

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

Doc. RNDr. František Kresta, Ph.D.

Obsah

- 1) Úvod (a trocha historie)
- 2) Předpisová základna
- 3) Recyklované materiály
- 4) Materiály spalování komunálního odpadu
- 5) Vedlejší energetické produkty
- 6) Materiály z výroby železa a oceli
- 7) Materiály z výroby neželezných kovů
- 8) Materiály ze slévárenství
- 9) Materiály z těžby a úpravy nerostných surovin
- 10) Vytěžené přírodní materiály
- 11) Produkty spalování jiných materiálů
- 12) Ostatní
- 13) Závěry

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

2

Úvod (a trocha historie)

Úvod (a trocha historie)

Česká republika patřila a patří k průkopníkům ve využití alternativních materiálů v zemních pracích, a to nejen v dopravním stavitelství, kde jsou největší objemy prací, ale i v dalších oblastech stavební činnosti - pozemní stavby, rekultivace a úprava krajiny.

Úvod (a trocha historie)

Soustavné studium vlastností elektrárenských popílků, zejména těch, které byly uloženy na odkaliště elektráren, začalo v bývalém Československu po roce 1956 po tragické havárii odkaliště popílku u elektrárny Nováky. V roce 1964 byla vydána první odborná publikace zabývající se problematikou popílků v Československu *“Hydraulické odpopelňování”*.

Od devadesátých let 20.století se v České republice použití vedlejších energetických produktů (především popílků, škváry a elektrárenské strusky) do inženýrských staveb, zejména násypů pozemních komunikací, velmi zvýšilo.



← D11 Osíčky –
Hradec-Králové
(2009)

D1 Přerov –Lipník
n.B. (2018) →



Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

Úvod (a trocha historie)

Do konce minulého století byla uhelná hlušina používána pouze v násypch železničních vlečků v rámci Ostravsko-karvinského revíru a do hrází odkalovacích nádrží.

Uhelná hlušina pak byla ve velkém rozsahu používána při výstavbě silnic a dálnic na severní Moravě a ve Slezsku v prvním desetiletí 21.století, kdy bylo celkem zabudováno do násypů cca 5 mil. m³ neprohořelé uhelné hlušiny.



D4708.1 MÚK Rudná (2005)



I/57 Bystřička – Semetín (2009)

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

6

Úvod (a trocha historie)

Vysokopecní vzduchem chlazená a ocelářská struska byly do 90.let minulého století používány pro konstrukci silnic v rámci průmyslových podniků (železárny, ocelárny). První masivní aplikace těchto materiálů byla při výstavbě silnic a dálnic na severní Moravě a ve Slezsku v první dekádě 21.století, kdy bylo do násypů zabudováno cca 2 mil. m³ vzduchem chlazené vysokopecní strusky a 0,5 mil. m³ ocelářské strusky a tzv. *studeného odvalu*.

V důsledku objemových změn a bobtnání tzv. studeného odvalu, které způsobilo poruchy vozovky dálnice D47 a které bylo pozorováno od roku 2007 byly všechny vedlejší produkty metalurgické výroby zakázány na všech veřejných zakázkách po dobu delší než 10 let. Další stavby, ve kterých byla vysokopecní struska v násypech opět povolena, byly zahájeny až v roce 2018.

Úvod (a trocha historie)

Recyklované stavebně demoliční materiály a kamenivo jsou při správném požívání stejně hodnotné jako materiály přírodní. Použití recyklovaných materiálů tedy není na úkor kvality díla. Nyní jsou recyklované materiály velmi žádané pro použití v zemních pracích nebo jako zdroj pro výrobu kameniva s vyšší přidanou hodnotou.



D48 Rybí – MÚK Rychaltice, výstavba rozšíření násypu s využitím recyklovaného asfaltu a recyklované staré cementové stabilizace, která tvořila hrázku (2018)

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

8

Úvod (a trocha historie)

Aby se z druhotné suroviny nebo recyklovaného materiálu stala adekvátní náhrada přírodní suroviny (a to jak v lokálním, tak globálním měřítku), je nutno splnit následující podmínky:

- Popis suroviny.
- Výběr hlavních užitých vlastností, které musí druhotný materiál splňovat pro danou aplikaci.
- Environmetální vhodnost.
- Průkazní laboratorní zkoušky.
- Modelování chování daného materiálu v inženýrské konstrukci.
- Použitelnost při výstavbě a prokázání využití daného materiálu v praxi.
- Definice okrajových podmínek pro práci s daným materiálem při jeho zabudování do inženýrské konstrukce.
- Znalost vývoje vlastností daného materiálu z dlouhodobého hlediska.
- Standardizace podmínek vyžití a uvedení technických informací ve známost.

Úvod (a trocha historie)

Proč používat alternativní materiály?

Ušlechtilé přístupy

- udržitelný rozvoj (přeměna odpadů ve zdroje);
- snižování uhlíkové stopy.

Zatím nejsou v České republice zvýhodněny firmy používající alternativní materiály.

Pragmatické přístupy

- časové hledisko – s některými materiály lze pracovat i v zimě;
- **cena** (a ta je vždy na prvním místě).

Předpisová základna

Předpisová základna

TP 93 Návrh a provádění staveb pozemních komunikací s využitím popílků a popelů

TP 138 Užití struskového kameniva do pozemních komunikací

TP 176 Hlušinová sypanina v tělese pozemních komunikací

TP 210 Užití recyklovaných stavebních demoličních materiálů do pozemních komunikací – aktualizováno v r. 2023 (viz přednáška doc. Stehlíka)

CEN/TR 16907-8 Alternative materials in earthworks (probíhá formální hlasování) – vydání v r. 2024

TP Alternativní materiály v zemním tělese pozemních komunikací (nahradí TP 93, TP 138 a TP 176) - finalizace probíhá, vydání v r. 2024

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

12

Předpisová základna

Přehled skupin materiálů dle CEN/TR 16907-8, které byly převzaty do nových TP Alternativní materiály v zemním tělese pozemních komunikací

| Třída | Zdroj | EN 16907-2 |
|-------|--|------------|
| A | Průmysl stavebně-demoličních odpadů a recyklační | AR |
| B | Průmysl spalování komunálního odpadu | AM |
| C | Průmysl spalování uhlí (vedlejší energetické produkty) | AM |
| D | Průmysl železa a oceli | AM |
| E | Průmysl neželezných kovů | AM |
| F | Slévárenský průmysl | AM |
| G | Těžební průmysl | AN (AM) |
| H | Vytěžené přírodní materiály | AN |
| I | Jiné produkty spalování | AM |
| J | Různé | AM (AR) |

AR – recyklované materiály, AM – umělé materiály, AN – materiály přírodního původu

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

13

Recykláty

Recykláty

Do skupiny recyklovaných materiálů patří:

- Recyklovaný asfalt
- Recyklovaný beton
- Recyklované cihly a zdivo
- Recyklované hydraulicky stmelené a nestmelené materiály
- Směsné recyklované materiály (asfalt, beton, cihly a zdivo, stmelené a nestmelené materiály)
- Recyklovaný štěrk kolejového lože

Používání recyklovaných materiálů v zemním tělese pozemních komunikací je popsáno v TP 210, a v přednášce doc. Stehlíka.

TP 210 používá mírně odlišné definice recyklovaných materiálů. Není samostatně vyčleněna skupina recyklovaného štěrku kolejového lože, jako v tomto předpisu. Mezi recyklované materiály je v TP 210 zařazena i homogenizovaná a vytříděná zemina, která dle tohoto předpisu spadá do třídy H vytěžené přírodní materiály.

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

15

Materiály ze spalování komunálního odpadu

Materiály ze spalování komunálního odpadu

Do skupiny produktů spalování komunálního odpadu patří:

- Škvára ze spalování komunálního odpadu (kromě popílku) (MIBA)
- Popílek ze spalování komunálního odpadu (MIFA)

V České republice se produkty spalování komunálního odpadu ani produkty spalování TAP v zemních pracích zatím nepoužívají. Byly provedeny jen některé pilotní aplikace.



Škvára z Teplárny ZEVO Malešice v podloží parkoviště

TAP - tuhá alternativní paliva jsou vyrobená z odpadů neklasifikovaných jako nebezpečné (viz ČSN EN 21640).

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

17

Materiály ze spalování komunálního odpadu

Požadavky na použití škváry ze spalování komunálního odpadu (viz příloha 6 Vyhl. 273/2021 Sb.).

Poznámka Technologicky se jedná o škváru (zůstatek na roštu), ale dle katalogu odpadů se tento materiál označuje jako struska ze spalování ostatního odpadu (katalogové číslo odpadu 19 01 12) a jako struska je označována v příloze 6 Vyhl. 273/2021 Sb.

Škváru z komunálního odpadu lze použít, pokud prošla procesem, jehož součástí je vytrídění železných a neželezných kovů, a procesem zrání, kdy se stabilizuje minerální frakce odpadu, a to absorpcí atmosférického CO₂, odváděním přebytečné vody a oxidací, součástí tohoto procesu je skladování na volném prostranství nebo v zakrytých budovách, na vodohospodářsky zabezpečené ploše alespoň po dobu 28 dnů.

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

18

Materiály ze spalování komunálního odpadu

Rovněž musí být splněny další požadavky (obsah škodlivých prvků v sušině) dle Přílohy 6 Vyhl. 273/2021 Sb. a musí jít o vyžralý materiál. Nelze používat materiál čerstvý.

Při stanovení technických požadavků na používání produktů ze spalování komunálního odpadu a spalování TAP doporučujeme vycházet z požadavků pro produkty ze spalování uhlí.

Produkty ze spalování komunálního odpadu a spalování TAP nesmí být používány v environmentálně citlivých oblastech, zejména v blízkosti zdrojů pitné vody minimálně vně PHO 2. V násypu mohou být ukládány pouze nad úroveň Q100+0,50 m a minimálně 1 m nad úrovní hladiny podzemní vody.

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

19

Materiály ze spalování uhlí (vedlejší energetické produkty)

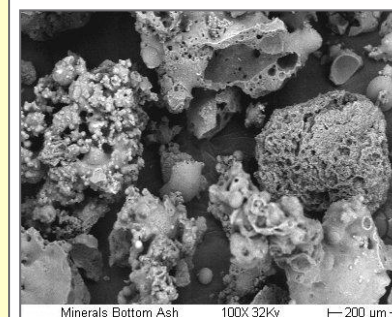
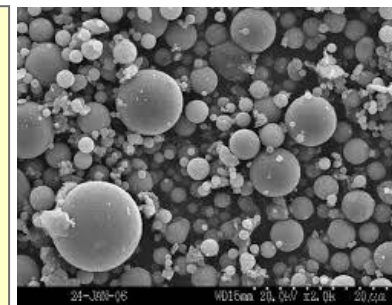
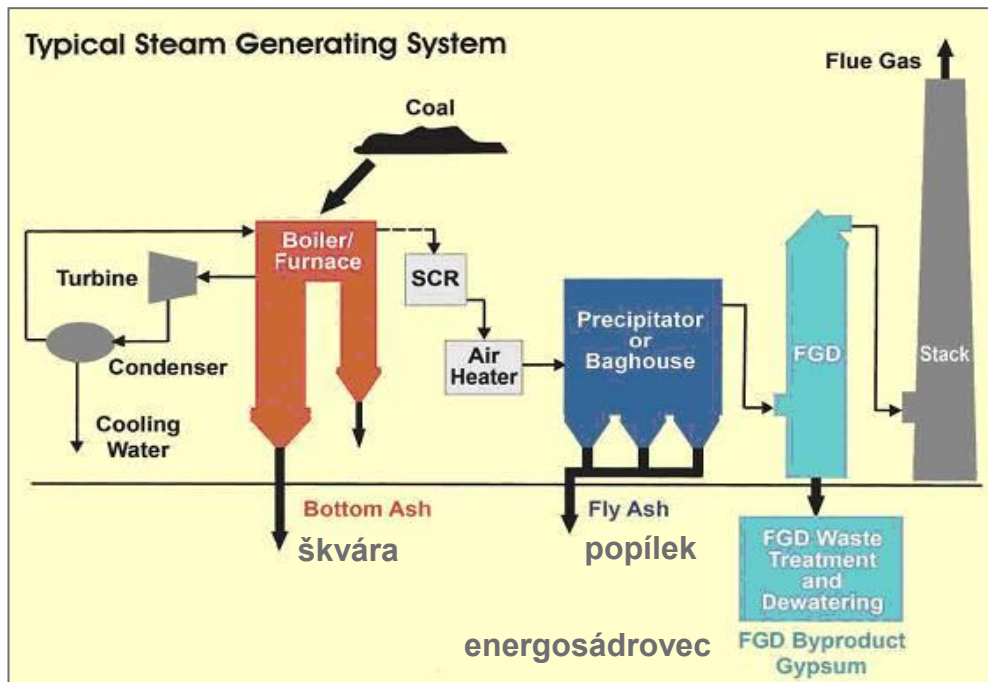
Materiály ze spalování uhlí (vedlejší energetické produkty)

Do skupiny vedlejších energetických produktů ze spalování uhlí patří:

- Popílek ze spalování uhlí – křemičitý
- Popílek ze spalování uhlí – vápenatý
- Popílek z fluidního spalování
- Elektrárenská struska
- Škvára – křemičitá
- Škvára – vápenatá
- Ložový popel

Popílkový stabilizát nepatří podle nových TP do této skupiny. Může se posuzovat podle ČSN EN 14227-15.

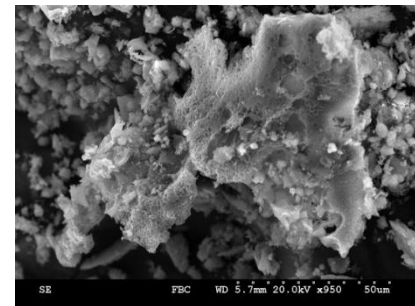
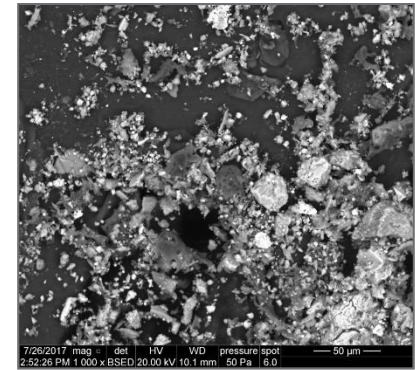
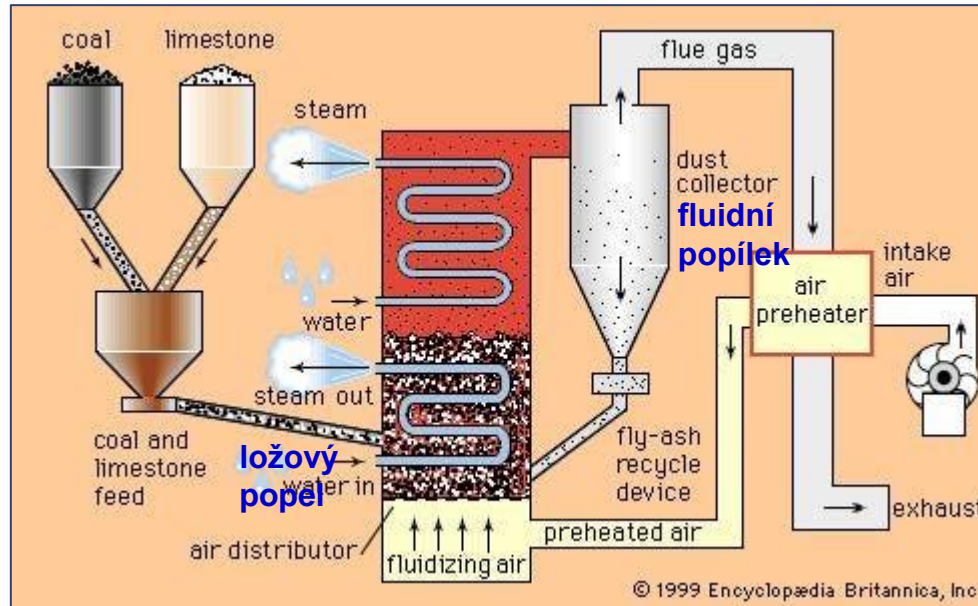
Materiály ze spalování uhlí



Granulační (roštové kotle) pro spalování uhlí (teplota cca 1400 °C) a vedlejší produkty (popílek, škvára, elektrárenská struska, energosádrovec)

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

Materiály ze spalování uhlí



Fluidní kotle pro spalování uhlí (teplota cca 850 °C) a vedlejší produkty (fluidní popílek a ložový popel)

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

23

Materiály ze spalování uhlí

Produkce CCP a jejich použití ve světě (stav v roce 2019)

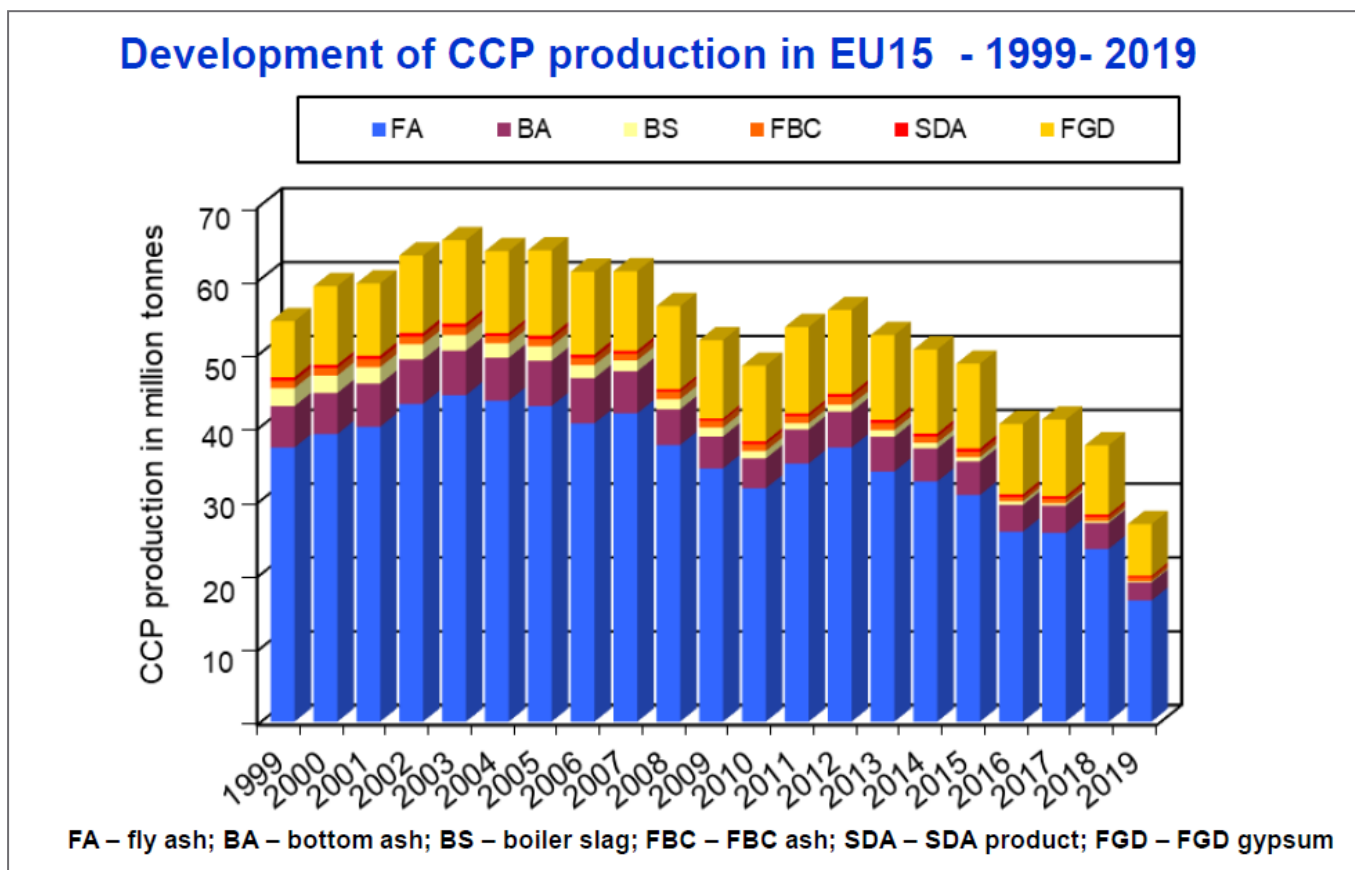
| Země / oblast | Produkce VEP (Mt) | Využití VEP (Mt) | Poměr (%) |
|-------------------------|-------------------|------------------|--------------|
| Austrálie | 12,6 | 5,9 | 46,8 |
| Asie | | | |
| Čína | 585,0 | 404,0 | 69,1 |
| Korea | 7,5 | 6,2 | 82,7 |
| India | 226,0 | 191,0 | 84,5 |
| Japonsko | 12,3 | 12,1 | 98,4 |
| Zbytek Asie | 22,4 | 13,2 | 58,9 |
| Evropa | 103,0 | | |
| EU 15 | 19,4 | 21,5 | 110,8 |
| Střední východ a Afrika | 33,9 | 3,9 | 11,5 |
| Izrael | 0,6 | 0,5 | 83,3 |
| USA | 45,8 | 27,3 | 59,6 |
| Brazílie | 4,1 | 1,2 | 29,3 |
| Kanada | 3,2 | 3,0 | 93,8 |
| Rusko | 30,2 | 3,1 | 10,3 |
| Celkem | 1106,0 | 692,9 | 62,6 |

Rozdíl byl kompenzován využíváním popílků ze starých úložišť nebo dovozem ze zemí mimo EU (např. Turecko, Indie).

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

Materiály ze spalování uhlí

Produkce jednotlivých CCP v EU (15) v letech 1999-2019



Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

Materiály ze spalování uhlí

Environmentální požadavky - Limitní hodnoty obsahů těžkých kovů ve výluhu

| Prvek | Maximální přípustný obsah ve výluhu (mg.l ⁻¹) |
|--------------|---|
| Ag | 0,100 |
| As | 0,100 |
| Ba | 1,000 |
| Be | 0,005 |
| Cr (celkový) | 0,100 |
| Cd | 0,005 |
| Co | 0,100 |
| Cu | 1,000 |
| Ni | 0,100 |
| Pb | 0,100 |
| Hg | 0,005 |
| Se | 0,050 |
| V | 0,200 |
| Zn | 3,000 |
| Sn | 1,000 |

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

26

Materiály ze spalování uhlí

Environmentální požadavky

Pokud jsou vedlejší energetické produkty klasifikovány jako chemické látky, pak musí splnit požadavky (ES) 1907/2006 - REACH (*Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals*, tj. Registrace, Hodnocení a Povolení Chemických látek).

Obsah organických látek (stanovený metodou ztráty žiháním nebo stanovením celkového obsahu organického uhlíku TOC) a ekotoxicita se u vedlejších energetických produktů pro použití v zemním tělese pozemních komunikací neposuzuje.

U všech vedlejších energetických produktů po denitrifikaci použitých v zemním tělese pozemních komunikací se neposuzuje obsah oxidů dusíku (NO_x).

Posuzování radioaktivity vedlejších energetických produktů v zemním tělese pozemních komunikací není relevantní (viz Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

27

Materiály ze spalování uhlí

Technické požadavky

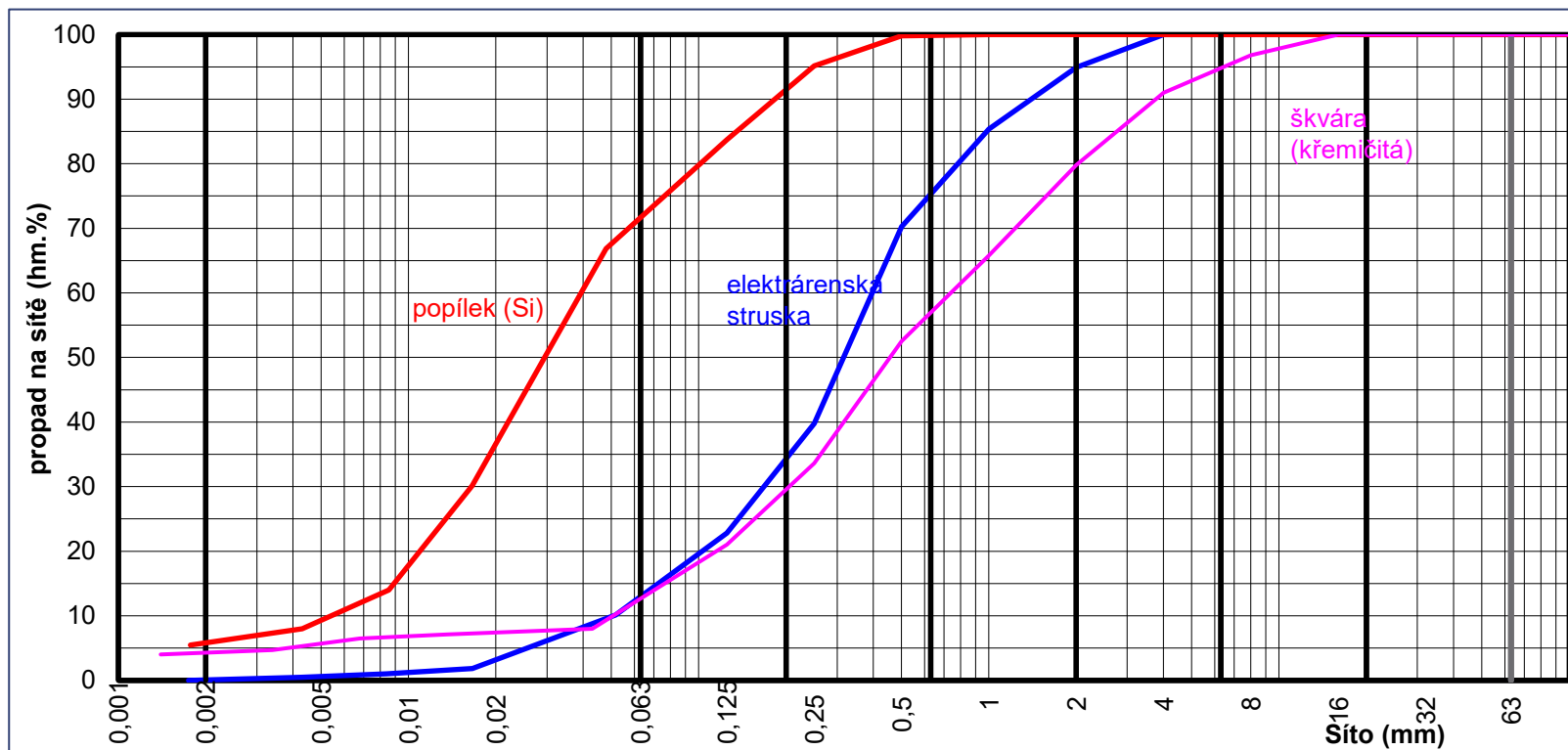
Požadované fyzikálně-mechanické vlastnosti vedlejších energetických produktů v násypu pozemních komunikací

| Zkouška | Parametr | Požadovaná hodnota | Norma / předpis |
|--|---|---|------------------------------------|
| Zrnitost | křivka zrnitosti | není stanovena | ČSN CEN ISO 17892-4 |
| Proctor Standard (PS) | ρ_{dmax}, W_{opt} | 95% ρ_{dmax} | ČSN EN 13286-2 |
| Pórovitost | $n (\%) = 100 \cdot (1 - \rho_d) / \rho_s$ | $n < 65\%$ při zhutnění prací 95% PS | |
| CBR (platí pro popílky, škváru a elektrárenskou strusku) | CBR po 4 denním uložení na vzduchu při zabránění odpařování | CBR ₁₀ při hutnící práci 95% PS | ČSN EN 13286-47 |
| CBR _{sat} (platí pro produkty fluidního spalování - fluidní popílky a ložový popel) | CBR _{sat} po 3 dnech zrání a 4 denním sycení vodou | CBR ₁₅ při hutnící práci 95% PS | ČSN EN 13286-47 |
| Objemové změny | lineární bobtnání v CBR moždíři (zkouší se až 3 dny po nahutnění a zrání v klimatizační komoře) | $L_s < 5\%$ | ČSN EN 13286-47 a příloha 2 TP ALT |
| Analýza výluhů | zastoupení prvků (mg/l) | tab. 3 TP ALT | tab. 3 TP ALT |

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

Materiály ze spalování uhlí

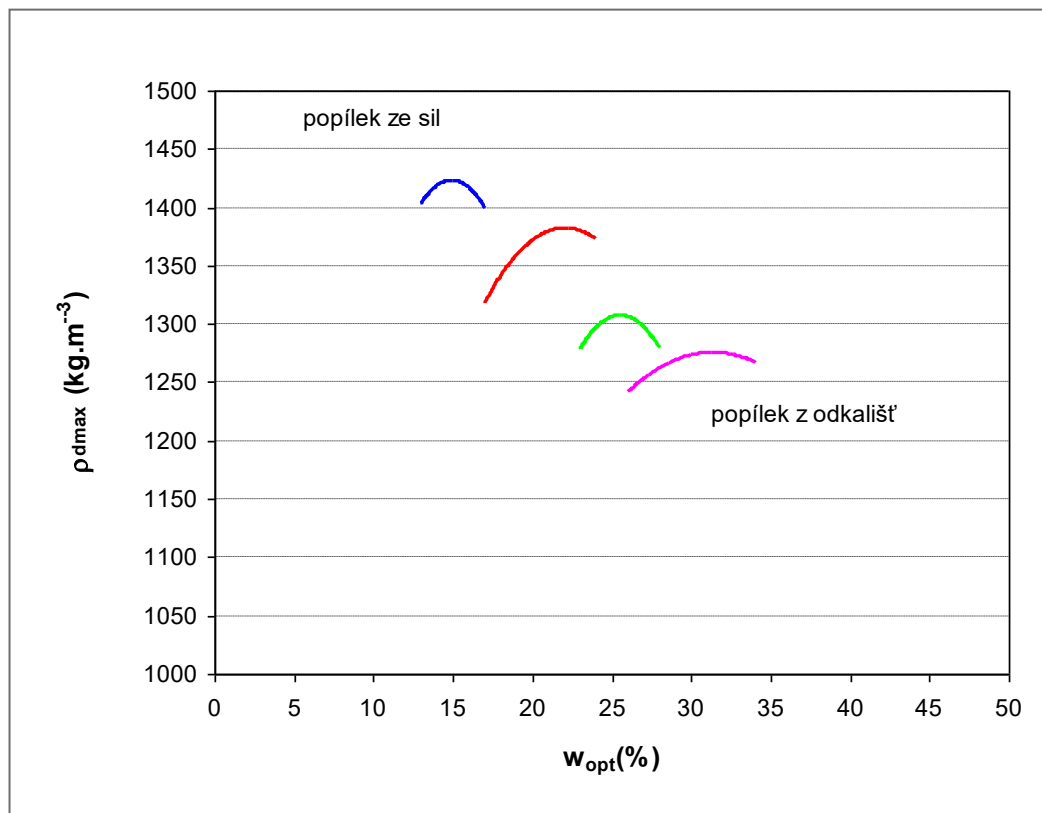
Zrnitost (příklad produktů z Elektrárny Chvaletice)



Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

Materiály ze spalování uhlí

Zhutnitelnost - Závislost objemové hmotnosti na vlhkosti dle zkoušek Proctor standard pro různé zdroje popílků



Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

Materiály ze spalování uhlí

Objemová stálost

Ověření objemových změn u popílků a fluidních popílků při zabudování do zemního tělesa pozemních komunikací je povinné. Zejména u fluidních popílků je zakotvena povinnost zjistit, zda při dlouhodobém kontaktu s vodou nedochází k vytváření ettringitu (vzniká reakcí volného vápna a síranových iontů), a tím ke zvětšování objemu. **Největší objemové změny byly zaznamenány u ložového popela).**

Maximální přípustná velikost objemových změn popílků pro použití v zemním tělese pozemních komunikací je 5%. Tato hodnota musí být splněna po 3 dnech zrání, tj. **objemové změny v prvních třech dnech zrání se do uvedeného kritéria nezapočítávají.** Objemové změny se měří na vzorcích zhutněných do moždířů CBR a sycených vodou přes spodní podstavu.

Materiály ze spalování uhlí

Objemová stálost



Objemové změny vzorku ložového popela z Elektrárny Tisová (foto V.Herle, 2010)



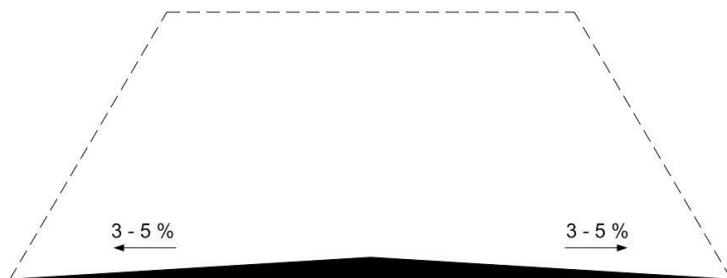
Objemové změny ložového popela z Teplárny Kladno při vlhkosti 20%, 2021



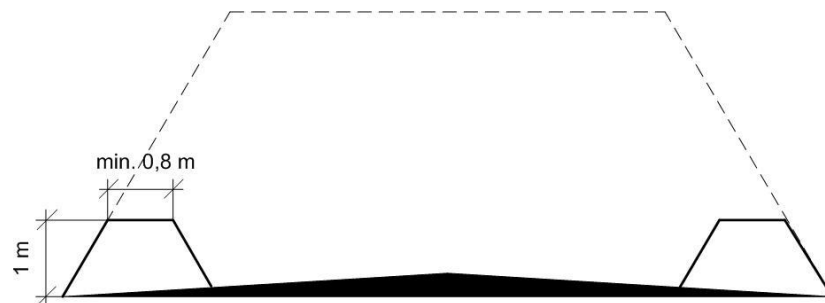
Objemové změny ložového popela z Teplárny Zlín při vlhkosti 20%, 2021

Materiály ze spalování uhlí

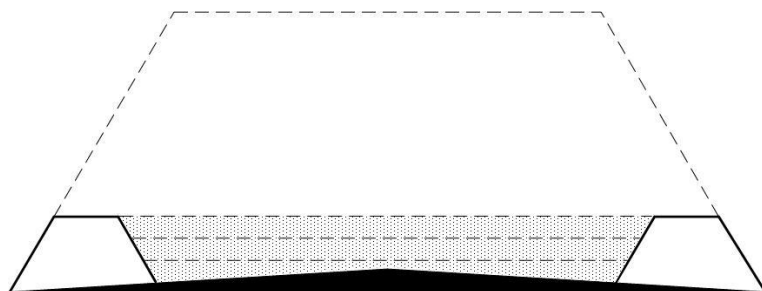
Výstavba násypů s použitím VEP



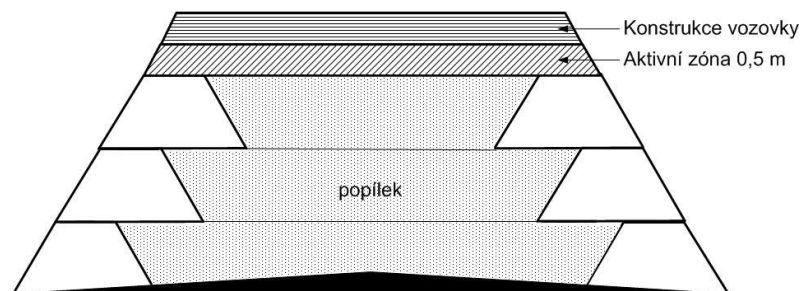
1. Vyspádování, urovnání a přehutnění podloží



2. Vybudování základních hrázek z běžné zeminy



3. Navezení vrstvy popílku mezi hrázky a zhutnění.
Vrstva cca 0,30 - 0,35 m



4. Dokončení zemního tělesa z popílku, aktivní zóna z vhodné zeminy splňující kritéria $E_0 = 45 \text{ MPa}$ při 100 % zhutnění

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

33

Materiály ze spalování uhlí

Příklady staveb s použitím VEP



Dálnice D11, úsek
Osíčky – Hradec –
Králové, zřizování
hrázek
a rozprostírání
a hutnění popílků z
Elektrárny Opatovice

Dálnice D1
Přerov –
Lipník,
používání
popílků ze
starých úložišť
(2017-2019)



Dálnice D7 Louny –
obchvat,
elektrárenská
struska
z Elektrárny
Počerady v násypu
(2021-2022)

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

34

Materiály ze spalování uhlí

Popílký jako pojivo nebo součást pojiv

Používání popílků jako pojiva nebo součástí pojiv má kratší historii, než jejich aplikace jako prostý násypový materiál. Pucolánové vlastnosti křemičitých popílků (schopnost reakce amorfního oxidu křemičitého – SiO_2) a hydraulické vlastnosti vápenatých popílků předurčily jejich možnost při využití jako pojiva.

V roce 2013 byly revidovány normy řady EN 14227 (Úpravy zemin) a EN 450-1 a 2 (Popílek do betonu) a normy EN 13282-1, -2 Hydraulická silniční pojiva. Ve smyslu poslední normy patří převážná část pojiv s obsahem popílků do skupiny normálně tuhoucích (pojiva s vyšším podílem cementu patří do skupiny rychle tuhoucím).

Materiály ze spalování uhlí

Požadavky na popílky pro úpravu zemin /ČSN EN 14227-4)

| Parametr | Požadovaná hodnota | Zkušební norma |
|---|---------------------|----------------|
| Křemičité popílky | | |
| Propad zrn na síť 90 μm | ≥ 70% | EN 451-2 |
| Propad zrn na síť 45 μm | ≥ 40% | EN 451-2 |
| Ztráta žíháním | ≤ 10% | EN 196-2 |
| Obsah SO ₃ | ≤ 4,0% | EN 196-2 |
| Obsah volného CaO | ≤ 1,0% | EN 451-1 |
| Objemové změny směsi popílku a cementu v poměru 30:70 | ≤ 10 mm | EN 196-3 |
| Vlhkost | ≤ 1,0% | EN 13286-1 |
| Pucolánová aktivita | deklarovaná hodnota | EN 196-5 |
| Vápenaté popílky | | |
| Propad zrn na síť 315 μm | ≥ 95% | EN 196-6 |
| Propad zrn na síť 90 μm | ≥ 70% | EN 196-6 |
| Objemové změny směsi popílku a cementu v poměru 30:70 | ≤ 10 mm | EN 196-3 |
| Obsah aktivního CaO | ≥ 5% | EN 197-1 |
| Vlhkost | ≤ 1,0% | EN 13286-1 |
| Hydraulická aktivita | deklarovaná hodnota | |

Materiály ze spalování uhlí

Příklady aplikací popílků pro úpravy zemin

D49 Hulín – Fryšták, 05-10/2022, 2850 tun fluidních popílků z Teplárny Kladno a 1100 tun fluidních popílků z Teplárny Zlín, dávkování 2%.



Pohled na sestavu strojů při dávkování (dávkovač), mísení (zemní fréza) a urovnávání vrstvy zemin (CI) (grader) upravených fluidními popílků



Zeminy (CI) promísené se 2% fluidních popílků z Teplárny Kladno (násyp SO 101.33, srpen 2022)

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

37

Materiály z výroby železa a oceli

Materiály z výroby železa a oceli

Do skupiny materiálů z výroby železa a oceli patří:

- Granulovaná vysokopeční struska (GBS) (sklovitá) – používá se pro úpravy zemin a ve výrobě cementu
- Vzduchem chlazená vysokopeční struska (ABS) (krystalizovaná)
- Zásaditá ocelářská struska (konvertorová struska, BOS)
- Ocelářská struska z elektrických obloukových pecí (z výroby uhlíkaté oceli, EAFC) – není v ČR
- Ocelářská struska z elektrických obloukových pecí (z výroby nerezových / vysoce legovaných ocelí, EAF S) – není v ČR
- Ocelářské strusky sekundární metalurgie (SMS) – není v ČR

Materiály z výroby železa a oceli



Granulovaná vysokopeční struska z Liberty Ostrava



Vysokopeční struska z odvalu TŽ Třinec připravená na stavbě “Silnice I/48 Tošanovice – Žukov” (2006)



Deponie ocelářské strusky firmy RIDERA (z ocelárny EVRAZ Vítkovice) v Ostravě – Mariánských Horách (2012)

Materiály z výroby železa a oceli

Hutní suť

Heterogenní směs vedlejších produktů hutní výroby. Směs hutnických strusek, slévárenských písků a žáromateriálů – vyzdívky vysokých pecí, které vznikají při výrobě surového železa a oceli. V hutní suti je zastoupen zcela podřadně i ostatní materiál – např. dřevo, PVC apod.). Slangově bývá hutní suť označována někdy jako tzv. *studený odval*.



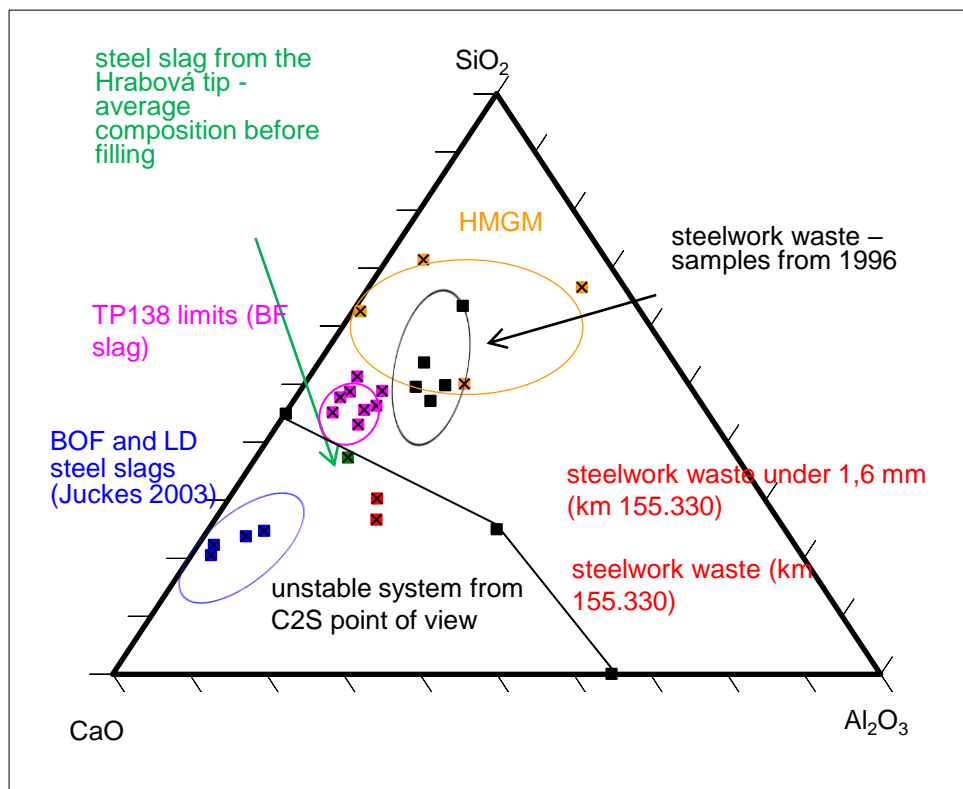
Studený odval (2016). Vstup je zakázán, včetně fotografování.

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

41

Materiály z výroby železa a oceli

Chemické složení materiálů z výroby železa a oceli



HMGM –
Hüttenmineralstoffgemischen
 (obdoba studeného odvalu)

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

42

Materiály z výroby železa a oceli

Environmentální požadavky

Pokud jsou produkty z výroby železa a oceli klasifikovány jako chemické látky, pak musí splnit požadavky (ES) 1907/2006 - REACH (*Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals*, tj. Registrace, Hodnocení a Povolování Chemických látek).

Obsah organických látek (stanovený metodou ztráty žíháním nebo stanovením celkového obsahu organického uhlíku TOC) se u materiálů z výroby železa a oceli pro použití v zemním tělese pozemních komunikací neposuzuje.

Posuzování radioaktivity vedlejších energetických produktů v zemním tělese pozemních komunikací není relevantní (viz Vyhláška č. 422/2016 Sb.).

Před dalším použitím do zemního tělesa pozemních komunikací se doporučuje oddělit rozdílné typy materiálů (např. vysokopeční strusku od ocelářské), případně je mechanicky upravit tříděním a drcením.

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

43

Materiály z výroby železa a oceli

Technické požadavky

| Zkouška | Požadovaná hodnota | Norma / předpis |
|---|--------------------|---------------------|
| Vzduchem chlazená vysokopecní struska | | |
| zrnitost | není stanovena | ČSN CEN ISO 17892-4 |
| odolnost proti drcení Los Angeles | LA50 | ČSN EN 1097-2 |
| silikátový rozpad | nesmí nastat | ČSN EN 1744-1+A1 |
| železnatý rozpad | nesmí nastat | ČSN EN 1744-1+A1 |
| manganatý rozpad | nesmí nastat | ČSN EN 1744-1+A1 |
| rozpádavost v autoklávu | max. 5% | TP ALT, příloha 6 |
| Ocelářská struska (zásaditá, BOS nebo konvertorová LD) | | |
| zrnitost | není stanovena | ČSN CEN ISO 17892-4 |
| odolnost proti drcení Los Angeles | LA35 | ČSN EN 1097-2 |
| obsah volného CaO | max. 4,50 % | ČSN EN 1744-1+A1 |
| obsah volného MgO | max. 5% | ČSN EN 1744-1+A1 |
| rozpínavost | max. 5% | ČSN EN 1744-1+A1 |

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

44

Materiály z výroby železa a oceli

Fyzikálně-mechanické vlastnosti sypaniny ze struskových materiálů

| parameter | blast furnace slag (the Hrabová tip) | steel slag (the Hrabová tip) | steelwork waste (the Hrabová tip) |
|--|--------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| fraction | 0-300 mm | 0-200 mm | 0-300 mm |
| CSN 73 6133 classification | G2 GP | G1 GW | G3 GF |
| moisture w_n (%) | 4 | 2 | 6,9-12,9 |
| maximum dry density (ρ_{dmax}) (kg.m ⁻³) according to the Proctor Standard test | 2330 | 2681 | 1930 |
| internal friction angle ϕ' (°) | 37 | 35 | 30 |
| cohesion c' (kPa) | 3 | 5 | 5 |
| coefficient of permeability k_f (m.s ⁻¹) | $1,00 \cdot 10^{-2}$ | $4,20 \cdot 10^{-2}$ | $1,00 \cdot 10^{-8}$ |
| deformation modulus E_{def} (MPa) | 100-131 | 90-130 | 80-100 |

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

45

Materiály z výroby železa a oceli

Zkoušky objemové stálosti

1. Dlouhodobé zkoušky bobtnání v CBR moždíři (až několik let)
2. Zkoušky urychlující objemové změny
 - rozpadavost v autoklávu – *autoclave test* (TP 138);
 - rozpínavost (v parní komoře) – *steam test* (EN 1744-1)
 - rozpadavost v horkovodní lázni – *hot-water bath test*.

Chování vedlejších produktů hutní výroby na stavbách bývá často diametrálně odlišné od laboratorních výsledků.

Aplikace ve stmelených vrstvách a asfaltových vrstvách – nejlépe odpovídají zkoušky rozpínavosti (dle EN 1744-1) nebo zkoušky v horkovodní lázni.

Nestmelené vrstvy - nejlepší výsledky přinášely dlouhodobé zkoušky bobtnání v CBR moždíři.

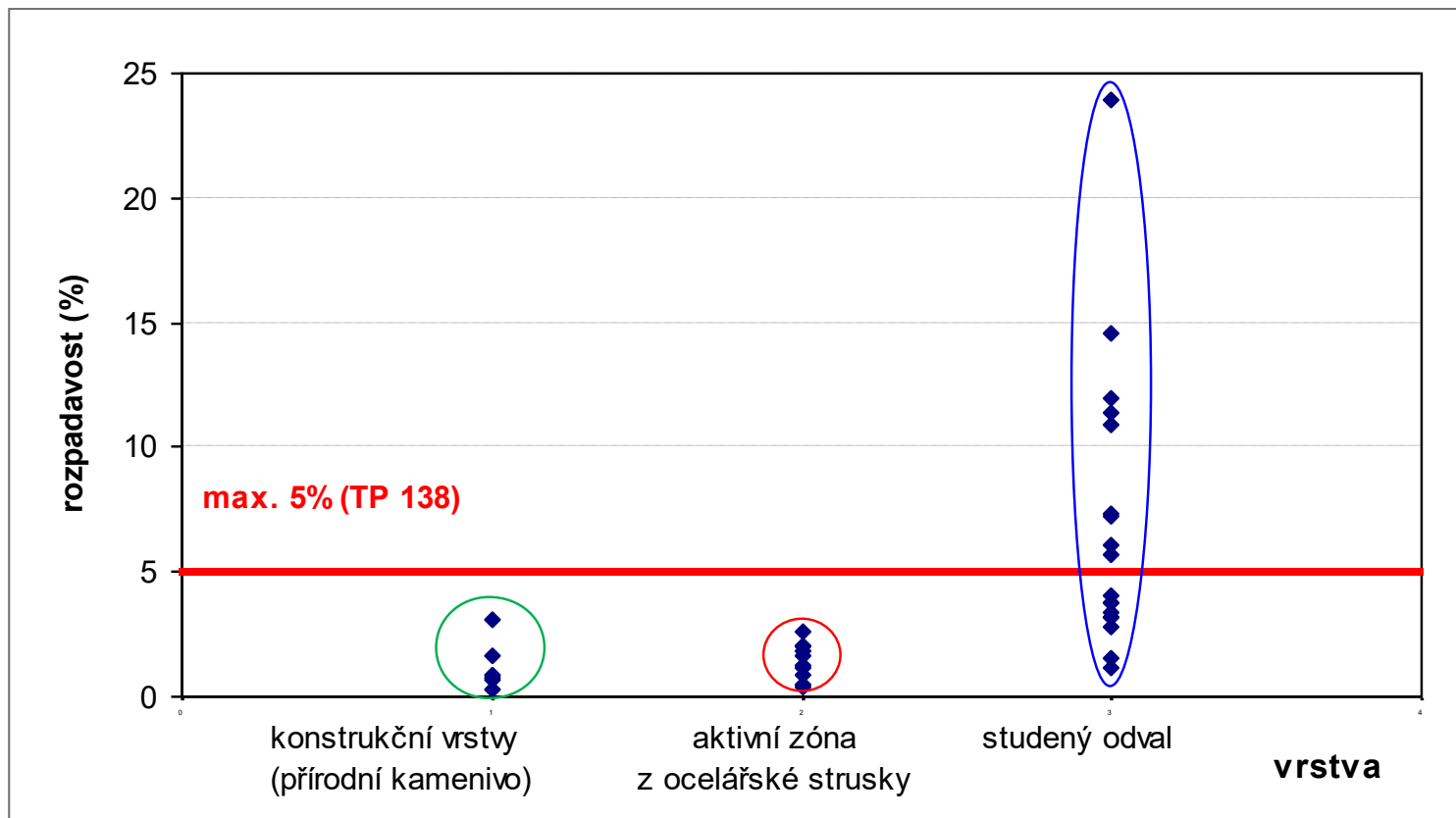
Zatím neexistuje postup pro srovnání zkoušek urychlujících procesy objemových změn a zkoušek při normální teplotě a tlaku. Velmi obtížně se výsledky jednotlivých zkoušek korelují.

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

46

Materiály z výroby železa a oceli

Výsledky zkoušek rozpadavosti v autoklávu (D47)

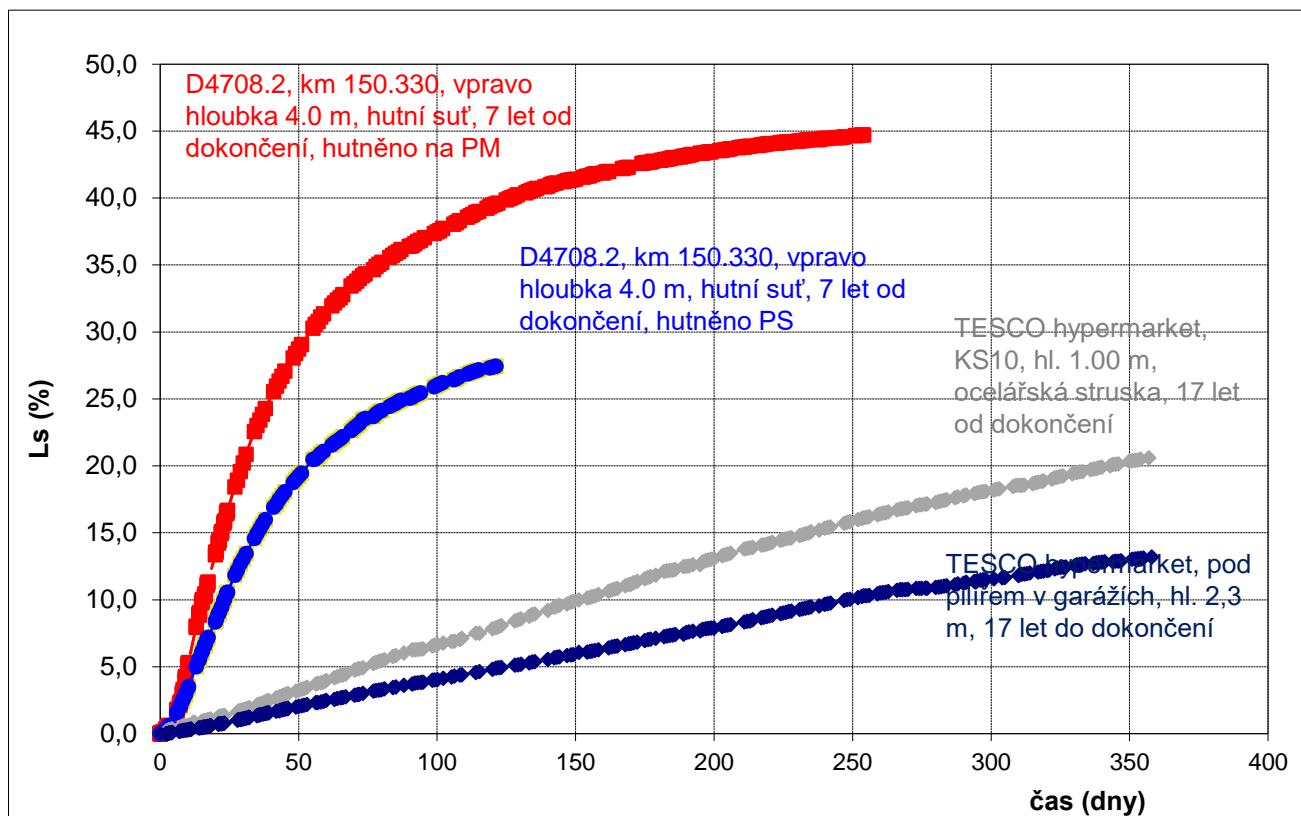


Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

47

Materiály z výroby železa a oceli

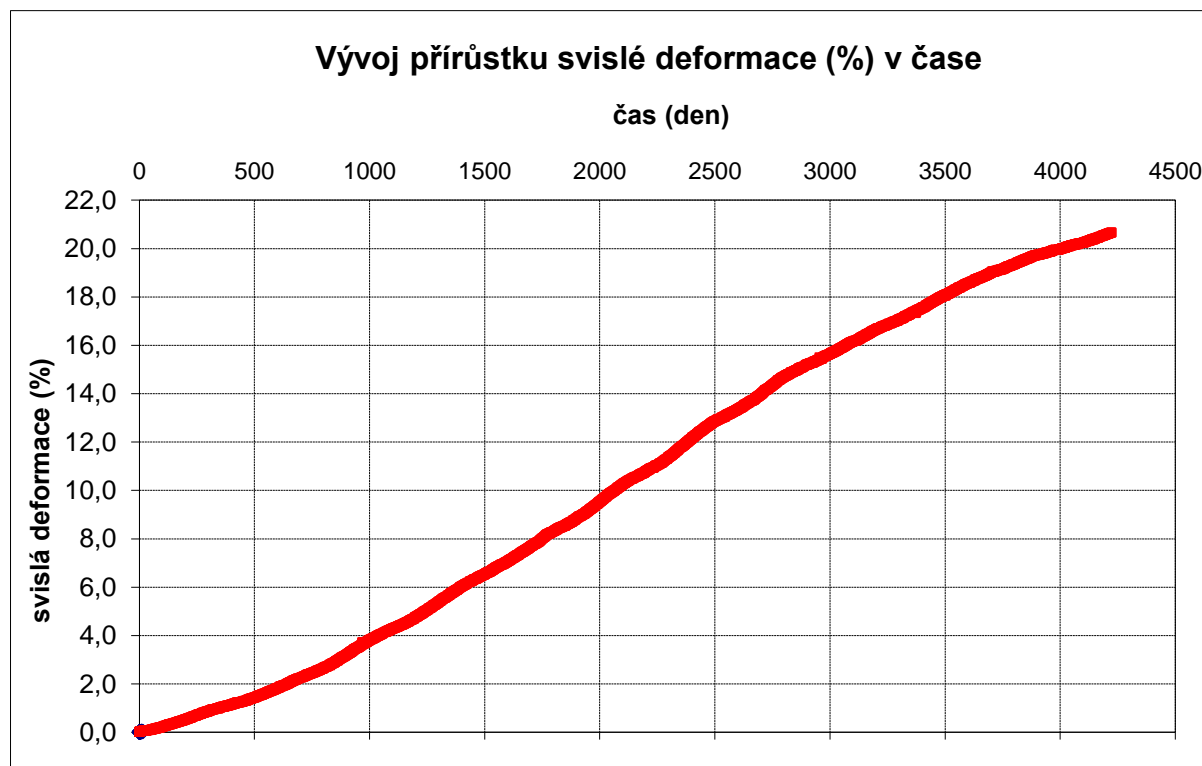
Experimentální zkoušky bobtnání (při teplotě 75°C)



Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

Materiály z výroby železa a oceli

Dlouhodobé zkoušky bobtnání (při teplotě 20°C)



Vývoj přírůstku vertikální deformace na vzorku studeného odvalu z dálnice D47 syceného vodou při teplotě 20 °C (období 30.1.2012-15.10.2023, 4276 dnů) – $L_s=20,7\%$. Vzorek byl odebrán 7 let od zabudování do konstrukce násypu.

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

49

Materiály z výroby železa a oceli

Projevy deformací



**Deformace vozovky
dálnice D47 v roce 2013
(po prvních opravách)**



**Deformace chodníku na
čerpací stanici u D47
před opravou v r. 2016**



**Dočasná oprava
vozovky na dálnici D47
(2019)**

Materiály z výroby železa a oceli

Projevy deformací



Pohled na vzorek studeného odvalu nahutněný energií 100% Proctor Standard při teplotě 75°C po 65 dnech



Pohled na vzorek ocelářské strusky (podloží TESCO Ostrava) při teplotě 75°C po 350 dnech bobtnání



Vzorek studeného odvalu zhutněný energií 100% Proctor Standard při teplotě 75 °C po 65 dnech

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

51

Materiály z výroby železa a oceli

Příklady použití vysokopecní a ocelářské strusky v zemním tělese



Silnice I/11 Jablunkov - obchvat - použití vysokopecní strusky z TŽ Třinec v aktivní zóně (2006)



Dálnice D47, stavba 4709.2 Bohumín – st.hr. ČR/PR, použití ocelářské strusky z TŽ Třinec v aktivní zóně (2010)



D56 – připojení na D48 (u FM) - použití vysokopecní strusky z AMO v sanační vrstvě po 10 letech zákazu (2019-2021)

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

52

Materiály z výroby železa a oceli

Poučení?

Hlavní chyby při používání ocelářské strusky a studeného odvalu na přelomu tisíciletí:

- Nebyla provedena analýza chování těchto materiálů z hlediska dlouhodobé stability.
- Vlastník těchto materiálů certifikoval tyto materiály jako výrobky a certifikáty nahradily požadované průkazní zkoušky. Certifikáty vydal TZUS s.p.
- Ztratila se obezřetnost ze strany investora i zhotovitelů.

Materiály z výroby železa a oceli

Poučení?

Doporučení:

- Nelze se spoléhat, že certifikáty reprezentují materiál na stavbě.
- Nelze zobecnit problém s okrajovým materiálem (studený odval) na všechny materiály z výroby železa a oceli, kdy více než 10 let trval zákaz používání těchto materiálů na stavbách ŘSD.
- Úspory na laboratorních zkouškách (protože “*nejsou nutné a jsou drahé*“) se mohou projevit velkými škodami a finančními ztrátami.
- Doporučujeme hledat konsensus, protože právní služby jsou velmi drahé.

Výzkum není sexy ve srovnání s právními spory trvajících déle než 12 let (Oficiální náklady na právní služby ze strany ŘSD – 14 mil Euro, náklady na výzkum – 0!!!).

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

54

Materiály z výroby neželezných kovů

Materiály z výroby neželezných kovů

Do skupiny materiálů z výroby neželezných kovů patří:

- Struska z výroby mědi
- Struska z výroby feromolybdenu
- Struska z výroby zinku
- Struska z výroby fosforu
- Struska z výroby olova
- Struska z výroby ferrochromu (slitiny železa a chromu)

Žádný z těchto materiálů není v ČR.

V případě strusek z výroby neželezných kovů mohou být zvýšené obsahy kovu, z jehož výroby konkrétní struska pochází.



Struska z výroby mědi
(Německo)

Materiály ze slévárenství

Materiály ze slévárenství

Do skupiny materiálů ze slévárenství patří:

- Slévárenský písek
- Slévárenská kupolová struska

Žádný z těchto materiálů se v ČR nepoužívá.

V případě použití materiálů ze slévárenství se doporučuje posoudit, zda tyto materiály vyhovují z hlediska požadavků Vyhl. 273/2021 Sb. Pozornost je nutné věnovat obsahu organických látek (především PAU), které mohly být součástí slévárenských forem, a ekotoxicitě.

Slévárenské písky jsou stejnozrnné, a proto jejich případné zabudování do násypu bude možné pouze do jádra násypu za hrázky (podobně jako u vedlejších energetických produktů), případně ve vrstevnatých násypech (podobně jako u násypu z váteho písku) (viz čl. 7.7.2 ČSN 73 6133).

Materiály ze slévárenství



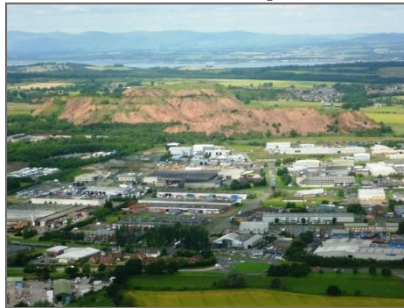
Slévárenský písek
v násypu (Francie) (foto
S. el-Bedoui)

Materiály z těžby a úpravy nerostných surovin

Materiály z těžby a úpravy nerostných surovin

Do skupiny materiálů z těžby a úpravy nerostných surovin patří:

- Prohořelá uhelná hlušina (červená uhelná břidlice)
- Neprohořelá uhelná hlušina (odpad z těžby černého uhlí, černá uhelná břidlice)
- Předupravená skrývka z lomů /dolů (včetně materiálů z těžby a úpravy rudních a nerudních surovin)
- Odpad z ropných břidlic – není v ČR (pouze Skotsko a Estonsko)



Odvaly odpadu po těžbě a zpracování hořlavých břidlic ve West Lothian's (Skotsko)

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

61

Materiály z těžby a úpravy nerostných surovin

Environmentální požadavky

Výluhy těžkých kovů (dtto VEP).

Posuzování radioaktivity materiálů ze skupiny těžebních a úpravnických materiálů v zemním tělese pozemních komunikací není relevantní.

Obsah organických látek (stanovených jako ztráta žíháním nebo TOC), stejně jako obsah spalitelných látek není pro stavby zemního tělesa pozemních komunikací limitován.

Výjimkou je ukládání neprohořelé uhelné hlušiny na termicky aktivní odval. Při výstavbě je nutné klást důraz na kvalitní zhutnění a snížení obsahu vzduchových pórů.

Předupravená skrývka z lomů musí splňovat všechna kritéria dle Vyhl. 273/2021 Sb.

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

62

Materiály z těžby a úpravy nerostných surovin

Hořící odvaly



Termicky aktivní odval Heřmanice v Ostravě

Prohořelá uhelná hlušina z odvalu Heřmanice →



Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

63

Materiály z těžby a úpravy nerostných surovin

Obsah organické hmoty

Obsah spalitelných látek v uhelné hlušíně byl po mnoho let stanovován ztrátou žíháním při teplotě $815^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, postupem podle ISO 1171 Tuhá paliva - Stanovení popela.

Pouze v České republice bylo kritérium obsahu spalitelných látek součástí normativní základny používané pro hodnocení uhelné hlušiny. V jiných evropských zemích, které využívají uhelnou hlušinu v silničním stavitelství (Velká Británie, Německo), se tyto zkoušky ke stanovení obsahu spalitelných látek metodou ztráty žíháním nepoužívaly. Dokonce, článek 7.2.2.5 britské normy BS 6543 uvádí, že toto stanovení je zavádějící.

Na základě rozsáhlé série komplexních zkoušek provedených společností SG Geotechnika a.s. bylo doporučeno zrušit kritérium obsahu spalitelných látek a přestat jej používat pro hodnocení vhodnosti uhelné hlušiny do násypů.

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

64

Materiály z těžby a úpravy nerostných surovin

Technické požadavky

Uhelná hlušina (prohořelá i neprohořelá) a předupravená skrývka z lomů nesmí obsahovat cizorodé částice – dřevo, pryž, plasty, aj. Kontrola odstranění cizorodých částic, případně akceptovatelné množství cizorodých částic, se provádí vizuálně.

Rozhodovacím kritériem použitelnosti je zrnitost a podíl částic nad 125 mm.

Neprohořelá uhelná hlušina se nesmí použít v aktivní zóně pozemních komunikací z důvodu malé odolnosti proti zmrazování a rozmrazování.

V zemním tělese se nesmí míchat jednotlivé materiály. Týká se především prohořelé a neprohořelé uhelné hlušiny.

Materiály z těžby a úpravy nerostných surovin

Příklady zabudování uhelné hlušiny na stavbách



Násyp dálnice D47
v místě bývalého
odkaliště Lhotka
(2004)



Dálnice D47 - násyp
v km 3,120 MÚK
Místecká (uhelná
hlušinová sypanina
z odvalu Paskov D)



Násyp silnice I/67
v Karviné (2021)

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

66

Materiály z těžby a úpravy nerostných surovin

Příklady zabudování lomové skrývky a materiálů z úpravy nerostných surovin



Výstavba násypu z lomové skrývky (lom Kajlovec 0/300) – Opava – spojka S1 (2010)



Skrývka v lomu Kotouč ve Štramberku na 6.etáži – střídání poloh vápenců a doprovodných hornin (použita do násypů na D48 Rybí – MÚK Rychaltice, 2019)



Zabudování jílovitých břidlic z lomu Jakubčovice n. Odrou do násypu na stavbě D48 Frýdek-Místek, obchvat, 1.etapa (05/2021)

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

67

Vytěžené přírodní materiály

Vytěžené přírodní materiály

Do skupiny vytěžených přírodních materiálů patří:

- Materiály z ražby tunelů ve tvrdých horninách tradičními metodami
- Materiály z ražby tunelů v tvrdých horninách metodou TBM
- Materiály z ražby tunelů v poloskalních horninách pod ochranou štítu z bentonitu (*slurry shield*) – není v ČR
- Materiály z ražby tunelů v poloskalních horninách metodou rovnováhy zemního tlaku (*earth pressure*) – není v ČR
- Materiál těžený z vody – jemnozrnný
- Materiál těžený z vody – hrubozrnný (hydraulické násypy viz ČSN EN 16907-6)
- Přírodní zeminy

Vytěžené přírodní zeminy jsou popisovány rovněž v TP 210.

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

69

Vytěžené přírodní materiály

Environmentální požadavky

Všechny vytěžené materiály musí splňovat požadavky Vyhl. 273/2021 Sb.

Upozorňujeme, že v některých přírodních horninách mohou být překročeny limitní obsahy některých ukazatelů (např. arsen v magmatitech). Pokud se jedná o přirozeně vysoké geochemické pozadí, lze uvedené materiály používat v násypech v prostředí s tímto zvýšeným obsahem.

Vysoké obsahy těžkých kovů mohou být zjištěny rovněž u materiálů těžených z vody. Jejich použití v zemních pracích je možné po stabilizaci pojivy a prokázání, že výsledná směs splňuje požadavky Vyhl. 273/2021 Sb.

V případě ražeb tunelů v metamorfovaných horninách, které mohou obsahovat vláknité minerály (azbest), musí být posouzena přítomnost těchto vláknitých minerálů. K identifikaci azbestových vláken ve vzorcích se používá optická mikroskopie.

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

70

Vytěžené přírodní materiály

Materiály z ražby tunelů ve tvrdých horninách tradičními metodami - věnovat pozornost velikosti úlomků a případně materiál upravit na jednotlivé zrnitostní frakce pro snadnější použití.

Materiály z ražby tunelů v tvrdých horninách metodou TBM - vytěžený materiál má převážně charakter hrubozrnné sypaniny. Doporučuje se odvodnit a upravit zrnitostní křivku.

Materiály z ražby tunelů v poloskalních horninách pod ochranou štítu z bentonitu (*slurry shield*) – doporučuje se odvodnit, oddělit bentonit, materiál má obvykle charakter písku

Materiály z ražby tunelů v poloskalních horninách metodou rovnováhy zemního tlaku (*earth pressure*) – jsou nasycené vodou a před jejich dalším použitím se musí odvodnit. Podíl pevné fáze tvoří cca 65-70%.

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

71

Vytěžené přírodní materiály



Materiál z ražby tunelu Malá Huba použitý do nově budovaného násypu železniční trati (06/2004)



Materiál z ražeb tunelů metodou TBM (metro, trasa A, Motol), 2006

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

72

Vytěžené přírodní materiály



Výstavba nové platformy v přístavu Nya Arendal v jižním Švédsku, kdy se pro úpravu kontaminovaných mořských sedimentů těžených z vody použily dvě směsi: směs cementu (54%), granulované vysokopeční strusky (24%) a popílku ze spalování hořlavých břidlic (22%) (z Estonska) v množství 150 kg/m^3 a směs cementu a granulované vysokopeční strusky (50:50) v dávkování 120 kg/m^3 .

Produkty spalování jiných materiálů

Produkty spalování jiných materiálů (než uhlí)

Do této skupiny materiálů patří:

- Popílek z papírenského kalu
- Popel ze spalování kalů z čistíren odpadních vod
- Popílek z biomasy
- Popílek z ropných břidlic – není v ČR (pouze Estonsko)

Uvedené materiály se v České republice nepoužívají ani experimentálně.



Halda popílku z hořlavých břidlic u města Kunda v Estonsku

Produkty spalování jiných materiálů

Okrajové podmínky používání popílků vzniklých z jiných zdrojů spalování vycházejí z chemického složení a podmínek při procesu spalování. Při vysokých obsazích organické hmoty se doporučuje přepálení nebo vitrifikace.

| Rizikový faktor | Projev rizika | Municipal incineration ash | Biomass ash | WPS ash | Sewage sludge ash | Oil shale ash |
|------------------------------|---|----------------------------|-------------|---------|-------------------|---------------|
| obsah těžkých kovů | nadlimitní výluhy | ano | ano | | ano | |
| obsah chloridů | nevhodný do cementu a betonu, korozivní účinky | ano | ano | | | |
| obsah síranů | náchylnost k bobtnání | | ano | | | |
| vysoký obsah organické hmoty | nízká pevnost v prostém tlaku (i ve směsi s portlandským slínkem) | ano | ano | | ano | |
| vysoký obsah volného vápna | náchylnost k bobtnání | ano | ano | | | ano |
| vysoká nasákavost | nízká odolnost proti účinkům mrazu | ano | | | | |

Produkty spalování jiných materiálů (než uhlí)



Zásyp za zárubní gabionovou zdí ze směsi popílků z papírenského kalu a papírenského kalu (70:30) ve Slovinsku (foto K. Fifer)



Stabilizace starých konstrukčních vrstev popílkem ze spalování hořlavých břidlic v úseku Narva – Mustajoe v Estonsku (foto M. Koivulahti)

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

77

Ostatní

Ostatní

Do této skupiny materiálů patří:

- Drcené sklo
- Cementárenské a vápenné odprašky
- Drcené pneumatiky
- Balíky pneumatik
- Energosádovec
- Průmyslový sádovec
- Okrajové materiály (místní zkušenost)

Ostatní

V České republice se uvedené materiály v zemních pracích zatím nepoužívají.

Možnosti využití drcených pneumatik a balíků pneumatik ve vylehčených násypech jsou podrobně popsány v TP 198.

Cementárenské a vápenné odprašky se používají jako složky při výrobě hydraulických silničních pojiv (např. pod obchodní značkou ViaCalco). Samostatně se v zemních pracích nepoužívají.

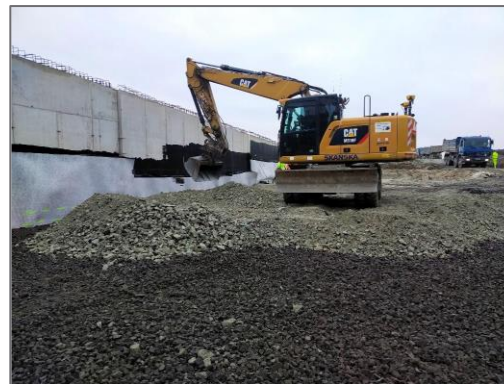
Energosádrovec se samostatně v zemních pracích nepoužívá. V minulosti býval součástí některých popílkových stabilizátů.

Průmyslový sádrovec s obchodním názvem PRESTAB (vedlejší produkt z výroby titanové běloby v Precheze Přerov a.s.) byl experimentálně zkoušen na zkušebních úsecích jako alternativa násypového materiálu pro stavby dálnic v okolí Přerova. Na stavbě však použitý nebyl.

Ostatní



Rozšíření násypu pomocí drceného skla M25 Widening DBFO Scheme (250000 m³) (2021, UK, foto Paul Nowak)



Pěnové sklo v přechodové oblasti mostu na Slovensku (2022) (foto. M. Lidmila)

Ostatní



Balíky pneumatik ve vylehčeném násypu silnice A421 ve Velké Británii (foto A. Kidd, 2008)



Drcené pneumatiky v jádru násypu, Pedrizas, Malaga, Španělsko (foto A. Parilla, 2018)

Ostatní



Poloprovozní zkoušení využití chemosádrovce PRESTAB ve směsi s popínkem a vápnem – zkušební úsek v Precheze Přerov (2004)

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

83

Závěry

Závěry

Alternativní materiály jsou dlouhodobě používány v zemních pracích. Na jedné straně máme historicky prověřené materiály s velkými zásobami (VEP, strusky, uhelná hlušina) a na druhé straně zatím exoticky vyhlížející materiály vázané pouze na několik lokalit v Evropě (odpad z hořlavých břidlic - Skotsko, Estonsko, popílek ze spalování hořlavých břidlic - Estonsko) a materiály, které nikdy nebudou představovat zásadní objemy v zemních pracích (recyklované sklo, odprašky, slévárenské písky, balíky pneumatik nebo drcené pneumatiky apod.).

Závěry

V důsledku smělých plánů rozvinutého světa (*Green deal, Fit-for-fifty-five*) bude docházet ke změně množství a rovněž struktury alternativních materiálů, které lze použít při zemních pracích. Příkladem je snížení výroby elektřiny z uhelných elektráren, což povede ke snížení množství VEP (produktů spalování uhlí). Proto budou předmětem diskuse i netradiční materiály pro Českou republiku. Jedná se především o produkty spalování komunálního odpadu nebo produkty ze spalování tuhých alternativních paliv (TAP). Na ně bude orientován velký výzkumný potenciál.

Česká republika, jakožto země s dlouhou tradicí používání alternativních materiálů, nemůže usnout na vavřínech. Bohaté zkušenosti snad budou základem pro další rozvoj v používání tradičních i méně tradičních materiálů

Závěry

Nedoporučované přístupy k alternativním materiálům:

- Ztráta obezřetnosti při používání alternativním materiálů (např. tzv. studený odval na Ostravsku) díky nekritickému přijímání certifikátů těchto velmi heterogenních materiálů. Ani investoři, ani zhotovitelé nebyli ochotni napadnout certifikáty vydané státní zkušebnou (TAZUS).
- Právní spor je zajímavější a více sexy a mediálně přitažlivější, než nudný vědecký výzkum (náklady na právníky u dálnice D47 přesáhly 500 mil. Kč, náklady na výzkum byly 0 Kč).
- Zákaz používání všech alternativních materiálů majících původ ve výrobě železa a oceli, protože zde byly poruchy na dálnici D47. Tento zákaz trval 10 let, než se podařilo další tyto materiály zabudovat. Důvody byly iracionální a logické argumenty nebyly přijímány.
- Dalším extrémem je snaha některých majitelů zdrojů alternativních materiálů na nich vydělat více než je zdravo, a přitom to nikdy nebude “zlatý důl“.

Alternativní materiály v zemních pracích na stavbách pozemních komunikací

87

Závěry

I přes některé z výše popsaných problémů jsou alternativní materiály již pevně zakotveny pro používání v zemních pracích. Nemůžeme usnout na vavřínech, ale neustále věnovat pozornost jejich vlastnostem, které mohou odrážet, některé změny technologie při jejich produkci (např. denitrifikace a demerkurizace produktů ze spalování uhlí apod.) a prohlubovat a vyměňovat si zkušenosti s jejich aplikacemi v různých oblastech zemních prací.

Nebojme se používání alternativních materiálů a věřme jim!

Děkuji Vám za pozornost!

