

Příklady využití vedlejších energetických produktů v zemních konstrukcích a vliv kvality vodných výluhů na jejich uplatnění

*Mgr. Václav Mráz, Ph.D. (vaclav.mraz@fsv.cvut.cz), ČVUT v Praze, Fakulta stavební,
Katedra železničních staveb*

Mgr., Ing. Martin Havlice, Ph.D., Ochrana podzemních vod, s.r.o.

Ing. Jan Suda, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra silničních staveb

Zemní konstrukcí rozumíme konstrukci, kde základním konstrukčním materiálem je zemina/hornina, a to jak bez zlepšení geomechanických vlastností, tak s jejich zlepšením. Zemní konstrukce vyžadují zpracování velkého objemu materiálu, a proto je vyvíjena snaha nalézt vhodnou náhradu za tradičně používané materiály, což je i v souladu se surovinovou politikou státu. Jako jedna z možností se ukazuje využití některých tuhých produktů po spalování uhlí, které jsou označovány jako vedlejší energetické produkty (tzv. VEP). Mezi ně řadíme mj. různé druhy popílků, strusku, škváru, ložový popel, energosádrovec.

Předpokladem pro jejich větší uplatnění v budoucnu je aplikace při výstavbě a modernizaci dopravní infrastruktury (silnice, železnice) a při výstavbě protipovodňových hrází v rámci vodohospodářských opatření proti záplavám. Největší podíl využití VEP tak připadá na stavby dopravní a vodohospodářské. Další možností aplikace je zakrytí skládek komunálního odpadu při jejich konečné rekultivaci.

Aplikace popílku v zemních konstrukcích může přinést některá rizika. Při kontaktu s vodou (srážková, podzemní) dochází k tvorbě výluhů obsahujících v závislosti na typu VEP mj. těžké a toxické kovy, což limituje využití některých vedlejších surovin. U již bezproblémově využívaných produktů může nastat změna kvality výluhů při úpravě spalovacího procesu, jaká se v následujících letech chystá.

Příspěvek ukazuje některé případy aplikace VEP a shrnuje dosavadní výsledky jejich využívání v zemních konstrukcích v ČR.

Klíčová slova: vedlejší energetické produkty, popílek, fluidní ložový popel, fluidní filtrový popílek, struska, zemní konstrukce, objemová stálost, ettringit, snižování NO_x, výluhy, těžké a toxické kovy, amoniak, podzemní voda

Úvod

Tuhé produkty po spalování uhlí jsou obvykle kvalifikovány jako odpady. Lze však tyto obtížně uplatnitelné materiály použít jako druhotné suroviny. Mezi vedlejší energetické produkty (dále jen VEP) pocházející z technologií spalování a odsíření, užívaných v elektrárnách a teplárnách, řadíme mj. různé druhy popílků, strusku, škváru, ložový popel, nebo energosádrovec. V České republice se vyprodukuje každý rok okolo 15 mil. tun vedlejších energetických produktů. Z této produkce je pouze 20-30 % využito ve stavebnictví. Většina produktů je deponována nebo použita k zavážení vytěžených prostor po důlní činnosti [Fečko, 2005]. V rámci uplatnitelnosti v zemních konstrukcích dopravních staveb se často používají VEP upravené ve směsi s pojivem (vápnem nebo cementem) a vodou. Tyto upravené VEP označujeme jako popílkové stabilizáty. Popílkový stabilizát lze vyrobit i zvlhčením směsi fluidních popílků případně ložového popela [Kresta, 2012].

Použití popílkových stabilizátů pro stavbu zemních konstrukcí přináší zásadní problémy spojené s objemovými změnami. Při dlouhodobém kontaktu, zejména fluidních popílků s vodou, vznikají novotvořené sekundární minerály, především ettringit ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 26(\text{H}_2\text{O})$) a Ca karbonáty, které mohou být příčinou objemové nestálosti, což může vést až k následným poruchám konstrukčních vrstev dopravních staveb. Dalším rizikovým faktorem použití popílkových stabilizátů v zemních konstrukcích je jejich relativně malá odolnost při cyklickém zmrazování.

Dalším rizikem mohou být nevyhovující environmentální parametry, kdy při kontaktu s vodou (srážková, podzemní) dochází k tvorbě výluhů obsahujících v závislosti na typu VEP mj. těžké a toxické kovy. U již bezproblémově využívaných produktů může nastat změna kvality výluhů při úpravě spalovacího procesu v souvislosti s redukcí emisí oxidů dusíku pomocí metody selektivní nekatalytické redukce (SNCR), případně selektivní katalytické redukce (SCR).

Vzhledem k množství spotřeby materiálu se ukazuje největší potenciál využití VEP při výstavbě a modernizaci dopravní infrastruktury (silnice, železnice) a při výstavbě protipovodňových hrází v rámci vodohospodářských opatření proti záplavám. Příspěvek ukazuje některé případy aplikace VEP, shrnuje dosavadní výsledky jejich využívání v zemních konstrukcích v ČR a přibližuje možný dopad na jejich použití v souvislosti se změnou spalovacího procesu pomocí SNCR.

Vlastnosti VEP

Pro vlastnosti VEP jsou určující především vlastnosti uhlí, z kterého VEP vznikají, ale také teplota a podmínky spalování uhlí a způsob odlučování popílku ze spalin. Teplota spalování je přitom vázána na technické parametry spalovacího zařízení, přičemž podmiňuje vznik různých minerálních produktů. Jednotlivé druhy VEP se liší chemickým, mineralogickým i granulometrickým složením, což ovlivňuje jejich použití.

Z technologií spalování a odsíření užívaných v elektrárnách a teplárnách v ČR vznikají níže uvedené VEP:

- při mokré vápencové vypírce: škvára (v případě roštových kotlů), struska (v případě granulačních kotlů), popelové frakce a energosádrovec;
- při polosuché absorpční metodě: škvára (v případě roštových kotlů), struska (v případě granulačních kotlů), popelové frakce a produkt odsíření;
- při fluidním spalování: filtrový popel, ložový popel a v menší míře popel z cyklonů.

VEP patří k lehkým stavebním hmotám. Suchá objemová hmotnost dosahuje $650-900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Dobře zhutněný VEP s optimální vlhkostí (20–35 %) dosahuje objemové hmotnosti $1\ 100-1\ 200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Možnosti aplikace VEP a příklady využití v zemních konstrukcích v České republice

V České republice se uskutečnilo několik zkušebních úseků a staveb zemních konstrukcí dopravních staveb, kde se aplikovaly popílkové stabilizáty [Mráz 2014, Pospíšil 2004, Lány 2009]. U některých případech docházelo po uvedení do provozu nebo po několika zimních obdobích k vývoji poruch konstrukce vozovky. V jiných případech nebyly vykazány žádné poruchy.

Silniční stavby

Jako příklad z oblasti silničních konstrukcí je uvedena stavba výcvikového polygonu (škola smyku) Most (viz obr. 1), u které došlo k poruchám ve spojitosti s použitím a zabudováním popílkového stabilizátu do tělesa násypu. Jedná se o ukázkou nepovedené aplikace. Použití popílkového stabilizátu v kombinaci s nedostatečným odvodněním celého území a nevhodným způsobem pokládky je v tomto případě zcela neodpovídající. Na zpevněných plochách polygonu docházelo ke zdvihům povrchu vozovky s netuhým krytem. Velikost zdvihu dosahovala v kritickém zimním období až cca 3 cm. V letním období k těmto zdvihům nedocházelo.

Zemní pláň byla vyspádována střechovitě, nestandardně ve sklonu pouze 1,0 %, k drenážním žlabům podél vozovky a cvičných ploch. Dále zcela chybělo povrchové odvodnění přilehlých nezpevněných ploch podél komunikací a cvičných ploch, které by odváděly srážkovou vodu a rozstříkávanou vodu při výcviku na cvičném povrchu zkrápěných ploch. To patrně vedlo k degradaci podkladní vrstvy a vlivem promrzání (počet mrazových dnů s teplotou pod $0,1^\circ\text{C}$ cca 100 dní v roce) k nadzdvihnutí konstrukční vrstvy vozovky a tím v období jarního tání k celkovému snížení únosnosti vozovky. Dle inženýrsko-geologických průzkumů se v podloží vyskytovaly „zbytkové zvodnění, vázané na kolektory lokálních výskytů štěrkopísků, písků a uhelných zbytků“, respektive materiály byly nehomogenní, nestabilní a nebyly zde ještě zcela ukončené konsolidační procesy.



Obr. 1: Polygon most - zdvih povrchu vozovky vzhledem k odvodňovacím prvkům

Konstrukce zpevněných ploch byla vybudována na zemním tělese z popílkového stabilizátu (aditivovaný granulát pro stavební výrobu). Ten nahradil nevhodnou zeminu až do mocnosti cca 1,0 m. Konstrukce vozovky byla adekvátní dopravnímu zatížení a využití ploch. Pokládka popílkového stabilizátu byla prováděna ze tří zdrojů (popílků pocházející z mokré vápencové vypírky a popílků z fluidního spalování hnědého uhlí), a to i v ten samý den.

Ze stavebních deníků vyplynulo, že v rámci pokládky docházelo ke změně vlhkosti materiálu a jeho nedokonalému zhutnění, které neodpovídalo zhutňovacímu pokusu provedenému na každém materiálu zvlášť. Ze zápisů ve stavebním deníku není jasné, jaká hutnící technika byla použita.

Jak je patrné z fotodokumentace u vrstvy ze stabilizátu nedošlo po jeho položení k jeho řádnému vytvrdnutí, přičemž odebraný stabilizát z jádrových vývrtů měl kašovitý charakter s velkým množstvím vázané vody. Vlhkost vzorkům se pohybovala v intervalu 21 - 67 % hm., přičemž na vlhkost mělo vliv samotné umístění vývrtu vzhledem k zavlažovací technologii.

Vzhledem k charakteru vývrtů (viz obrázek 2) popílkového stabilizátu lze konstatovat, že nemohly být dodrženy pevnostní parametry, které byly předepsané pro popílkový stabilizát.

Opakované vlivy vody ve vrstvě popílků budou patrně způsobovat krystalizaci nežádoucích sekundárních minerálů, vrstva z popílkového stabilizátu bude nadále ztrácet svou kompaktnost a únosnost [Luxemburk, 2010].



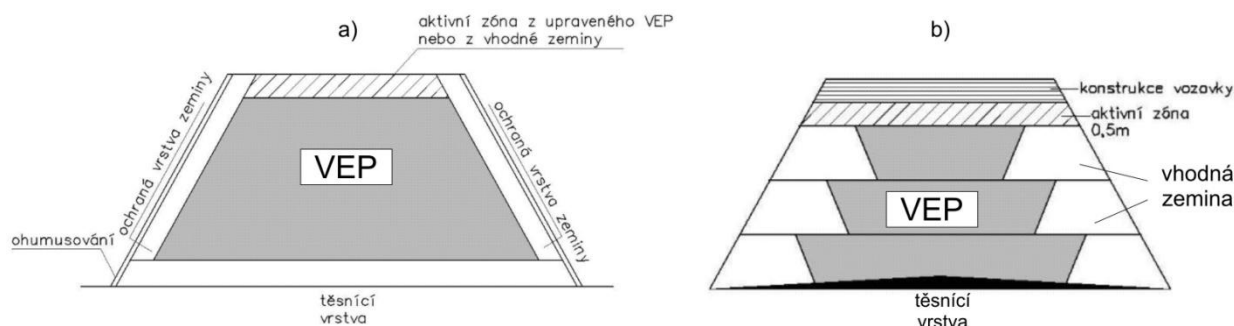
Obr. 2: Jádrový vývrt v povrchu vozovky na polygonu Most

Odebrané vzorky popílkového stabilizátu byly posouzeny z hlediska výskytu a vzniku novotvořených sekundárních minerálů rentgenovou spektrální mikroanalýzou. Téměř všechny porézní struktury popílkového stabilizátu byly vyplněny sekundární mineralizací, především ettringitem [Kopecký, 2007].

Vodohospodářské stavby (hráze)

Použitím VEP do zemních konstrukcí vodohospodářských staveb lze dosáhnout jejich výrazné zlevnění. Z dosavadních zkušeností aplikovaných VEP na stavbách v ČR vyplývá, že geotechnické vlastnosti mohou být v porovnání se zeminou lepší zejména v případě smykové pevnosti, pevnosti v prostém tlaku a také v celkovém sedání koruny hráze. Výhodou VEP je také možnost ukládání i za nízkých teplot. Aplikace VEP umožňuje budování ochranných sypaných hrází v lokalitách s horší únosností podloží, což bývá časté v záplavových územích, kde pokryv tvoří často měkké jemnozrné fluvialní náplavy [Havlice, 2014].

Popílkové stabilizáty, případně další druhy VEP lze využít v ochranných hrázích několika způsoby (obr. 3). Alternativní materiál může tvořit homogenní těleso hráze s ochrannými bočními přísypy (protipovodňové hráze Vrды), kde ztuhlý VEP zajišťuje stabilizační i těsnící funkci, nebo může sloužit jako těsnící jádro hráze (protipovodňové hráze Pardubice), případně je VEP využit pouze do podkladní vrstvy konstrukčních vrstev vozovky (Vrbno u Mělníka). Zemní ochranné boční přísypy jsou nutné pro ochranu popílkového materiálu před přímým kontaktem s vodou, kdy snadno podléhá erozi.



Obr. 3: Možnost aplikace VEP v ochranných hrázích včetně konstrukce vozovky na koruně hráze

V Pardubicích byla úspěšně použita konstrukce hráze, kde jádro hráze s těsnící funkcí tvořil VEP z blízké elektrárny Opatovice. Po koruně dokončené hráze je vedena asfaltová vozovka. Jádro hráze je chráněno bočními přísypy. Množství uloženého popílkového stabilizátu činilo 52 500 tun (obr. 4).



Obr. 4: Protipovodňová ochranná hráz s cyklostezkou s využitím VEP v Pardubicích v průběhu výstavby a po dokončení (foto Elektrárna Opatovice, 2014).

Po předchozích zkušenostech se zaplavením zastavěného území obce Vrды poblíž Čáslavi byla v roce 2012 vybudována ochranná hráz, jejíž těleso je tvořeno popílkovým stabilizátem (obr. 5). Do hráze bylo použito 2 000 tun popílkového stabilizátu. V roce 2013 ochranná hráz úspěšně obstála při rozliti říčky Doubravy a ochránila tak obec před povodní.

Limitujícím faktorem pro použití některých typů VEP je relativně malá odolnost při opakovaném kontaktu s vodou a mrazem a vykazování objemových změn. Poruchy staveb často pramení z neodhalení těchto vlastností z důvodu zanedbání provádění požadovaných laboratorních zkoušek. Ojedinele se objevuje problém možnosti vyluhování toxických látek, jako jsou těžké kovy.

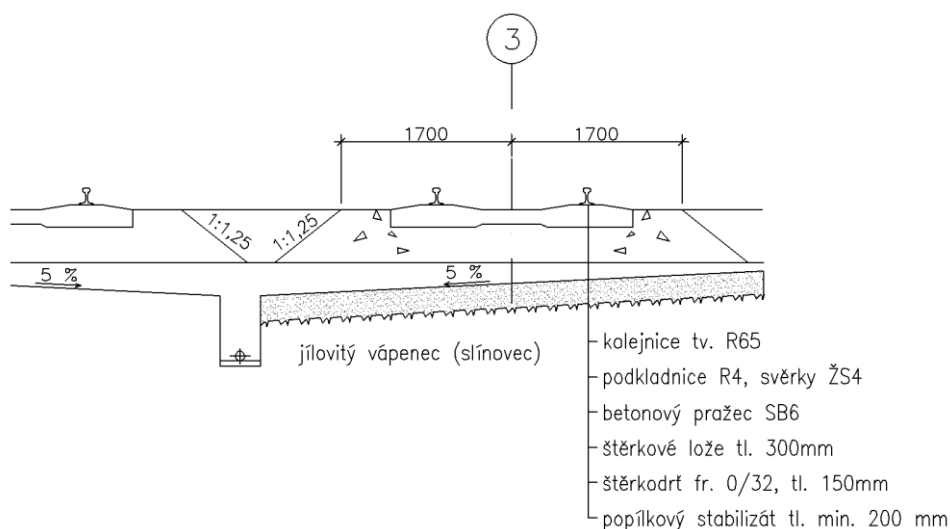
Využívání VEP do zemních konstrukcí vodohospodářských staveb při splnění geotechnických a dalších požadovaných vlastností lze doporučit. Důraz však musí být kladen na kvalitu provedení, která musí vycházet z laboratorních zkoušek konkrétního používaného materiálu, případně z měření in situ na zkušebních úsecích.



Obr. 5: Vrdy - výstavba ochranné hráze s využitím VEP (foto Elektrárna Opatovice, 2014).

Železniční stavby

Pro ověření použití popílku v železničním stavitelství byl proveden na Katedře železničních staveb, Fakulty stavební ČVUT v Praze experimentální výzkum s použitím popílkového stabilizátu z Elektrárny Chvaletice do konstrukční vrstvy pražcového podloží. První skupinou výsledků jsou výsledky laboratorních zkoušek, které umožnily dostatečně posoudit zda „nový“ materiál (popílkový stabilizát) má potenciálně vhodné vlastnosti pro aplikaci do konstrukce pražcového podloží. Výsledky potvrdily kladnou hypotézu a definovaly první okrajové požadavky na vlastnosti popílkového stabilizátu z Elektrárny Chvaletice. Druhou skupinou výsledků jsou výsledky laboratorně-poloprovozního modelování chování konstrukční vrstvy z popílkového stabilizátu. Dosažené výsledky laboratorně-poloprovozního modelování byly podkladem pro realizaci zkušebního úseku v délce 330 m v železniční stanici Smiřice na trati Pardubice - Liberec.



Obr. 6: Schéma příčného řezu s konstrukční vrstvou z popílkového stabilizátu v žst. Smiřice (Lidmila, 2015)

Cílem dlouhodobého sledování konstrukční vrstvy z popílkového stabilizátu ve zkušebním úseku v železniční stanici Smiřice bylo odpovědět na otázku, zda se vlastnosti konstrukční vrstvy z popílkového stabilizátu vlivem provozu a působení klimatických podmínek mění. Při výběru vhodných terénních a

laboratorních zkoušek bylo potřeba přihlídnout k technickým možnostem a náročnosti práce v koleji. Schéma příčného řezu s popílkovým stabilizátem je uvedeno na obrázku 6.

Během vlastní realizace zkušebního úseku a za období provozu dosud nenastaly žádné problémy. Došlo zde k propojení laboratorních a experimentálních výsledků s praktickou aplikací.

Z výsledků terénních zkoušek bylo konstatováno, že po cca 10 letech od realizace vrstvy z popílkového stabilizátu v konstrukci pražcového podloží jsou stále splněny všechny požadavky předpisu SŽDC S4. Vrstva popílkového stabilizátu plní v konstrukci dobře svoji ochrannou a izolační funkci [Lidmila, 2015].

Vliv kvality vodných výluhů na uplatnění VEP

Vedlejší energetické produkty (VEP) přirozeně obsahují celou řadu látek nežádoucích pro životní prostředí. Jedná se zejména o těžké a toxické kovy. Koncentrace kontaminantů je zpravidla vyšší než u běžných stavebních materiálů, případně vyšší než přirozené pozadí v zeminách a horninách, které jimi nahrazujeme. Pro použití VEP bez ohledu na jeho původ a druh jsou stanovena legislativní a normová kritéria. V případě použití do zemních konstrukcí silničních staveb lze využít „Technické podmínky pro návrh a provádění staveb pozemních komunikací s využitím popelů a popílků schválené MD ČR“ (dále TP 93). Ekologická vhodnost popílků a dalších vedlejších produktů se posuzuje [TP 93]:

- podle chemických vlastností výluhu,
- podle REACH (Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals tj. Registrace, Hodnocení a Povolování Chemických látek),
- podle mezní hodnoty hmotnostní aktivity Ra_{226} .

Upustilo se mj. od povinného stanovení ekotoxicity, protože při výrazně alkalické reakci výluhu v případě vápnem stabilizovaného VEP není zkouška vhodná.

Podle chemických vlastností výluhu, který se připraví loužením vzorku, smíchaného s vodou v poměru 1 : 10 dle ČSN EN 12457/1-4 jsou mezní hodnoty vyluhovatelných látek následující (Tabulka 1). Pro porovnání jsou uvedeny také hodnoty dle metodického pokynu MŽP „Indikátory znečištění“ z roku 2013 a limity pro pitnou vodu dle vyhlášky 252/2004 Sb. v platném znění.

Vzhledem k specifickým odlišnostem koncentrací přirozeného pozadí některých ukazatelů v ČR (zejména arsen) má přednost limit pro pitnou vodu. Z tabulky je vidět, že limitní hodnoty pro vodní výluhy dle TP 93 v části ukazatelů překračují některé porovnávané hodnoty. Výluhy ze zemních konstrukcí s využitím VEP tak mohou způsobovat kontaminaci podzemní vody, přestože jednotlivé koncentrace ve výluhu vyhovují TP 93. Samostatnou otázkou je šíření kontaminace od zdroje v prostoru a čase. Vzhledem ke značným objemům a liniovému charakteru zemních konstrukcí se však může jednat o významný zdroj kontaminace podzemních, případně i povrchových vod.

Tabulka č. 1 - Limitní hodnoty ve vodné výluhu (TP 93), podzemní a pitné vodě (mg/l)

Prvek	TP 93	Indikátory znečištění MŽP	Pitná voda
Ag	0,1	0,071	0,05
As	0,1	0,000045	0,01
Ba	1	2,9	-
Be	0,005	0,016	0,002
Pb	0,1	0,01	0,01
Cd	0,005	0,0069	0,005
Cr celk.	0,1	-	0,05

Co	0,1	0,0047	-
Cu	1	0,62	1
Ni	0,1	0,3	0,02
Hg	0,005	0,00063	0,001
Se	0,05	0,078	0,01
V	0,2	0,063	-
Zn	3	4,7	-
Sn	1	9,3	-

Rozsáhlé analýzy chemických vlastností VEP byly provedeny a shromážděny během přípravy projektu dálničního násypu z VEP ve Velké Británii [Vaníček, 2003]. Vzorky VEP byly odebrány ze tří elektráren ve Velké Británii. Analýza výluhů ukázala na zvýšené hodnoty arsenu, kadmia, chromu, rtuti, selenu, síranů, pH a PAU. Potencionální zdroj kontaminace byl VEP navržený do konstrukce násypu, a to za předpokladu, že VEP bude izolován od kolísavé hladiny podzemní vody drenážní vrstvou situovanou nad hladinou 100-leté vody. Pro posouzení analýzy rizik se použil výpočetní program CONSIM, velmi konzervativní nebo „horší“ parametry a bylo vyžadováno velmi malé ředění v potoce. Závěr analýzy zněl, že neexistuje významné riziko kontaminace z výluhů VEP na povrchové vody.

Pro ověření vlastností VEP pro případné použití v lokalitách ochranných pásem pitné vody byly provedeny v rámci projektu Ministerstva dopravy č. CG912-045-520 zkoušky vyluhovatelnosti, ekotoxicity a radioaktivity, kde zjištěné hodnoty byly velmi příznivé. Nejlepší výsledky hodnocení výluhů bylo u směsí fluidního popílku s vápnem, relativně nejhorší výsledek dával hnědouhelný popílek s cementem a to především díky obsahu arsenu ve výluhu [Klimešová, 2010].

Při odběru náhodných vzorků směsí ze zdrojů v ČR odsířených mokrou vápencovou metodou pro zkoušky výluhů bylo zaznamenáno překročení limitů podle TP 93 (resp. ČSN 73 6133) zpravidla pouze v případě arsenu, baria, selenu a vanadu. Obvykle nevyhoví limitům asi 10 až 20 % vzorků. Pouze v případě vanadu nevyhovělo 40 až 50% vzorků. Nahodilé výkyvy jsou dány především vrstvením popelových frakcí v silu (střídavé vyklízení hrubších a jemnějších frakcí, přičemž nositeli škodlivin jsou hlavně jemné, úletové frakce), které vždy nesetře ani promísení v míchacím centru.

Po zvlhčení na optimální vlhkost z hlediska zpracovatelnosti hutněním dochází zpravidla k chemické stabilizaci (beze změny fyzikální podstaty směsi), která se projevuje postupnou proměnou jednotlivých kontaminantů na méně pohyblivé formy. S rostoucí dobou od zvlhčení směsi se mobilita kontaminantů ve výluhu snižuje. Prvky, které se v neaditivované netuhnoucí směsi ukazovaly ve výluhu jako nadlimitní, mají po aditivaci hodnoty zpravidla nižší než limitní. Složení základní popelové směsi se tedy kopíruje i do stabilizátu, ale vyluhovatelnost jednotlivých prvků se výrazně snižuje.

Sledováním vlastností výluhů ze stabilizátů získaných ze zdrojů odsířených technologií fluidního spalování bylo ověřeno, že ani v jednom případě nebyly překročeny citované limitní hodnoty (pouze v jednom případě byla u vanadu dosažena limitní hodnota) [Králová, 2007].

Snižování oxidů dusíku a vliv na kvalitu výluhu

Produkce a kvalita VEP je ovlivněna stále se zvyšujícími nároky na kvalitu produkovaných zplodin. Po velmi úspěšné etapě (v ČR a následně i v zemích EU) odsíření velkých zdrojů znečištění (elektrárny, spalovny ad.) je pozornost soustředěna na efektivní snížení emisí oxidů dusíku (NOx). V souvislosti s úpravou legislativy Evropské unie (směrnice 2016/2284/EU) jsou od 1. 1. 2016 platné nižší limity emisí oxidů dusíku a dalších látek kromě zdrojů s výjimkou. Do 30. 6. 2020 je stanoveno přechodné období mj. pro stacionární zdroje s instalovaným výkonem větším než 50 MW, pro zdroje zařazené do Přechodného národního plánu, které plní emisní limity dosud platné a následně emisní stropy pro stanovené jednotlivé

roky (dle z. 201/2012 Sb. v pl. znění). Pro zdroje spalující uhlí jsou cílové limity 300 (do 100 MW), resp. 200 mg.m⁻³ (dle vyhl. 415/2012 Sb. v platném znění).

Pod pojmem oxidy dusíku (označovaných NO_x) je myšlena směs zejména oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý (NO₂) s malým podílem dalších oxidů. Lze je odstraňovat v průběhu spalování (primární metody), nebo z již vzniklých spalin (sekundární metody). Nejčastěji je používán druhý způsob. Z několika známých metod je nejvíce používána selektivní nekatalytická redukce (SNCR), případně selektivní katalytická redukce (SCR). Selektivní nekatalytická redukce spočívá ve vytvoření redukčních podmínek, při kterých je do kotle vstříkovaný čpavek (amoniak) nebo močovina a selektivně (přednostně) snižuje oxidy dusíku za vzniku elementárního dusíku a vodní páry. Účinnost snížení NO_x dosahuje 40 až 60 %. Charakteristickým znakem této metody je, že probíhá v kotli v oblasti teplot 900 až 1 050°C. Katalytická redukce má obdobný princip, ale probíhá díky katalyzátoru při nižších teplotách 300 až 400°C, s vyšší účinností, ale za mnohem vyšších nákladů.

Metoda snižování NO_x za využití močoviny, nebo čpavku je prozatím využívána v elektrárnách Počerady, Mělník I., Třebovice, Kladno, dále v teplárnách (např. Brno, České Budějovice, Olomouc, Tábor, Karviná), spalovnách (Praha - Malešice), cementárnách (např. Radotín) a další zařízení (zdroj: ČEZ, a.s.; ERS - Emise, Redukce, Concepty, s.r.o.). Zkušenosti vzhledem k ovlivnění a použitelnosti produkovaných VEP jsou však prozatím nevelké, a bude vlastnosti bude třeba dále testovat.

Vstup čpavku nebo močoviny do procesu spalování má vliv na kvalitu a použitelnost energetických produktů. Dochází k tvorbě amonných solí z amoniaku nevyužitého při reakci s NO_x ve spalinách. Dle dosavadních zkušeností s použitím metody SNCR v ČR je koncentrace zbytkového amoniaku v popílkách obvykle vysoká (10 - 20 ppm). Vysoká zbytková koncentrace je mj. způsobena charakterem českého hnědého uhlí, které má vyšší popelnatost a vyšší obsah síry [Snop, 2015b].

V případě využití popílků s obsahem amonných solí jako náhrady cementu do betonu, nebo při výrobě směsných pojiv dochází při kontaktu s alkalickými složkami k bouřlivé reakci a uvolnění plynného čpavku, který je velmi toxický a dráždivý [Snop, 2015a].

V zemních konstrukcích lze popílků využít jako náhrada za přírodní kamenivo v nestmelené podobě, nebo jako stabilizát. V případě využití jako stabilizátu bude docházet ke stejnému výše popsanému procesu, tedy tvorbě plynného čpavku. Pokud se nedostane produkt do kontaktu s alkáliemi (vápno, cement), budou amonné soli obsaženy v tělese zemní konstrukce.

Amonné soli jsou dobře rozpustné ve vodě a výluhy ze zemní konstrukce, kde byly použity zbytkové produkty po odstranění NO_x metodou SNCR, či SCR budou významně obohaceny o amonné ionty či amoniak.

Vliv amoniaku na zdraví a ekosystémy

Amoniakální dusík se přirozeně vyskytuje téměř ve všech typech vod. Je primárním produktem rozkladu organických dusíkatých látek živočišného i rostlinného původu. Vyskytuje se převážně ve formě disociovaných amonných iontů NH₄⁺ v různém poměru s plynným amoniakem NH₃, a to v závislosti na pH vody a teplotě (poměrné zastoupení amoniaku roste s pH a teplotou) [Pitter, 1999].

Plynný amoniak je toxický. Toxicita roztoků amoniaku obvykle nepůsobí problémy člověku a dalším savcům, protože mají specifický mechanismus, který je schopen amoniak eliminovat v močovinovém cyklu přeměnou na aminokyseliny nebo vyloučit v moči. Ryby a obojživelníci však tento mechanismus postrádají, amoniak obvykle přímo vylučují jako odpadní produkt metabolismu. I v nízkých koncentracích je tedy amoniak ve vodě velmi toxický pro vodní živočichy, proto je klasifikován jako nebezpečný pro životní prostředí (viz Směrnice 67/548/EHS) a v povrchových vodách jako nebezpečná závadná látka, mající nepříznivý vliv na kyslíkovou rovnováhu (z. 254/2001 Sb. o vodách).

V přírodním prostředí je amoniakální dusík velmi nestálý a dochází biologické nitrifikaci (oxidaci) na dusitany a v dostatečně oxickém prostředí na dusičnany. Dusitany jsou při požití toxické již i pro člověka. Průsakem kontaminace do zvodnělého horninového prostředí může dojít ke zhoršení kvality podzemních vod, případně kontaminovat blízký vodní zdroj, nebo povrchové vody. Limit pro pitnou vodu je 0,5 mg/l (dle vyhl. 252/2004 Sb.). Přítomnost amonných iontů nebo amoniaku v podzemních či povrchových vodách je považována za indikátor silného znečištění vody produkty rozkladu dusíkatých organických látek, hlavně proteinů a močoviny. Mohlo by se tak stát, že případná zjištěná kontaminace nebude spojována se zemní konstrukcí, ale bude hledán typický zdroj organického znečištění.

Přínos dusíkatých látek do povrchových vod zvyšuje jejich eutrofizaci a zhoršuje tak jejich kvalitu (vodní zdroj, koupání, chov ryb ad.). Zemědělská politika státu je zaměřena na opatření pro snížení vlivů tohoto procesu. Další zdroje potenciálních nutrientů v krajině jsou nežádoucí.

Závěr

V současné době existuje řada úspěšných aplikací VEP v dopravních a vodohospodářských stavbách v ČR. Probíhající změna spalovacího procesu zaváděním metody SNCR a SCR však významně ovlivňuje vlastnosti a využitelnost vedlejších produktů. Problémem je použití amoniaku (čpavku), který tvoří amonné soli. Amoniak se tak ve formě výluhů dostává do podzemních a povrchových vod. Protože je toxický pro vodní organismy, může nepříznivě ovlivňovat vodní ekosystémy a kontaminovat vodní zdroje. Použití nové technologie způsobuje citelný pokles zájmu o VEP na trhu.

Z hlediska ochrany životního prostředí tak vyvstává potřeba optimalizace technologie SNCR a dalšího zpřesňování vhodných metodik simulace vyluhování látek z popílkových aplikací do půdy a podzemních vod.

V případech, kdy je aplikačně předpokládán vyšší podíl VEP v konstrukci (zejména u zemní konstrukce) oproti dosavadní běžné praxi, je podrobná analýza z hlediska chemického složení a z hlediska získaných výluhů nezastupitelná. Navíc lze v důsledku provedených rozborů dosáhnout mnohem lepšího porozumění souvislostí mezi chemickým složením VEP a jevy, k nimž v konstrukcích s VEP dochází s ohledem k případným reakcím s dalšími materiály, a funkčními charakteristikami.

Cílem je zachovat praktické uplatnění v současnosti produkovaných VEP ve stavebnictví, v dopravních a vodohospodářských stavbách. Dlouhodobým obecným cílem pak může být snaha o vymezení takových kritérií, při nichž bude možné tento typ materiálu nadále přestat klasifikovat jako odpad a považovat jej výhradně za druhotnou surovinu (tzv. End-of-Waste Criteria).

Poděkování

Příspěvek byl zpracován za podpory programu Centra kompetence Technologické agentury České republiky (TAČR) v rámci projektu Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI), číslo projektu TE01020168.

Zdroje:

- ČSN 73 6133 (2010), Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací. Praha: ÚNMZ;
- Fečko P., Kušnierová M., Raclavská H., Čáblík V., Lyčková B. (2005): Fly ash. Ostrava: VŠB TU, 191 s.
- Havlice M., Mráz V., Horváthová T. (2014) Příklady porušení protipovodňové hráze z vedlejších energetických produktů při povodni. In: Sborník příspěvků XIV. hydrogeologického kongresu a II. inženýrskogeologického kongresu, s. 154. Liberec: TUL, ČAH a ČAIG. ISBN 978-80-903635-4-0;
- Lány P. (2009) Přehled o využití popílku na stavbě dálnice D8 – 0807 v úseku km 82,700-88,800. Zpráva Ředitelství silnic a dálnic ČR. Lovosice: ŘSD ČR, Závod Praha-TDS;

- Luxemburk F. (2010) Znalecký posudek č. 21/2010/1 stavu konstrukce vozovky silnice II/263 průtah Krásná Lípa. Praha;
- Klimešová Š. (2010) Trvanlivost a hygienická a ekologická bezpečnost stabilizátů vyráběných z druhotných energetických surovin určených pro podpůrné dopravní využití v lokalitách ochranných pásem pitné vody. Projekt MD ČR č. CG912-045-520. Praha;
- Kopecký L. (2007) Posouzení příčin poruch rozpadu popílkového stabilizátu polygonu Most na základě mineralogicko-chemické analýzy. Protokol 4. 1/2007. Praha;
- Kresta F. (2012): Druhotné suroviny v dopravním stavitelství. Ostrava, 140 s.;
- Králová M. (2007) Ověření vlastností vedlejších energetických produktů podle zdrojů a možnosti aplikace v silničním stavitelství. Praha: AGE s.r.o., 36 s.;
- Lidmila M. a kol. (2015) Popílkový stabilizát v konstrukci pražcového podloží. Brno: VUT v Brně. ISBN 978-80-214-5250-3;
- MP (2013) Indikátory znečištění. Metodický pokyn MŽP. Praha: MŽP ČR;
- Mráz V., Krásný O. (2014) Examples of application of coal combustion by-products in the earth structures in construction of transport infrastructure. In: Zakládání staveb Brno 2014, sborník příspěvků, s. 82-87. Brno: Sekurkon, s.r.o. ISBN 978-80-87920-01-5;
- Pitter P. (1999) Hydrochemie. Praha: VŠCHT, 3. vydání;
- Pospíšil P. (2004) Užití popílků a stabilizátů na stavbách v severních Čechách. Seminář Lehké stavební hmoty a geosyntetika v zemním tělese dopravních staveb. Praha;
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2016/2284 ze dne 14. prosince 2016 o snížení národních emisí některých látek znečišťujících ovzduší, o změně směrnice 2003/35/ES a o zrušení směrnice 2001/81/ES;
- Snop R. (2015a) Současný stav využitelnosti energetických produktů v ČR - kvalita, budoucnost, dostupnost. In: Konference - Vápno, cement, ekologie 2015. Praha: Výzkumný ústav maltovin, s.r.o.
- Snop R. (2015b) Vliv technologie SNCR z pohledu zpracovatele a distributor popílku. Popílků ve stavebnictví. Brno: FS VUT;
- TP 93 (2011). Návrh a provádění staveb pozemních komunikací s využitím popílků a popelů – Technické podmínky. Praha: Ministerstvo dopravy, odbor silniční infrastruktury;
- Vaníček M. (2003) Contaminant transport in the host rock, numerical modelling and laboratory work. Ph.D. thesis. Prague: Czech Technical University in Prague, 128 p.;
- Vyhláška 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody;
- Vyhláška 415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší;
- Zákon 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší;
- <http://www.irz.cz/repository/latky/amoniak.pdf>;
- <https://cs.wikipedia.org/wiki/Amoniak>.