

Popílký z odkaliště Elektrárny Třebovice v Ostravě pro použití v cementu, betonu a zemních pracích

František Kresta, SG Geotechnika a.s., frantisek.kresta@geotechnika.cz

Souhrn

S ohledem na snižování produkce elektrické energie z uhlerných tepelných elektráren poklesne i množství produkovaných čerstvých popílků. Pozornost se tedy obrací k popílkům ze starých odkališť. Na základě zkoušek provedených na vzorcích popílků odebraných z různých hloubkových úrovní odkaliště Elektrárny Třebovice v Ostravě byla potvrzena jejich použitelnost v betonu (EN 450-1) a v zemních pracích (CEN/TR 16907-8). Jedná se o první výsledky zkoušek, které bude nutné rozšířit, aby bylo možné definovat vstupy pro přípravu technologie zpracování popílku z odkaliště Třebovice.

Abstract

The closure of coal-fired power plants means a decrease in the production of fresh fly ash, which is widely used in the civil engineering industry. Attention is paid to the reserves of fly ash stored in old tailings ponds and storage sites. Based on tests carried of fly ash taken from different depth levels of the tailings pond of the Třebovice Power Plant in Ostrava, their applicability in concrete (EN 450-1) and in earthworks (CEN/TR 16907-8) was confirmed. These are the first test results that will have to be extended to define the inputs for the preparation of the technology for the processing of fly ash from the Třebovice tailings pond.

Klíčová slova: popílek, odkaliště, popílek v betonu, popílek v zemních pracích

Keywords: fly ash, tailings pond, fly ash in concrete, fly ash in earthworks

Úvod

S ohledem na snižování produkce elektrické energie z uhlerných tepelných elektráren a jejich uzavírání poklesne i množství produkovaných čerstvých popílků a dalších vedlejších energetických produktů (VEP). Tento fakt se již projevil v produkci a spotřebě VEP, kdy v Evropě se spotřebovalo více VEP, než bylo vyprodukováno (především ve výrobě cementu a betonu) [1]. Rozdíl byl kompenzován využíváním popílků ze starých úložišť nebo dovozem ze zemí mimo EU (např. Turecko, Indie).

Popílký a další produkty ze spalování uhlí ze starých úložišť se v poslední době stávají atraktivními a věnuje se jim i náležitá pozornost vědecké obce. Ověřují se vlastnosti těchto materiálů a hledají se technologie, jak tyto materiály upravit pro potřeby cementářského průmyslu a pro použití do betonu.

V USA byly popílký ze starých úložišť (*harvested ash*) již zařazeny do normy ASTM C618, která byla revidována k 1.3.2023, pro použití popílků do betonu [21]. Nutno však zdůraznit, že pro tyto popílký nebyly stanoveny žádné mírnější limity než pro popílký čerstvé ze sil. Proto využití popílků ze starých úložišť je podmíněno úpravou jejich vlastností.

Evropské normy v oblasti cementu (ČSN EN 197-1) a betonu (ČSN EN 450-1) samostatně popílek ze starých úložišť nedefinují. Pro popílký používané v cementu nebo v betonu platí stejná ustanovení pro čerstvé popílký i popílký ze starých úložišť [8, 10].

Podobně je tomu i v případě popílků a dalších produktů ze spalování uhlí ze starých úložišť pro používání v zemních pracích, kde se požadavky rovněž neliší oproti čerstvým materiálům z výroby. Výhodou může být, že materiály na starých odkalištích nebo složištích se nemusí pro potřeby zemních prací výrazněji vlhčit oproti suchým materiálům ze sil [22].

Soustavný výzkum vlastností vedlejších energetických produktů ze starých odkališť v České republice neprobíhá. Zatím jsou k dispozici jen ojedinělé výsledky a posouzení [61]. V příspěvku jsou popsány

popílků z odkaliště Elektrárny Třebovice v Ostravě, u kterých byla potvrzena jejich použitelnost v betonu (EN 450-1) a v zemních pracích (CEN/TR 16907-8) [10, 20].

Odkaliště Elektrárny Třebovice

Odkaliště se nachází v katastrálním území Třebovice ve Slezsku jihozápadně od Elektrárny Třebovice v prostoru ohraničeném na západě železniční trati Svinov – Opava, na jihu ul. Elektrárenskou, na východě zástavbou obce Třebovice a na severu firmou Porfix a.s.

Odkaliště jsou tvořena sypanou hrází s těsněným jádrem nad úrovní terénu. Koruna hráze je přizpůsobena pro provoz vozidel k obsluze odkaliště. Průsaky vody jsou svedeny do odvodňovacích příkopů, které jsou zaústěny do kanalizace ETB. V současné době majitel elektrárny připravuje změnu materiálu, který se bude spalovat. Černé uhlí bude postupně nahrazováno biomasou a tuhými alternativními palivy.



Obrázek 1 Letecký snímek odkaliště Elektrárny Třebovice

Odkaliště se skládá ze dvou částí:

- č. 1, o objemu 291000 m³, v provozu od roku 1956;
- č. 2, o objemu 320000 m³, v provozu od roku 1969.

Chemické a mineralogické složení popílků z odkaliště

Výsledky chemických analýz prokázaly, že se jedná o křemičité popílků s nízkým obsahem CaO (2,22%-3,47%). Obsah CaO obecně klesá s hloubkou, stejně jako obsah síranů (SO₃). Příčinou je zmenšující se podíl sádrovce (CaSO₄·2H₂O) v popílcích. S hloubkou mírně klesá podíl SiO₂ (z 33,87% v hl. 1,0 m na 31,58% v hl. 4,0 m) a stoupá podíl Al₂O₃ (z 45,29% v hl. 1,0 m na 50,14% v hl. 4,0 m). Obsah Fe₂O₃ se výrazně nemění.

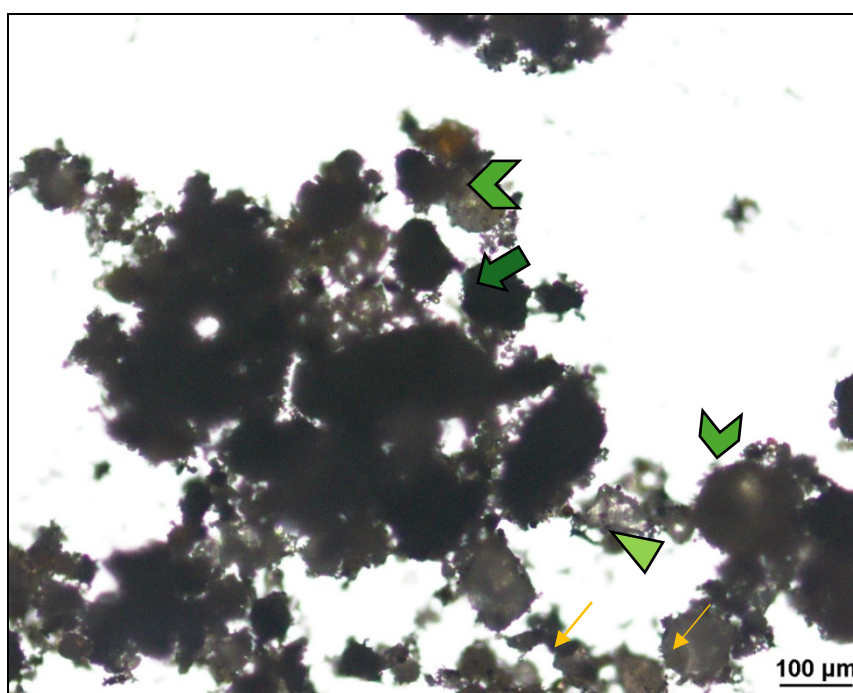
Celkový obsah SiO₂, Al₂O₃ a Fe₂O₃ byl ve zkoušených vzorcích 90,70-92,79%. Požadavek pro použití popílků do betonu dle ČSN EN 450-1, čl. 5.2.8 je, aby tato hodnota byla minimálně 70%.

Tabulka 1 Chemické složení vzorků z profilu A

oxid	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	SO ₃
vzorek	%	%	%	%	%	%	%	%	%
hl. 1,0 m	33,87	0,77	45,29	11,90	0,14	0,86	3,39	3,16	0,62
hl. 2,0 m	33,24	0,79	46,43	11,03	0,12	1,01	3,47	3,28	0,64
hl. 3,0 m	31,65	0,68	48,74	11,42	0,11	1,20	2,46	3,27	0,47
hl. 4,0 m	31,58	0,70	50,14	11,08	0,10	0,81	2,22	3,24	0,14

Složení pevné fáze (sklovitá fáze, křemenná zrna, vypálené popeloviny z uhlí spolu s metajílovinou a uhelným nedopalem) a podružně sekundární minerály v popílku (kalcit, sádrovec) u všech vzorků odpovídá produktům po spalování černého uhlí.

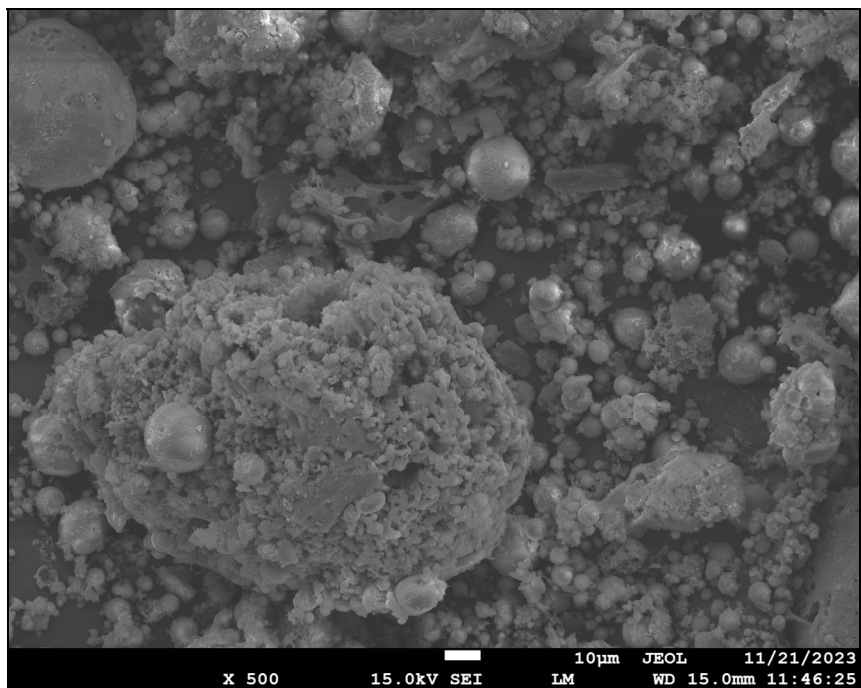
Z mikroskopického pozorování vysušených vzorků lze konstatovat intenzivní elektrostatické ulpívání drobných částic popílku na větších částicích (obrázek 2 a 3).



Obrázek 2 Optická mikroskopie vzorku z hloubky 1,0 m

Vysvětlivky:

modrá šipka: kuličky skla, žlutá šipka: sklovité částice s drobnými inkluzemi metafylosilikátů, snad mullitu (?), šedá šipka: nedopal (zbytky uhelné karbonizované uhelné hmoty s popelovinami), zelená šipka: zrnka křemene



Obrázek 3 Snímek z elektronového mikroskopu vzorku z hloubky 1,0 m v profilu A s drobnými zrny ulpívajícími na zrnech skla

Na základě chemické a mineralogické analýzy lze konstatovat:

- 1) Na odkališti Elektrárny Třebovice je uložen elektrárenský popílek, křemičitý s nízkým obsahem CaO.
- 2) Nebyly pozorovány případné změny složení sklovité fáze (hydratace, rozklad sklovité fáze) vyvolané hydratací skla v odkališti.
- 3) Podle poměru adsorpčních pásů $\sim 555\text{ cm}^{-1}/\sim 458\text{ cm}^{-1}$ v intervalu (0,31-0,38) se jedná o mineralogicky stejný charakter sklovité fáze popela a stejné podmínky spalování.
- 4) V popílku nebyl jako druhotný produkt spetrokopicky prokázán portlandit. Druhotné sírany jsou obsaženy v množství 0,04% až 1,08%.
- 5) Spalitelné látky představují reziduální karbonizovanou a oxidovanou uhelnou hmotu, podobnou "koku" nebo "sazím", která je obvykle uzavřena ve sklovité fázi nebo ve vypáleném a transformovaném popílku.
- 6) Výsledky rozborů potvrdily silikátový charakter popílků s nízkým podílem CaO.
- 7) Celkový obsah SiO_2 , Al_2O_3 a Fe_2O_3 byl ve zkoušených vzorcích 90,70-92,79%, což je vyšší než minimální požadavek čl. 5.2.8 ČSN EN 450-1. Uložený popílek je z chemického hlediska vhodný pro použití v betonu.

Popílký z odkaliště v betonu a cementu

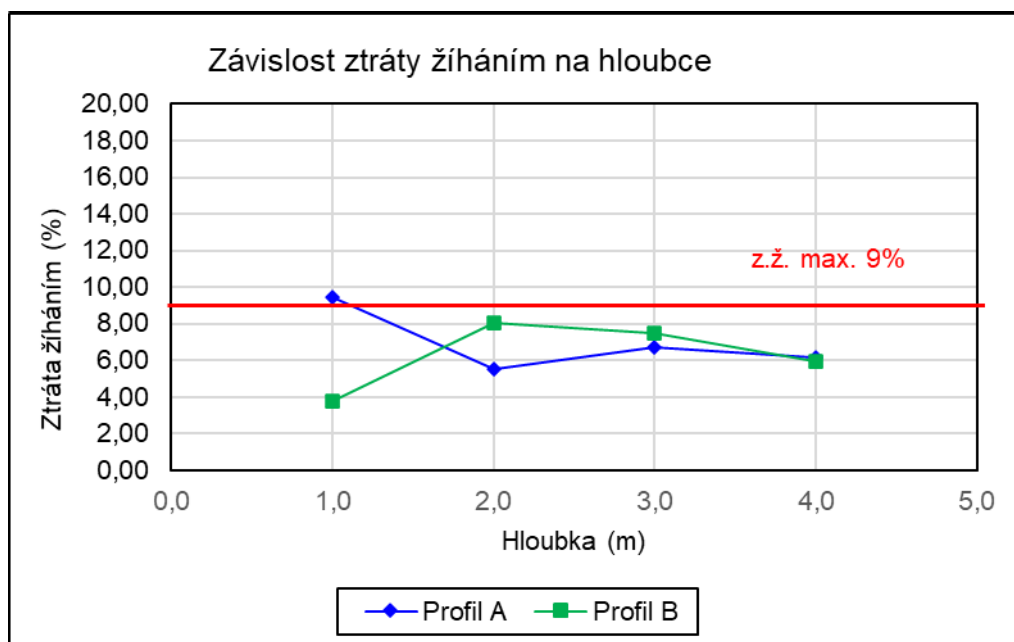
Výsledky zkoušek vzorků popílků odebraných z odkaliště Elektrárny Třebovice z hlediska použitelnosti do cementu a betonu jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2 Výsledky zkoušek vzorků popílků z hlediska použitelnosti do cementu a betonu

Parametr	Požadavek	A, 1,0 m	A, 2,0 m	A, 3,0 m	A, 4,0 m	B, 1,0 m	B, 2,0 m	B, 3,0 m	B, 4,0 m
Ztráta žíháním (925 °C)	max. 9%	9,46	5,52	6,71	6,15	3,77	8,02	7,49	5,96
Obsah chloridů	max. 0,10%	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
Oxid sirový SO ₃	max. 3%	0,41	0,44	0,32	0,10	0,26	0,41	0,30	0,47
MgO	max. 4%	0,86	1,01	1,20	0,81				
Vlhkost	max. 1%	50,13	79,82	69,11	72,16	21,02	61,90	48,12	64,36
Aktivní CaO	max. 10%	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Volné CaO	max. 1%	0,11	0,09	0,06	0,03	0,05	0,09	0,03	0,10
Objemová stálost	max. 10 mm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aktivní SiO ₂	min. 25%	33,17	35,66	36,59	37,76	38,15	35,38	34,55	36,63
Jemnost mletí (zůstatek na síti 40 μm)	max. 40%	22,10	9,20	9,48	5,08	32,48	24,73	28,86	12,30

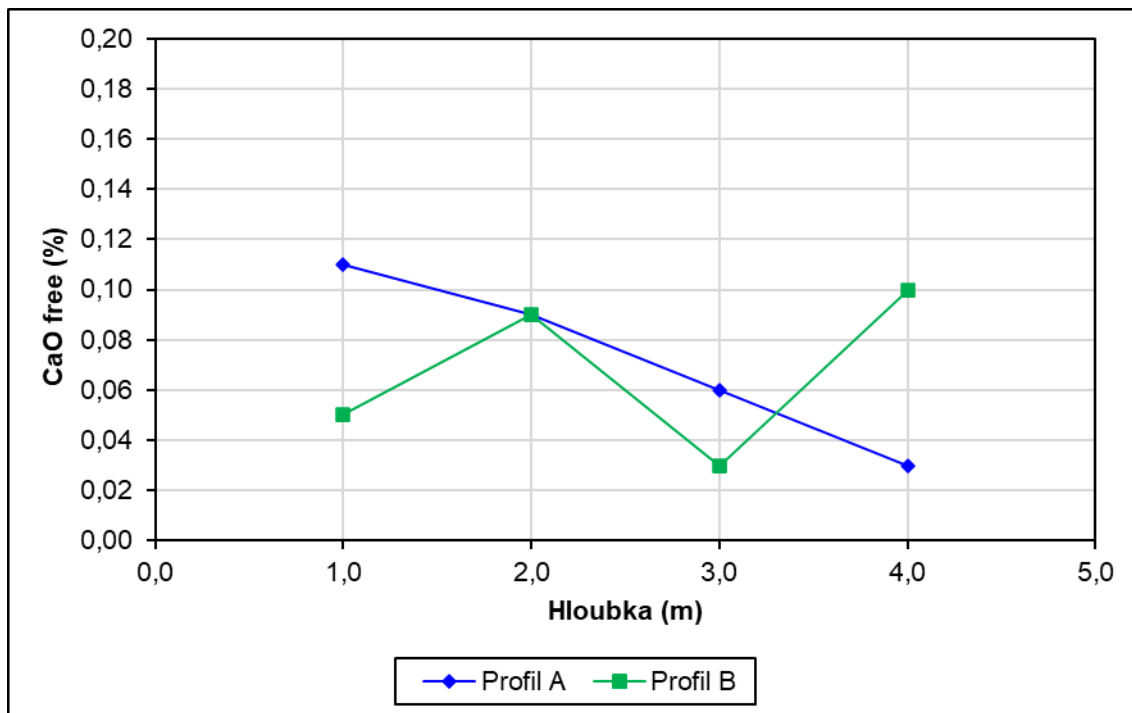
Z prezentovaných výsledků vyplývá, že popílký byly vlhké a u jednoho vzorku byla překročena maximální hodnota ztráty žíháním (9,0 %).

Vlhkost ve všech vzorcích byla vyšší než v případě čerstvého popílku ze sil. Nejnižší hodnoty vlhkosti byly zjištěny u vzorků z hloubky 1,0 m (w=50,13 %, profil A, w=21,02 %, profil B). Vlhkost deponovaných materiálů se v jednotlivých hloubkách měnila a nebyla zjištěna žádná závislost. V obou profilech se vlhkost zvýšila v hloubce 2,0 m, snížila v hloubce 3,0 m a opět se zvýšila v hloubce 4,0 m. Změny vlhkosti v jednotlivých hloubkách pravděpodobně souvisejí s režimem hydraulického ukládání materiálu na odkaliště.

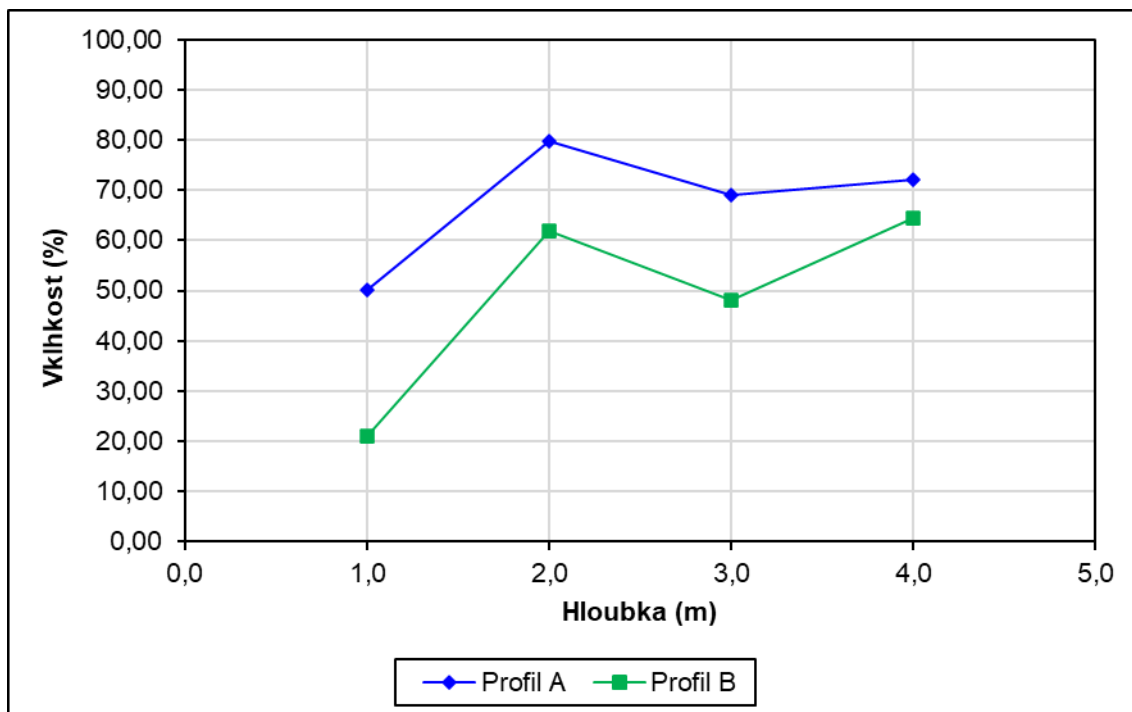


Obrázek 4 Závislost hodnoty ztráty žíháním (při 925 °C) na hloubce odběru

Obsah volného vápna ve všech případech vyhovuje požadavkům norem pro cement (ČSN EN 197-1) a beton (ČSN EN 450-1) [8. 10], protože křemičité popílký obsahují nízké obsahy CaO, natož pak volného CaO. V případě vzorků z profilu A obsah volného vápna s hloubkou klesá. V případě vzorků z profilu B se objevují s hloubkou malé odchylky, které však nemají žádný dopad na použitelnost materiálů. Závislost obsahu volného vápna na hloubce odběru je na obrázku 5.

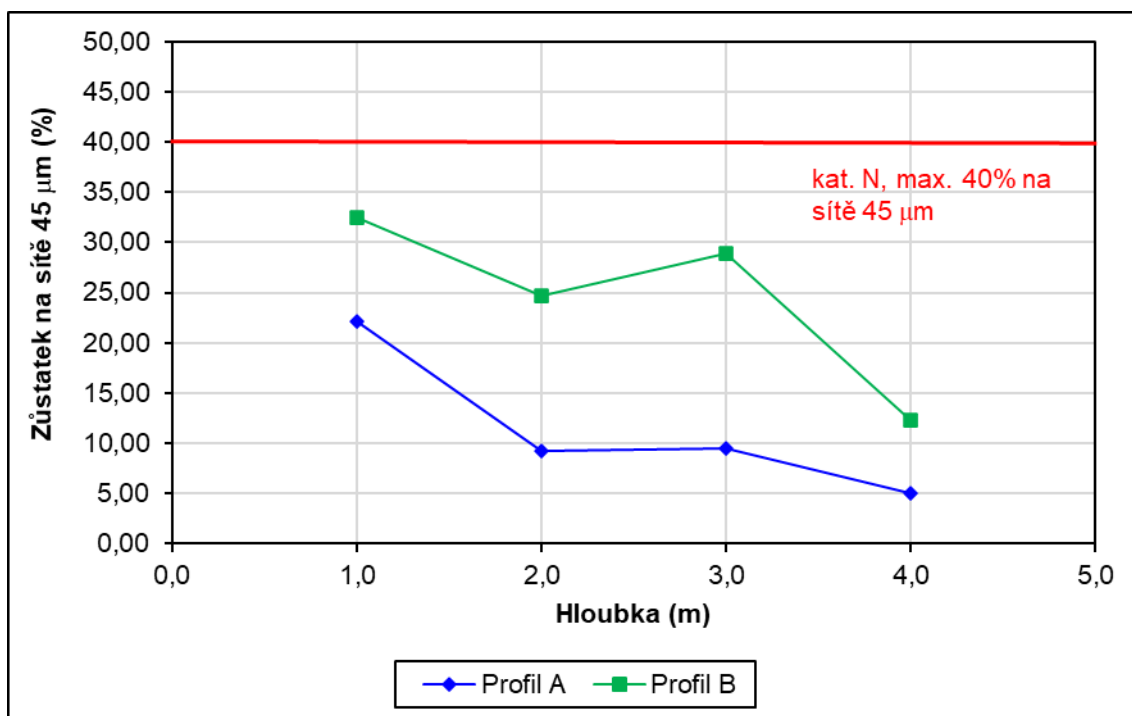


Obrázek 5 Závislost hodnoty obsahu volného CaO na hloubce odběru



Obrázek 6 Závislost vlhkosti popílků na hloubce odběru

Z hlediska zrnitosti všechny vzorky vyhověly požadavku ČSN EN 450-1 z hlediska zůstatku na síti 45 μm (max. 40% pro kategorii N) [10]. Popílký v obou profilech vykazovaly trend klesajícího podílu hrubší frakce (nad 45 mm) s hloubkou (obrázek 7).



Obrázek 7 Závislost zůstatku na síti 45 mm na hloubce odběru

Závěry z hlediska použitelnosti popílků z odkaliště Elektrárny Třebovice do cementu a betonu lze shrnout do následujících bodů:

- 1) Vlhkost všech vzorků byla vyšší než v případě čerstvých popílků ze sil. Vlhkost uložených materiálů se v jednotlivých hloubkových úrovních měnila a nebyla zjištěna žádná závislost. Změny vlhkosti v jednotlivých hloubkových úrovních pravděpodobně souvisí s režimem plavení.
- 2) Limitní hodnota ztráty žíháním (9%) byla překročena u dvou vzorků (profil A, hl. 1,0 m, profil B, hl. 2,0 m).
- 3) V ostatních parametrech sledovaných pro použití popílků do betonu byly požadavky ČSN EN 450-1 splněny [10].

Popílký z odkaliště v zemních pracích

Výluhy

Výsledky zkoušek vyluhovatelnosti dle ČSN EN 12457/1-4 (mg.l^{-1}) (výluh se připravuje v poměru 10:1) [13] vzorků odebraných z odkaliště Elektrárny Třebovice v rozsahu dle TP 268 jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3 Výsledky zkoušek vyluhovatelnosti odebraných vzorků a srovnání s požadavky TP 268

Prvek	Maximální přípustný obsah ve výluhu (mg.l ⁻¹)	Profil A, hl. 1,0 m	Profil A, hl. 2,0 m	Profil A, hl. 3,0 m	Profil A, hl. 4,0 m	Profil B, hl. 1,0 m	Profil B, hl. 2,0 m	Profil B, hl. 3,0 m	Profil B, hl. 4,0 m
Ag	0,100	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
As	0,100	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	0,011	<0,009	<0,009	<0,009
Ba	1,000	0,032	0,068	0,045	0,015	0,033	0,024	0,048	0,048
Be	0,005	<0,0009	0,001	0,0009	0,001	0,0009	0,001	0,001	0,001
Cr (celk.)	0,100	0,026	0,024	0,021	0,003	0,008	0,048	0,040	0,044
Cd	0,005	<0,0012	<0,0012	<0,0012	<0,0012	<0,0012	<0,0012	<0,0012	<0,0012
Co	0,100	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Cu	1,000	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Ni	0,100	<0,003	<0,003	0,004	<0,003	0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Pb	0,100	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008
Hg	0,005	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Se	0,050	0,019	0,022	0,023	0,037	0,018	0,022	0,023	0,022
V	0,200	0,068	0,092	0,076	0,093	0,077	0,094	0,097	0,091
Zn	3,000	0,015	<0,006	<0,006	0,006	0,027	<0,006	0,008	0,035
Sn	1,000	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010

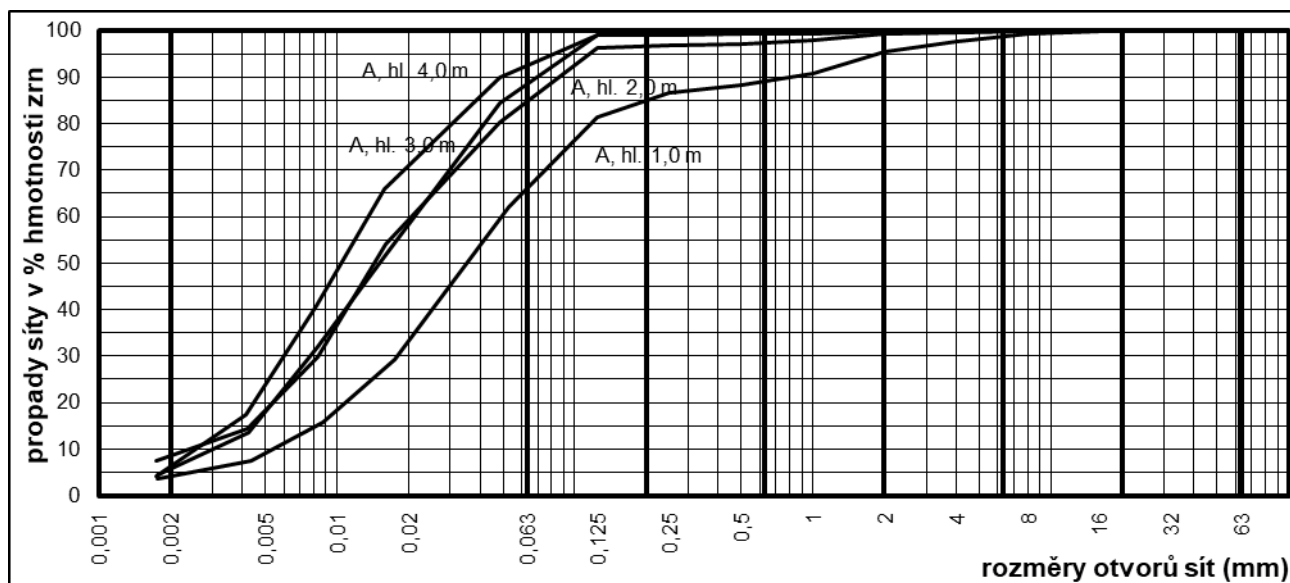
Obsahy těžkých kovů ve výluhu vyhověly ve všech případech požadavkům TP 268 [22]. V případě mnoha prvků (např. Ag, As, Cd, Co, Ni, Pb, Hg, Sn) byly obsahy pod nebo na mezi detekce.

Souhrnné výsledky zkoušek fyzikálně-mechanických vlastností jsou shrnuty v tabulce 4.

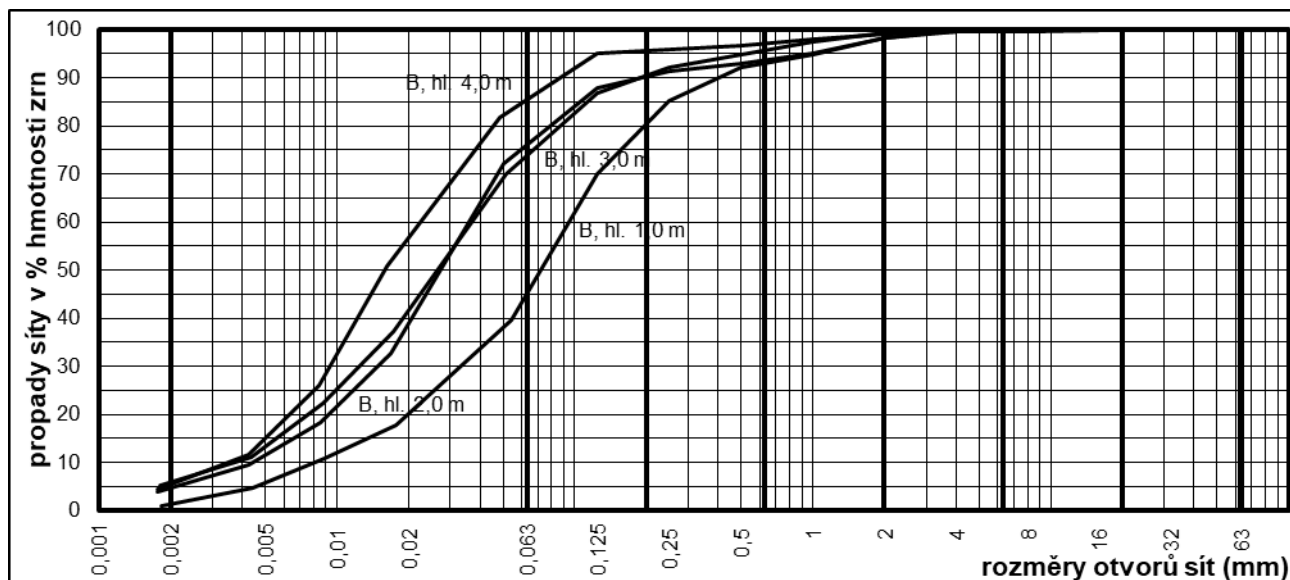
Tabulka 4 Výsledky zkoušek fyzikálně-mechanických vlastností odebraných vzorků popílků

Parametr	A, 1,0 m	A, 2,0 m	A, 3,0 m	A, 4,0 m	B, 1,0 m	B, 2,0 m	B, 3,0 m	B, 4,0 m
nad 45 mm (%)	45,02	22,38	19,00	12,98	65,95	34,05	36,25	21,29
w _n (%)	44,4	68,0	64,1	69,1	31,1	61,7	47,8	64,1
w _{opt} (%)	49,0	44,0	39,0	38,0	32,0	37,0	35,0	35,0
ρ _{dmax} (kg.m ⁻³)	960	1030	1050	1030	1040	1020	1020	1060
n (%)	59,4	56,9	55,8	57,4	54,7	56,9	56	55,3
IBI (%) při w=30%	8,2	12,7	17,4	20,9	2,1	21,4	18,5	18,3
CBR ihned (%) (w=30%)	23,1	26,6	22,3	19,5	2,0	23,1	26,5	23,0
CBRsat (%) (w=30%)	3,0	1,6	0,9	1,0	1,2	1,2	2,1	2,3
Ls (%)	2,9	2,7	7,8	7,4	3,1	3,0	5,2	2,9
φ' (°)	36,0				37,5			
c' (kPa)	12,0				13,0			

Zrnitost vzorků popílků v jednotlivých profilech se s hloubkou měnila. Nejvyšší podíl jemné frakce (pod 0,063 mm) měly vzorky popílků odebrané z hloubky 4,0 m (f=91,64%, profil A, f=84,41% profil B) a směrem k povrchu přibývalo hrubšího podílu (f=64,92%, profil A, hl. 1,0 m, f=43,32%, profil B, hl. 1,0 m), jak je vidět na křivkách zrnitosti na obrázcích 32 (profil A) a 33 (profil B). V profilu B se nacházel mírně hrubozrnnější materiál.



Obrázek 8 Křivky zrnitosti vzorků popílků odebraných v profilu A



Obrázek 9 Křivky zrnitosti vzorků popílků odebraných v profilu B

Všechny vzorky vyjma vzorků z přípovrchové zóny (hl. 1,0 m) byly převlhčeny oproti vlhkosti optimální dle zkoušky Proctor Standard. Maximální rozdíl mezi přirozenou vlhkostí a vlhkostí optimální byl 31,1% (profil A, hl. 4,0 m). Před použitím popílků z odkaliště Elektrárny Třebovice v zemních pracích bude nutné snížit jejich přirozenou vlhkost tak, aby byly zpracovatelné a zhutnitelné. Doporučuje se dosažení vlhkosti optimální, avšak na základě zhutňovací zkoušky lze limitní hodnotu i zvýšit, pokud bude dosažena požadovaná míra zhutnění (podrobněji viz ČSN EN 16907-3) [17].

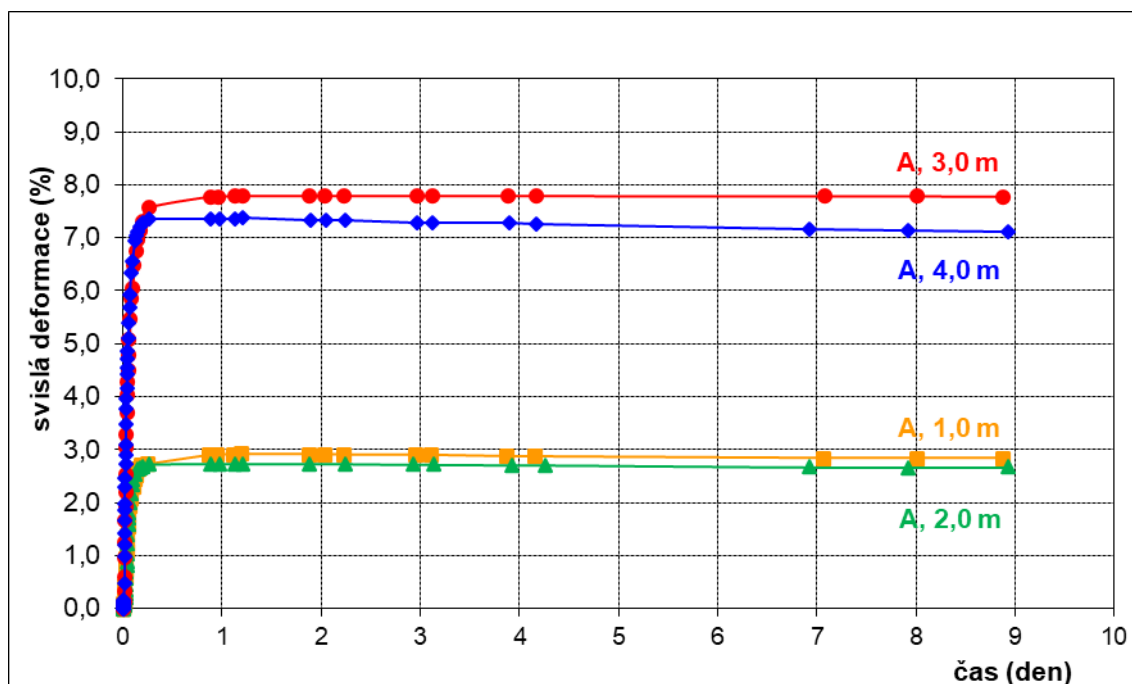
Pro snížení vlhkosti lze doporučit mechanické prostředky, tj. rozprostření vrstvy popílků a její vysušení před definitivním zabudováním. O způsobu snižování vlhkosti se rozhodne před vlastním nasazením těchto materiálů v zemních pracích v závislosti na aktuální vlhkosti odtěžované vrstvy. Nelze vyloučit snížení vlhkosti na odkališti, případně průběžné snižování vlhkosti popílků při odtěžování.

Maximální suchá objemová hmotnost dle zkoušky Proctor Standard se pohybovala v rozmezí $\rho_{dmax}=960 \text{ kg.m}^{-3}$ (profil A, hl. 1,0 m) až $\rho_{dmax}=1060 \text{ kg.m}^{-3}$ (profil B, hl. 4,0 m).

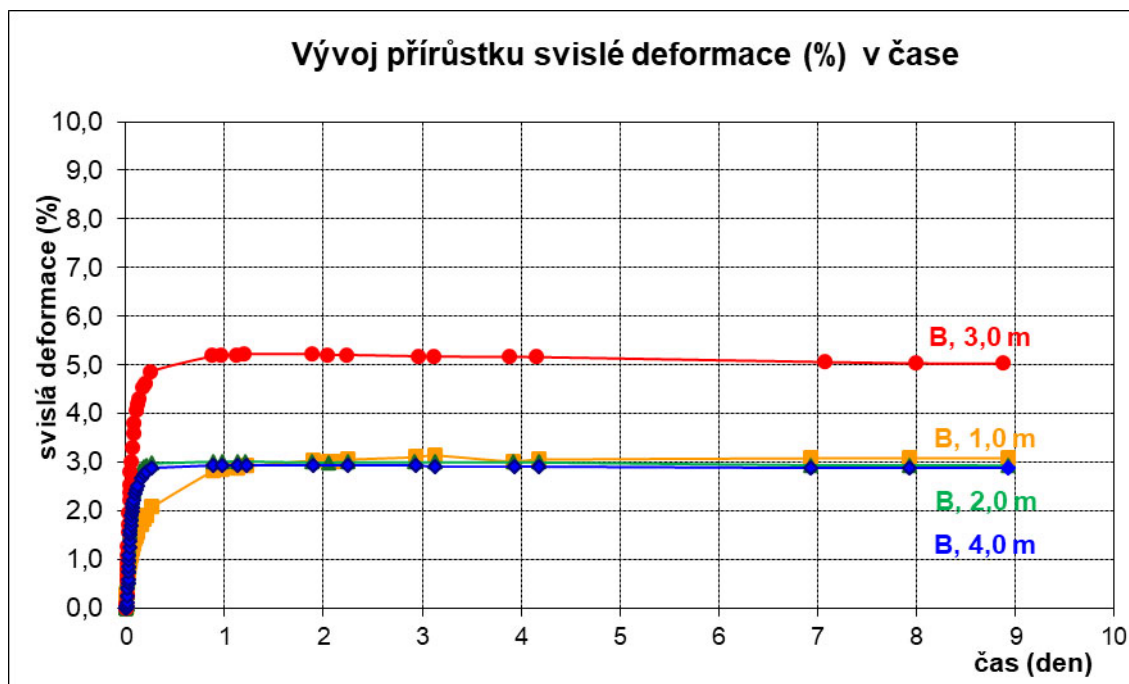
Při zkušební vlhkosti $w=30\%$ všechny výsledky vyhověly požadavkům TP 268 ($CBR = \min. 10\%$). Naměřené hodnoty byly v rozmezí $CBR=19,5\%$ až $26,6\%$. V případě vzorku z profilu A, hl. 1,0 m nebyl splněn obecný požadavek na minimální hodnotu $IBI=\min. 10\%$ dle ČSN 73 6133. U tohoto vzorku byla naměřena hodnota $IBI=8,2\%$. Všechny vzorky popílků nevyhověly při zkušební vlhkosti požadavkům na aktivní zónu ($CBR_{sat}=\min. 15\%$). Hodnoty CBR po 3 dnech zrání a 96 hodinách sycení dosahovaly velmi nízkých hodnot $CBR_{sat}=0,9-3,0\%$.

Doporučuje se upřesňovat hodnoty IBI a CBR při pracovní vlhkosti, která bude doporučena pro zpracování popílků v zemních pracích.

Hodnoty lineárního bobtnání rostly s hloubkou (obrázek 39). Hodnoty byly u vzorků z hloubky 3,0 m a 4,0 m v profilu A a z hl. 3,0 m v profilu B vyšší než $L_s=5\%$ (požadavek TP 268) [22]. Na druhou stranu objemové změny u těchto vzorků proběhly v průběhu prvního dne (obrázek 10 a 11), a proto lze při vhodné technologii a vhodné organizaci zemních prací tyto popílký zabudovat do zemního tělesa i přes zvýšené hodnoty lineárního bobtnání.



Obrázek 10 Vývoj lineárního bobtnání v čase pro vzorky z profilu A



Obrázek 11 Vývoj lineárního bobtnání v čase pro vzorky z profilu B

Závěry a doporučení

Závěry lze shrnout do následujících bodů:

- 1) Odkaliště Elektrárny Třebovice obsahuje křemičitý popílek s nízkým obsahem CaO, který pochází ze spalování černého uhlí.
- 2) Celkový obsah SiO_2 , Al_2O_3 a Fe_2O_3 ve vzorcích byl 90,70-92,79 %, což je více než minimální požadavek článku 5.2.8 normy EN 450-1. Z chemického hlediska je usazený popílek vhodný pro použití v cementu a betonu.
- 3) Vlhkost ve všech vzorcích byla vyšší než v čerstvém popílku ze sil. Vlhkost v deponovaném materiálu se v jednotlivých hloubkových úrovních měnila a nebyla zjištěna žádná závislost. Změny vlhkosti pravděpodobně souvisejí s hydraulickým režimem ukládání materiálu.
- 4) U vzorku z profilu A (hloubka 1,0 m) byla překročena limitní hodnota ztráty žíháním pro použití popílku do cementu a betonu (9 %).
- 5) V ostatních parametrech pro použití popílku do betonu byly splněny požadavky normy EN 450-1.
- 6) Všechny vzorky popílku z odkaliště Elektrárny Třebovice splňují požadavky na výluhy těžkých kovů pro použití při zemních pracích (viz TP 268).
- 7) Před použitím popílku z odkaliště Elektrárny Třebovice v zemních pracích bude nutné snížit jejich vlhkost tak, aby byl zpracovatelný a zhutnitelný. Doporučuje se dosáhnout optimální vlhkosti, ale na základě zkoušky zhutnitelnosti lze mezní hodnotu také zvýšit, pokud je dosaženo požadované míry zhutnění (více podrobností viz EN 16907-3).
- 8) Pórovitost byla u všech vzorků nižší než 60 % (požadavek TP 268).
- 9) Hodnoty lineárního bobtnání byly vyšší než $L_s=5$ % pro vzorky z hloubky 3,0 m a 4,0 m v profilu A a z hloubky 3,0 m v profilu B. Na druhou stranu objemové změny u těchto vzorků probíhaly během prvního dne. Po třech dnech zrání bylo lineární bobtnání zanedbatelné.

V dalších etapách výzkumu vlastností popílků na odkališti Elektrárny Třebovice je nezbytné se soustředit na následující problematiku:

a) Popílek do betonu a cementu

- Vzhledem k možné fluktuaci hodnot ztráty žíháním v přípovrchové zóně doporučujeme v rámci výzkumu zvýšit počet zkoušek ztráty žíháním z hloubky 0,0-1,0 m tak, aby bylo možné data zpracovat statisticky.
- Popílků použít do zkušební směsi a vyrobit z nich tělesa pro ověření mechanických vlastností vyrobeného betonu (pevnost, odolnost proti CHRL, odolnost proti mrazu, síranová rezistence, odolnost vůči ASR a další). Optimalizovat složení navrhovaného betonu.
- Posoudit způsoby snižování ztráty žíháním v popílcích a způsobu vysoušení pro snížení vlhkosti.

b) Popílek v zemních pracích

- Navrhnout vhodnou pracovní vlhkost pro práci s popílků při zřizování zemních těles a prověřit požadované vlastnosti popílků při této pracovní vlhkosti.
- Věnovat pozornost objemové stálosti popílků a ověřit, jak se mění s vlhkostí a hloubkou odběru.

Popílků a další vedlejší energetické produkty ze starých odkališť a složišť představují významný zdroj materiálu, na který by měla být soustředěna pozornost. V krátkém časovém období se stanou strategickými surovinami pro stavebnictví. Bohužel, mnoho vhodných zdrojů se postupně zastavuje a jejich exploatace v budoucnu bude velmi problematická.

Literatura

- [1] Heidrich C., Feuerborn H.-J.: Global opportunities and challenges for coal combustion products with a circular economy, EurocoalAsh2021, Thessaloniki, pp. 25-32.
- [2] Hooton D., Thomas M.: Literature review on the use of harvested coal ash as a supplementary cementitious material with recommendations for ASTM C618. University of Toronto, 2021.
- [3] Kresta F.: Alternativní materiály v zemních pracích. Česká silniční společnost z.s., 2025, 280 s. ISBN 978-80-02-03081-2.
- [4] McCarthy M.J., Hope T.A., Csetenyi L.J.: Wet storage effects on fly ash properties relevant to its use in air-entrained concrete. Magazine of concrete research 75 (3), pp. 149-162. 2023.
- [5] Nowak P., Gilbert P.: Earthworks a guide. Thomas Telford Publishing. London. 2015.
- [6] Peterová A., Škvára F., Šídlová M., Šulc R., Sokolová K., Snop R.: Can Czech stockpile fly ash be used in production of concrete, Eurocoalash 2019, Dundee, pp. 123-130.
- [7] Robl T., Oberlink A, Jones R: Coal Combustion Products (CCPs). Characteristics, Utilisation and beneficiation. Woodhead Publishing series in Energy. ISBN 978-0-08-100945-1

Normy a předpisy

- [8] ČSN EN 197-1 Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití
- [9] ČSN EN 206-1 Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
- [10] ČSN EN 450-1 Popílků do betonu
- [11] ČSN 72 1006 Kontrola zhuštění zemin a sypanin
- [12] ČSN 73 6133 Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací
- [13] ČSN EN 12457/1-4 Charakterizace odpadů - Vyluhování - Ověřovací zkouška vyluhovatelnosti zrnitých odpadů a kalů
- [14] ČSN EN 13286-47 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 47: Zkušební metoda pro stanovení kalifornského poměru únosnosti, okamžitého indexu únosnosti a lineárního bobtnání
- [15] ČSN EN 16907-1 Zemní práce – Část 1: Zásady a obecná pravidla
- [16] ČSN EN 16907-2 Zemní práce – Část 2: Klasifikace materiálů
- [17] ČSN EN 16907-3 Zemní práce – Část 3: Stavební postupy
- [18] ČSN EN 16907-4 Zemní práce – Část 4: Úprava zemin vápnem a/nebo hydraulickými pojivy
- [19] ČSN EN 16907-5 Zemní práce – Část 5: Kontrola kvality
- [20] CEN/TR 16907-8 Earthworks – Part 8: Alternative materials in earthworks
- [21] ASTM C618-22 Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete
- [22] TP 268 Alternativní materiály v zemním tělese pozemních komunikací
- [23] TKP 4 Zemní práce