena fólie, která má za cíl udržovat monitorovaný materiál zavodněný. Na tuto fólii byla položena vrstva písku o mocnosti cca 5 cm na kterou byly ukládány vzorky stavebně rekultivačních směsí (kostky o rozměrech 150 x 150 x 150 mm a válečky  $\varnothing 70 \times 140$  mm, volně sypaná směs). Vzorky byly obsypány inertním pískem, kdy tloušťka horní vrstvy dosahovala 5 cm. Takto upravené vzorky byly překryty zeminou o mocnosti cca 0,3 m.



Obrázek č. 1. Monitorovací stanoviště

## 4.2 Výroba stavebně rekultivačních směsí

Výroba vybraných typů stavebně rekultivačních směsí probíhala v technologické laboratoři VÚHU a.s. z předem ověřených vstupních komponent – produktů po spalování a odsíření příp. s přidavkem dalšího aditiva [4].

Před vlastní výrobou reálných směsí byly provedeny prvotní míchací zkoušky pro stanovení přídatku další záměsové vody jako množství, potřebné k dosažení optimální konzistence (tekutosti) vyrobené směsi. Jako výrobní zařízení pro výrobu směsí byla použita stavební míchačka 50 l. Vlastní technologie míchacího procesu byla stanovena následovně :

- naplnění míchačky vstupními komponentami
- homogenizace ..... 30 s
- hydratace vodou ..... max. 10 s
- čas domíchání směsi s vodou ..... 180 s

Bezprostředně po výrobě byly suspenze stavebně rekultivačních směsí odlity do forem pro získání zkušebních těles :

- **kostky 150x150x150 mm**
- **válce Ø 70x140 mm**

Při plnění forem bylo použito propichování tyčí pro odstranění vzduchových bublin ze suspenze.

## 4.3 Naplnění monitorovacích rýh

Na základě výsledků prvotních ověřovacích testů a modelových zkoušek výroby stavebně rekultivačních směsí bylo vybráno následujících 6 směsí, které byly uloženy do příslušných monitorovacích rýh - kontrolních stanovišť.

- **Rýha K1**  
→ náplň : UE fluid 1200 poměr F:L 60:40 % = 100,0 % hmot., bez  
přídavku pojiva
- **Rýha K2**  
→ náplň : pouze ETI fluid = 100,0 % hmot., bez přídavku pojiva

- **Rýha K3**  
→ náplň : pouze T700 poměr POP:PROD 75:25 % = 100 % hmot., bez  
přídavku pojiva
- **Rýha K4**  
→ náplň : pouze UE fluid 500 poměr F:L 60:40 % = 100,0 % hmot., bez  
přídavku pojiva
- **Rýha K5**  
→ náplň : EMĚ = 98,0 % hmot. + CEM 32,5 ČÍŽ = 2,0 % hmot.
- **Rýha K6**  
→ náplň : pouze ELE fluid = 100 % hmot., bez přídavku pojiva

*Vysvětlivky:*

*fluid 1200 – režim spalování s emisním limitem 1200 mg SO<sub>2</sub> /m<sup>3</sup>*

*fluid 500 – režim spalování s emisním limitem 500 mg SO<sub>2</sub> /m<sup>3</sup>*

*F:L – poměr komponent popílek z látkových filtrů : ložový popel*

*CEM 32,5 ČÍŽ – cement třídy 32,5; Cementárna Čížkovice*

*POP:PROD – poměr komponent popílek : produkt z polosuché metody odsíření*

#### **4.4 Systém odběru vzorků z monitorovacího stanoviště**

Do monitorovacích rýh byly uloženy jednotlivé vzorky resp. zkušební tělesa stavebně rekultivačních směsí po jejich výrobě a technologicky nutné době, potřebné k dílčímu vyžrání materiálu a možnosti odformování, zároveň byly do jednotlivých rýh uloženy samotné granuláty. První odběrný termín z monitorovacího stanoviště byl proveden po 28 dnech od výroby vzorku. Etapovité odběry vzorků materiálů v rámci výzkumného monitorování byly proponovány na 1,5 roku v intervalu 1 měsíc, resp. po 10. odběru byly intervaly prodlouženy na 56 dní. Rozbor chemických výluhů byl naplánován v 3 měsíčním intervalu.

#### **4.5 Metodika laboratorní testování**

Cílem stanoveného rozsahu průkazných zkoušek vzorků stavebně rekultivačních směsí bylo stanovit základní parametry, které budou následně využity při jejich vhodném stavebně technickém využití.

Mezi fyzikálně mechanické parametry patří vlhkost, zdánlivá hustota pevných částic, pórovitost, stupeň nasycení, objemová hmotnost, nasákavost, propustnost (válce 50x50 mm) a pevnost v tlaku (krychelná) [5].

Mezi zdravotně - ekologické parametry patří zkoušky vyluhovatelnosti dle Vyhlášky MŽP č. 294/2005 Sb., tab. 2.1.

#### **4.6 Dílčí výsledky vyhodnocení dlouhodobého monitoringu**

V tomto příspěvku je jako příklad dílčí interpretace uvedeno vyhodnocení rýhy K1. Kompletní vyhodnocení výsledků bude publikováno po ukončení experimentu [6].

## Rýha K1:

Tato rýha je naplněna stavební směsí, která obsahuje fluidní popílek z teplárny United Energy a.s. **UE fluid 1200 poměr F:L 60:40 % = 100,0 % hmot. bez přídavku pojiva**. Jedná se o směs fluidního popílku z látkových filtrů a ložového popela, v poměru 60:40, které byly produktem při režimu spalování s nastaveným odsiřovacím procesem ve vazbě na emisní limit  $1200 \text{ mg SO}_3/\text{m}^3$ .

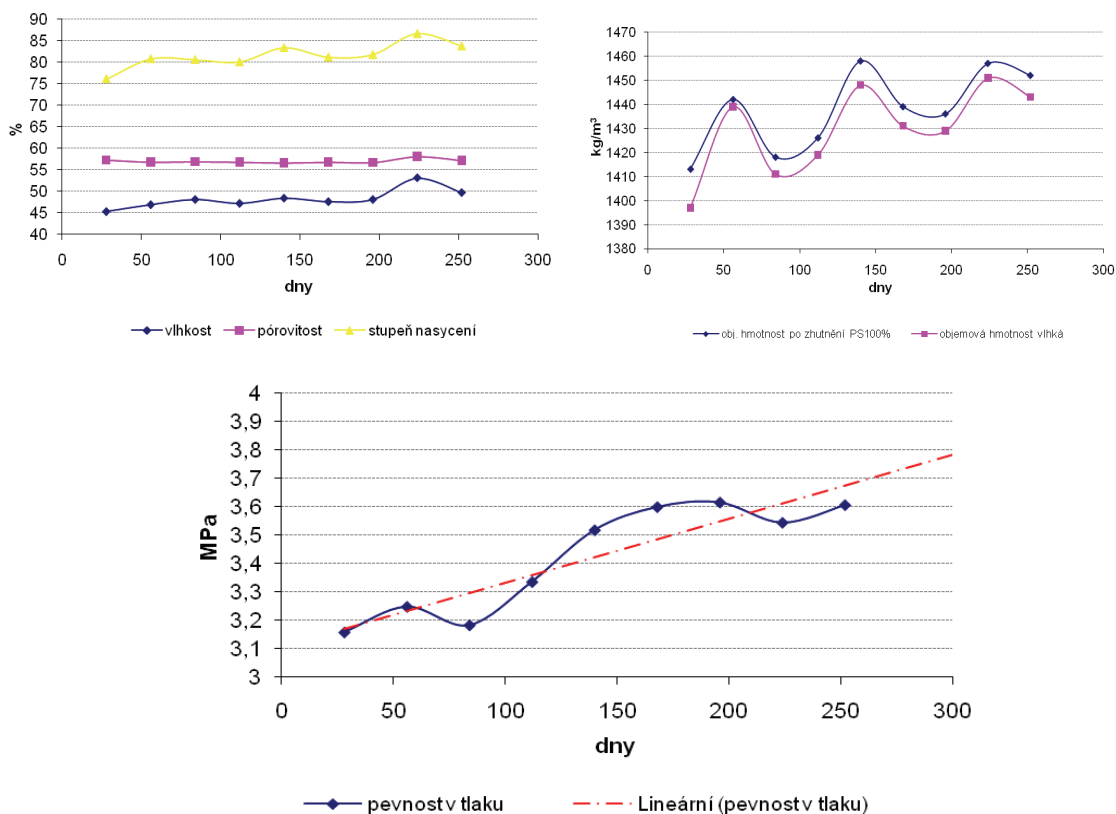
Díky zavodněnému prostředí vlhkost vzorků kolísá v rozmezí 45 – 55 %. Stupeň nasycení  $S_r$  pak kolísá v intervalu 76 – 86 %. U parametru pórovitost  $n$  je patrný setrvalý stav, kdy dosahuje hodnot  $57 \pm 1 \%$ . Podobný trend pak v této souvislosti vykazuje i parametr zdánlivá hustota pevných částic  $\rho_s$ . Objemová hmotnost vlhká  $\rho$  vykazuje kolísání hodnot v intervalu mezi  $1300$  a  $1400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , výkyvy jsou zaznamenány zejména vlivem přirozené vlhkosti stavebně rekultivační směsi, průměrná hodnota objemové hmotnosti suché  $\rho_d$  se pohybuje těsně pod úrovní  $960 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Prakticky vyrovnané hodnoty po 252 dnech monitorování byly zjištěny u parametru nasákavost  $W_{cm}$ , jehož průměrná hodnota je na úrovni  $56 \pm 1\%$ .

Mechanický parametr pevnost v tlaku  $\sigma$  vykazuje od počátku sledování postupný vzrůstající trend, což je pro hodnocení této směsi velmi pozitivní poznatek. Od první zjištěné hodnoty pevnosti v tlaku po 28 dnech od výroby  $3,2 \text{ MPa}$  byla po 252 dnech zjištěna pevnost cca v hodnotě  $3,6 \text{ MPa}$ . Pozitivní výsledky vykazují hodnoty parametrů vodopropustnosti – koeficient filtrace  $k$ , který se pohybuje povětšinou v řádu  $10^{-8} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a nižší (pod úrovní měřitelnosti přístrojové techniky).

Objemová hmotnost po zhuštění PS100% se pohybuje v rozmezí  $1410 \pm 50 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Parametr smyková pevnost se pohybuje v intervalu  $28 \pm 0,6^\circ$ .

Obrázek č. 2. Fyzikálně mechanické parametry K1



## 6 Závěr

Příspěvek hodnotí výsledky výzkumu přímého rekultivačního využití produktů spalování hnědého uhlí a první poznatky z monitorování stavebně rekultivačních směsí.

V oblasti výzkumu produktů spalování uhelné hmoty se jako perspektivní jeví zejména aplikace elektrárenského stabilizátu do extrémně kyselých fyto toxických hornin v oblasti Dolů Bílina. Na zrnitostně těžkých plochách oblasti Dolů Nástup Tušimice může mít značný význam v případě vyřešení problému zapravení do svrchního horizontu i aplikace elektrárenského popela do plastických žlutých jílu. Případné budoucí provozní využití obou metod vyžaduje další výzkum.

Cílem monitorování stavebně rekultivačních směsí je získání kvalitativních parametrů, které budou dokládat, že tyto směsi nemají negativní vliv na okolní životní prostředí a zároveň nedochází ke zhoršení fyzikálně mechanických parametrů ani při působení agresivní důlní vody. Za první etapu monitorování lze konstatovat, že z hlediska fyzikálně-mechanických parametrů byla předběžně zjištěna dlouhodobá kvalitativní stálost materiálů, která zajišťuje zlepšující vliv stabilitních poměrů budovaných zemních těles při variantním využití materiálů na bázi VEP. Konečné hodnocení výsledků bude provedeno až po ukončení monitorovacích prací.

### Přehled použité literatury

- [1] Řehoř M.: Rekultivace krajiny postižené těžbou hnědého uhlí se zaměřením na tvorbu antropogenních půdních profilů  
Disertační práce doktorského studia, VŠB-TU Ostrava, 2007
- [2] Řehoř, M., Šafářová, M., Ondráček, V.: Application of Some Coal Treatment Products for Reclamation of Localities in the North Bohemian Basin  
*21th. Pittsburg Coal Conference, Osaka, Japonsko, 2004*
- [3] Schmidt P.: Výsledky komplexního testování paliv, produktů po spalování a z odsíření  
*dílčí technická zpráva VÚHU a.s., č. AZL 176/05, Most 2005*
- [4] Schmidt P.: Výsledky prvotních ověřovacích zkoušek vzorků stavebních směsí  
*dílčí technická zpráva VÚHU a.s., č. AZL 156/07, Most 2007*
- [5] Schmidt P.: Průběžné výsledky dlouhodobého monitoringu vzorků stavebních směsí, *technická zpráva VÚHU a.s., č. AZL 157/07, Most 2007*
- [6] Schmidt P.: Vyhodnocení monitoringu za první rok sledování  
*technická zpráva VÚHU a.s., č. AZL 186/09, Most 2009*