

ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ PRO STANOVENÍ PEVNOSTI V PROSTÉM TLAKU SMĚSÍ STMELENÝCH HYDRAULICKÝMI POJIVY, RESP. FLUIDNÍMI POPÍLKÝ, A ENVIRONMENTÁLNÍ ZHODNOCENÍ TÉTO HMOTY ■ TESTING EQUIPMENT FOR DETERMINING SOLIDNESS IN DIRECT PRESSURE OF HYDRAULICALLY BOUND CEMENT MIXTURES AS WELL AS FLUID ASH AND ENVIRONMENTAL EVALUATION OF THE SUBSTANCE

Pavel Rubáš, Denisa Trajkovská

Článek pojednává o využití popelů a popílků ze spalování uhlí ve fluidních kotlích, poukazuje na možnost zabudování tohoto materiálu do staveb pozemních komunikací a mimo ně, přičemž není negativně dotčeno životní prostředí. Mechanické vlastnosti v podobě pevnosti v prostém tlaku těchto stabilizovaných směsí a zkoušky hodnotící vliv na životní prostředí jsou v článku demonstrovány na konkrétním případě včetně celkového zhodnocení stabilizátu. ■ The article discusses the utilisation of ashes and flyashes from coal combustion in fluid boilers, and indicates the possibility of building this material into road constructions and outside road constructions, while the environment is not affected negatively. Mechanical properties in the form of plain pressure strength of these stabilised mixtures and tests evaluating the effect on the environment are demonstrated in the article on a specific example, including the overall evaluation of such stabilisate.

Směs stmelená hydraulickými pojivy je směs, která tvrdne v důsledku hydraulických, pucolánových či uhlíčitanových reakcí. Taková směs s dobře zvolenou recepturou dosahuje po smíchání s vodou vlivem hydratačních procesů po určité době zajímavých vlastností, zejména pevnosti v tlaku.

V současnosti jsou k výrobě takovýchto stmelovaných směsí (tzv. stabilizátů) využívány nejčastěji fluidní popely a popílký (rozdíl mezi nimi je na první pohled patrný v granulometrii). Tyto fluidní popely a popílký jsou tzv. vedlejšími energetickými produkty – jedná se o tuhé zbytky po spalování uhlí. Obsahují mj. vyšší podíl vápna, díky němuž vykazuje takový stabilizát právě po smíchání s vodou značné hydratační účinky a po zatvrdnutí má vlastnosti, které se dají přirovnat k tzv. chudému betonu.



Co se týče vlivu na životní prostředí, odvíjí se rozsah zkoušených ukazatelů vždy od zamýšleného užití stabilizátů, resp. od předpisů či vyhlášek platných pro dané místo uložení.

Stabilizáty se mohou používat jednak jako vrstva, která uzavírá skládky odpadů (taková vrstva je navíc těsnicí), jednak pro stavbu vozovek (podkladní a ochranné vrstvy, aktivní zóny) ve smyslu Technických podmínek MD ČR 93 (dále jen TP 93), dále ke stabilizaci zemin apod. Udává se, že pokud je stabilizát připravován ze směsi obsahující větší množství vápna (zhruba více než 3 %), je výsledný materiál nepropustný a odolává mrazu a vodě, což je jeho velkou výhodou.

Výčet variant, kde je možné stabilizovaný popílek využít, je opravdu značný a není cílem tohoto článku popsat veškeré možnosti využití, a tudíž testy související s vlivem na životní prostředí. V největším ročním objemu se stabilizáty, vzniklé jako směs s popílkem, užívají ke stavbám pozemních komunikací a mimo stavby pozemních komunikací pro zásypy a násypy území postižených antropogenní činností, kde je na každý z těchto dvou typů staveb nahlíženo z environmentálního hlediska jinak, čemuž bude věnována samostatná kapitola.

PEVNOST STABILIZÁTŮ V PROSTÉM TLAKU

Zkušební zařízení

Prezentované zkušební zařízení bylo vyrobeno na zakázku a slouží k výrobě válcových zkušebních těles stabilizátu. Těleso má průměr i výšku 50 mm, což jsou rozměry, které vyhovují normovým požadavkům ČSN EN 13286-53.

Zkušební zařízení (obr. 1) se skládá z:

- formy s danými rozměry, vč. přírub zátek a pístu,
- distančních dělených objímek (tři páry), které se používají během plnění formy směsí a hutnění, aby se minimalizovaly rozdíly objemové hmotnosti zkušebního tělesa.

Dále je třeba hutnicí lis a zkušební síto 11,2 mm podle ČSN EN 933-2.

K uvedenému zařízení byla navíc vyrobena speciální komůrka pro snadnější zachycení ztuhlého tělesa, které je v konečné fázi vytlačováno litem z formy.

Výroba zkušebních těles stabilizátu

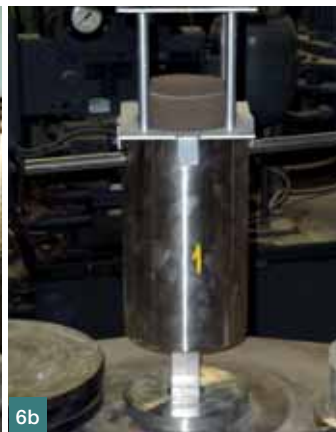
Směs je nutné prosít sítem 11,2 mm, neboť ke zkouškám se použije pouze materiál, který propadl daným sítem.

Spočítá se hmotnost směsi, která je požadována pro vložení do formy:

Obr. 1 Zkušební zařízení
Fig. 1 Testing equipment

Obr. 2 Homogenizace směsi
Fig. 2 Homogenisation of mixture

Obr. 3 Sypání zhomogenizované směsi do formy
Fig. 3 Pouring the homogenised mixture into a mould



Obr. 4 Dusání směsi
Fig. 4 Ramming mixture

Obr. 5 Výměna objímek
Fig. 5 Replacement of sleeves

Obr. 6 Vytlačování zkušební tělesa z válcové formy
Fig. 6 Pressing out the test body from the cylinder mould

Obr. 7 Uložení tělesa v polyetylenovém sáčku v laboratorním prostředí
Fig. 7 Storing the body in a polyethylene sack in the laboratory environment



$$m = V * \rho_d \left[1 + \frac{w}{100} \right],$$

kde m je hmotnost směsi, která se vloží do formy [g]; V objem zkušební tělesa [cm³]; ρ_d je suchá objemová hmotnost zkušební tělesa [g/cm³] a w je vlhkost suché hmotnosti směsi [%].

Směs se naváží, dokonale zhomogenizuje, přidá se příslušné množství vody a opět se dokonale zhomogenizuje (obr. 2).

Pár širších distančních objímek se vloží mezi přírubu spodní zátky a válec formy a veškerá zhomogenizovaná směs se pomalu vsype do formy, přičemž se během tohoto úkonu směs lehce a stejnorodě udusá (obr. 3 a 4).

Forma se zaklapne svrchní zátkou a pár širších distančních objímek se vymění za objímky užší. Forma se umístí mezi tlačné plochy lisu a ten se

spustí. Poté na formu působí co možná nejmenší plynulý tlak až do okamžiku, kdy se píst svrchní zátky zcela zasune do formy. V okamžiku, kdy se příruba horního pístu svrchní zátky dotkne válce formy, se tlak uvolní a pár užších distančních objímek se vymění za objímky nejužší (obr. 5).

Na horní zátku se obnoví tlak, který musí působit alespoň 10 s, do doby, než se spodní píst zcela zasune. Poté se vyjme pár nejužších objímek a tlak se nechá působit dalších alespoň 10 s poté, co se příruba zcela dotkne válce formy.

Po dokončení hutnění se zátka sejmou a nastává fáze, kdy se těleso z válcové formy vytlačí pomocí plunžrového pístu a eventuálně komůrky (obr. 6). Tělesa se zvaží a po stanovenou dobu se skladují ve svislé poloze v laboratorním prostředí s minimální ztrátou vlhkosti (obr. 7).

Stanovení pevnosti v tlaku

Pevnost stabilizátů v tlaku se zkouší dle ČSN EN 13286-41. Po stanovené době uložení (většinou po 28 d) se tělesa zvaží, změří se rozměry, z povrchu tělesa se otre přebytečná voda a odstraní se event. cizorodý materiál, který by mohl ovlivnit výslednou pevnostní zkoušku.

Očištěné těleso se vloží mezi tlačné desky lisu, spustí se plynulé zatěžování takovou rychlostí, aby k porušení tělesa došlo mezi 30 a 60 s po započatí zatěžování. Aby bylo možné zkoušku vyhodnotit, musí být porušení dle normy uspokojivé (obr. 8).

Pevnost v tlaku je dána vzorcem:

$$R_c = \frac{F}{A_c},$$

kde R_c je pevnost v tlaku zkušební tělesa ze směsi stmelené hydraulickým pojivem [MPa]; F je maximální síla při porušení zkušební tělesa [N],



a A_c je plocha průřezu zkušební tělesa [mm²].

ENVIRONMENTÁLNÍ HODNOCENÍ STABILIZÁTŮ

Vzhledem k legislativním změnám, které se odehrály v průběhu uplynulého období, producenti vedlejších energetických produktů, kteří chtěli tyto produkty zaregistrovat jako chemickou látku se známými vlastnostmi z důvodu možnosti jejich dalšího využití, a tudíž vyjmouti těchto látek z režimu odpadu, nechali látky vyzkoušet a následně registrovat jako vedlejší energetické produkty podle Nařízení (ES) č. 1907/2006 (dále jen REACH).

Ze zkoušek, které byly provedeny podle daných metodik OECD na živých drobných organismech a obratlovcích, bylo prokázáno, že vedlejší energetické produkty, registrované jako chemické látky, nemají žádné nebezpečné vlastnosti.

Pro zajímavost uvádíme, že úletový a ložový popílek z fluidního spalování uhlí je zaregistrován jako chemická látka FBC Ash.

V případě užití stabilizátů do staveb pozemních komunikací, které jsou složeny z popelů a popílků, se na tyto materiály nahlíží ve smyslu TP 93, kde je jasně uvedeno, že ekologická vhodnost tohoto materiálu se posuzuje podle chemických vlastností výluhu, podle REACH a podle mezní hodnoty hmotnostní aktivity ²²⁶Ra, přičemž se obsah škodlivin v sušině a ekotoxicita u popílkových stabilizátů neposuzuje.

Co se týče chemických vlastností výluhu, který se připravuje dle ČSN EN 12457/1-4, jsou mezní hodnoty vyluhovatelných látek, které nesmí být překročeny, uvedeny v tab. 4 ve sloupcích 1 a 3.

Mezní hodnota hmotnostní aktivity ²²⁶Ra nesmí podle vyhlášky 499/2005 Sb. překročit hodnotu 1 000 Bq/kg

a směrná hodnota obsahu přírodních radionuklidů vyjádřená jako index hmotnostní aktivity I musí být ≤ 2 .

Pokud jsou stabilizáty využívány mimo stavby pozemních komunikací pro záস্যy a násypy do území postižených antropogenní činností (území, na kterém jsou obsahy sledovaných kontaminantů v důsledku dřívější nebo aktuální lidské činnosti oproti přírodnímu prostředí zvýšené), nahlíží se na vedlejší energetické produkty, tudíž i na popely a popílků, ze kterých se stabilizáty skládají, z ekologického hlediska jako na materiály, u kterých je také třeba registrace REACH. Na výsledném stabilizátu se pak ještě provede výluh (tab. 1), který je uvedený v technických podmínkách Optimalizovaný postup při posuzování shody výrobků (dále jen TP – Optimalizovaný postup), zkouška inhibičního účinku na světelnou emisi *Vibrio fischeri* a zkouška hmotnostní aktivity ²²⁶Ra.

Přesné limitní hodnoty výluhu jsou stanoveny osobou způsobilou v oboru geologie a hydrogeologie, která po prozkoumání a monitoringu zamýšleného místa uložení vydá na základě shromážděných potřebných podkladů hydrogeologický posudek právě na onu konkrétní lokalitu. Tímto se ke každému místu, do kterého bude trvale zabudován výrobek složený z popelovin, přistupuje individuálně a na základě zhodnocení lokality je tím posuzováno, zda konkrétní výrobek nemůže svými vlastnostmi pozadit životního prostředí v daném místě ublížit.

Pro ověření ekotoxicity výrobku, který byl vyroben z chemické látky dle nařízení REACH, se doporučuje provádět stanovení inhibičního účinku na světelnou emisi *Vibrio fischeri* (zkouška s luminescenčními bakteriemi) podle normy ČSN EN ISO 11348-2.

Mezní hodnoty hmotnostní aktivity ²²⁶Ra a indexu hmotnostní aktivity jsou totožné s užitím stabilizátu do staveb pozemních komunikací.

PRAKTICKÝ PŘÍPAD

Pro uvedené zkoušky byl namíchán stabilizát, který se skládal z fluidního úletového popílku, ložového popela a říční vody (tab. 2) upravené neutralizační čířením a koncovou pískovou filtrací, která tímto vyhovuje požadavkům normy ČSN EN 1008, Záměsová voda do betonu.

Po namíchání směsi a výrobě zkušebních těles dle ČSN EN 13286-53 byl stabilizát ponechán v požadovaných normových podmínkách k zrání.

Po této době byla zkoušena pevnost tří vyzrálých těles dle ČSN EN 13286-41. Výsledky zkoušek jsou uvedeny v tab. 3.

Válcová zkušební tělesa ze stabilizátu byla před pevnostními zkouškami celistvá, hladká a bez viditelných trhlinek. Dle výsledků je patrné, že zkoušený materiál vykazuje vskutku zajímavou pevnost v tlaku, což je dáno právě vhodně zvolenou recepturou vstupních materiálů.

Výluh pro zkoušky dle TP 93 se připravuje loužením vzorku s vodou v poměru 1:10 podle normy ČSN EN 12457/1-4.

Jak ukazuje tab. 4, vlivem stabilizace popelů jsou zjištěné hodnoty vyloužených prvků relativně dosti nízké a pro stavbu pozemních komunikací vyhovující.

V případě užití prezentovaného stabilizátu do staveb mimo pozemní komunikace pro záস্যy a násypy do území postižených antropogenní činností byl na tomto materiálu proveden výluh v rozsahu prvků uvedených v TP – optimalizovaný postup, resp. byly provedeny navíc zkoušky prvků Al, B, Mo, Sb, hodnoty pH, vodivosti a DOC (tab. 5).

Pro zkoušky inhibičního účinku na světelnou emisi *Vibrio fischeri* dle zkušební normy ČSN EN ISO 11348-2 bylo pH upraveno v rozmezí 6 až 8, výsledkem této ekotoxicity bylo stanovení: negativní, jelikož byla zjištěna inhibice bioluminescence menší než 10 %.

Obr. 8 Příklady uspokojivého porušení zkušební tělesa ■ Fig. 8 Examples of satisfactory breaching of the test body

Tab. 1 Sledované parametry výluhu ■ Tab. 1 Monitored extract parameters

Ukazatel	Jednotka
hodnota pH	[-]
Vodivost	[mS/m]
Al	[µg/l]
As	
B	
Ba	
Cd	
Co	
Cr	
Cu	
Hg	
Mo	
Ni	
Pb	
Sb	
Se	
Sn	
V	
Zn	
DOC (rozpuštěný organický uhlík)	[mg/l]

Tab. 2 Složení zkušebního stabilizátu ■ Tab. 2 Ingredients of the test stabiliser

Vstupní složka	hm. [%]
Fluidní úletový popílek	54
Fluidní ložový popel	22
Záměsová voda	24

Tab. 3 Pevnostní zkoušky stabilizátu ■ Tab. 3 Solidness tests of the stabiliser

Vzorek číslo	Hmotnost tělesa [g]	Výška tělesa [mm]	Průměr tělesa [mm]	Max. zatížení [kN]	Způsob porušení	Výsledná pevnost v tlaku [MPa]
1	975	110,2	101,4	7,4	uspokojivý	0,9
2	1 190	110,9	100,8	9,2	uspokojivý	1,2
3	1 025	111	100,9	9,3	uspokojivý	1,2

Tab. 4 Výluh dle TP 93 ■ Tab. 4 Extract based on Condition 93

Ukazatel	Zjištěná hodnota [mg/l]	Nejvyšší přípustné množství [mg/l]	Vyhodnocení
As	<0,0058	0,1	vyhovuje
Ba	<0,0006	1	vyhovuje
Be	0,152	0,005	vyhovuje
Pb	0,001	0,1	vyhovuje
Cd	<0,0009	0,005	vyhovuje
Cr celkový	0,0786	0,1	vyhovuje
Co	<0,0009	0,1	vyhovuje
Cu	<0,0012	1	vyhovuje
Ni	0,0005	0,1	vyhovuje
Hg	<0,0049	0,005	vyhovuje
Se	<0,006	0,05	vyhovuje
Ag	<0,0017	0,1	vyhovuje
V	0,0862	0,2	vyhovuje
Zn	<0,002	3	vyhovuje
Sn	<0,01	1	vyhovuje

Tab. 5 Dodatečné zkoušky pro výluh dle TP – optimalizovaný postup ■ Tab. 5 Additional tests for the extract based on Condition 93 – optimised approach

Ukazatel	Zjištěná hodnota
hodnota pH [-]	8,8
Vodivost [mS/m]	101
Al [µg/l]	187
B [µg/l]	790
Mo [µg/l]	105
Sb [µg/l]	2,53
DOC (rozpuštěný organický uhlík) [mg/l]	< 3

Tab. 6 Obsah přírodního radionuklidu ²²⁶Ra ■ Tab. 6 Contents of natural radionuclide ²²⁶Ra

Přírodní radionuklid	Naměřená hmotnostní aktivita [Bq/kg]	Index hmotnostní aktivity
²²⁶ Ra	30 ± 4	0, 4 ± 0,07

Aby mohl být na vzorku změřen obsah přírodního radionuklidu ²²⁶Ra, bylo nutné vzorek nadrtit. Vzorek byl vsypán do standardní Marinelliho nádoby a měření probíhalo po ustálení radioaktivní rovnováhy.

Výsledky obsahu hmotnostní aktivity ²²⁶Ra a indexu hmotnostní aktivity jsou znázorněny v tab. 6.

Výsledkem je informace, že hodnota hmotnostní aktivity vzorku nepřekračuje mezní hodnotu 1 000 Bq/kg a index hmotnostní aktivity nepřekračuje směrnou hodnotu 2 stanovenou vyhláškou 499/2005 Sb.

ZÁVĚREM

Použití stabilizátů ve stavebnictví je velmi přínosné, protože je možné při jejich výrobě využít druhotných surovin. Díky vhodně zvolené receptuře dosahují stabilizáty složené z fluidních popílků a popelů, event. dalších komponent, velmi příznivých vlastností a jejich využití ve stavebnictví je široké. Konečné vlastnosti stabilizátu závisí na chemickém složení vstupních surovin.

Dle výsledků, které mají sloužit k de-

monstraci vlastností stabilizátů složených z fluidních popelů a popílků, bylo dokázáno, že lze tyto materiály užít konkrétně pro záস্যы a násypy do staveb pozemních komunikací a pro záস্যы a násypy mimo stavby pozemních komunikací do území postižených antropogenní činností. Ve druhém případě je třeba na základě podkladů (projektu, znalosti lokality) zvážit vhodnost zabudování toho daného materiálu se specifickými vlastnostmi do konkrétního místa/stavby.

Ing. Pavel Rubáš, Ph.D.
e-mail: rubas@tzus.cz



Ing. Denisa Trajkovská
e-mail: trajkovska@tzus.cz



oba: TZUS Praha, s. p.
pobočka Teplice
tel.: 417 537 382

Text článku byl posouzen odbornými lektory.

Užité podklady:

- [1] ČSN EN 13286-41. Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 41: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelených hydraulickými pojivy
- [2] ČSN EN 13286-53. Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 53: Metody pro výrobu zkušebních těles pomocí osového tlaku
- [3] TP 93 (Technické podmínky) Návrh a provádění staveb pozemních komunikací s využitím popílků a popelů, ARCADIS – Geotechnika, a. s., 2011 (Schváleno MD)
- [4] Optimalizovaný postup při posuzování shody výrobků, které jsou cíleně používány pro sanaci a tvarování terénu pro budoucí rekultivaci území postižených antropogenní činností ve formě podkladu pro zpracování Technického návodu pro činnost autorizovaných osob při posuzování shody stavebních výrobků podle NV č. 163/2002 Sb., ve znění NV č. 312/2005 Sb. č. TN 09.12, Asociace pro využití energetických produktů, červen 2012
- [5] Nařízení Evropského Parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006, o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek a o zřízení Evropské agentury pro chemické látky.
- [6] Vyhláška 499/2005 Sb., kterou se mění vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně