

Možnosti optimalizace hydrologických funkcí popílkovišť využitím substrátů na bázi popílku

Ing. Petra Huislová¹, Ing. Tomáš Khel¹, Ing. Renata Zárubová, Ph.D.²

¹Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Praha 5 – Zbraslav; petra.huislova@vumop.cz

²Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., tř. Budovatelů 2830/3, Most

Přijato: 1. 3. 2017, recenzováno: 10. 5. a 12. 7. 2017

Abstrakt

Výroba elektrické energie v tepelných elektrárnách s sebou přináší také problém s uplatněním produktu spalování v krajině – popílku. Fyzikálně-chemické vlastnosti popílku odrážejí jeho původ, proces spalování i složení vstupních surovin. Využití popílku v krajině naráží často na nestabilitu tohoto materiálu, kdy se jedná o materiál bez biologického oživení, bez vnitřní agregátové vazby a často s extrémními hydrologickými vlastnostmi. Komplex těchto primárních vlastností pak často nedovoluje zdravý růst a vývoj cílové vegetace. Z tohoto důvodu je vhodné mísit popílek s materiály, které by eliminovaly negativa samotného popílku a zároveň by byly kvantitativně a ekonomicky dostupné. Článek je zaměřen na testování substrátů složených z popílku pocházejícího ze spalování biomasy a sedimentu z vodního toku jako možného materiálu stabilizující samotný popílek. Cílem výzkumu bylo definování chemických a fyzikálních vlastností jednotlivých složek a určení jejich nejvýhodnějšího poměru tak, aby byl vytvořen substrát vhodný pro plánované využití – vegetační vrstvu odkališť.

Optimization of hydrological functions of fly ash landfills using substrates based on the fly ash

The production of electricity in thermal power plants also brings a problem with the application of combustion products in the landscape – fly ash. Physico-chemical properties of fly-ash reflect its origin, the combustion process itself and the composition of the feedstock. Utilization of fly ash in the countryside often faces the instability of this material with no biological recovery, without internal aggregates binding and often with extreme hydrological characteristics. The complex of these primary characteristics often does not allow healthy growth and development of the targeted vegetation. For this reason, it is advisable to mix ash with material that would eliminate the negatives of fly ash and would have been quantitatively and economically feasible. The article is focused on testing substrates consisting of fly ash from the combustion of biomass and sediment from the water flow as possible proper material stabilizing fly ash itself. The aim of the research was to define the chemical and physical properties of the individual components and determine their most advantageous ratio in order to create a substrate suitable for the intended use – the growing layer of tailings dams.

Möglichkeiten der Optimierung hydrologischer Funktionen der Ascheablagerungsstätten durch Anwendung von Substraten auf Basis der Aschen

Die Stromerzeugung in Heizkraftwerken bringt mit sich auch das Problem mit der Anwendung der Verbrennungsprodukte in der Landschaft – der Asche. Die physikalisch-chemische Eigenschaften der Aschen widerspiegeln seine Herkunft, den Verbrennungsprozess und die Zusammensetzung der Eingangsstoffe. Die Nutzung der Asche in der Landschaft stößt oft auf Unstabilität dieses Materials, wobei es sich um das Material ohne biologische Belebung handelt, ohne innere Aggregatbindung und oft mit extremen hydrologischen Eigenschaften. Der Komplex dieser Primäreigenschaften oft erlaubt das gesunde Wachstum und Entwicklung der gezielten Vegetation nicht. Aus diesem Grund ist geeignet, die Asche mit Materialien zu mischen, die die Negative einsamer Asche eliminieren könnten und zugleich quantitativ und wirtschaftlich zugänglich wären. Der Artikel orientiert sich auf die Testung von Substraten, zusammengesetzten von der aus Verbrennung der Biomasse stammenden Asche und des Sedimentes aus dem Wasserlauf als potenzielles Material zur Stabilisierung der Asche. Ziel der Forschung war es chemische und physikalische Eigenschaften einzelner Komponenten zu definieren und ihr günstigstes Verhältnis so zu bestimmen, damit das für geplante Nutzung – Vegetationsschicht der Klärbecken - geeignete Substrat gebildet wird.

Klíčová slova: popílek, sediment, substrát.

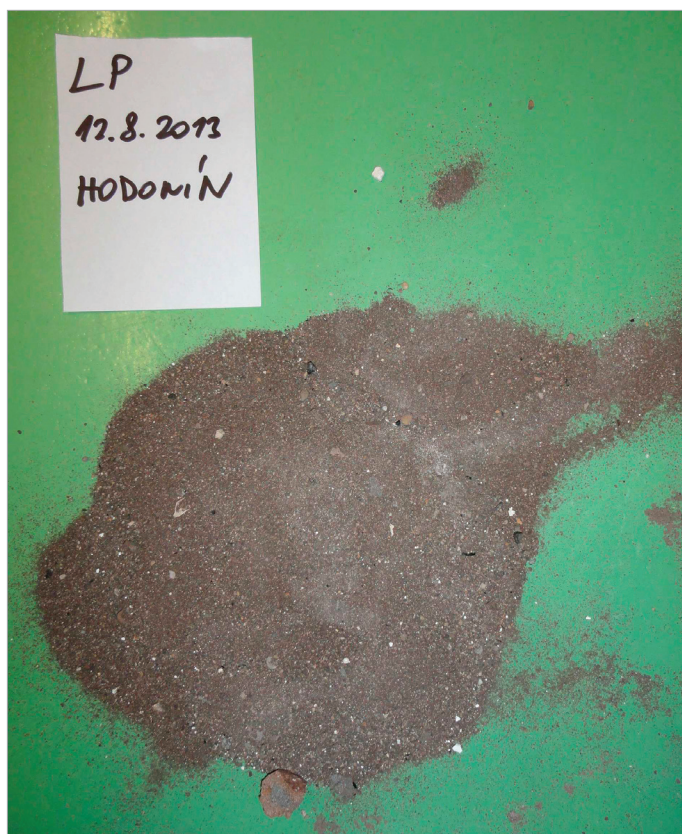
Keywords: fly ash, sediment, substrate.

1 Úvod

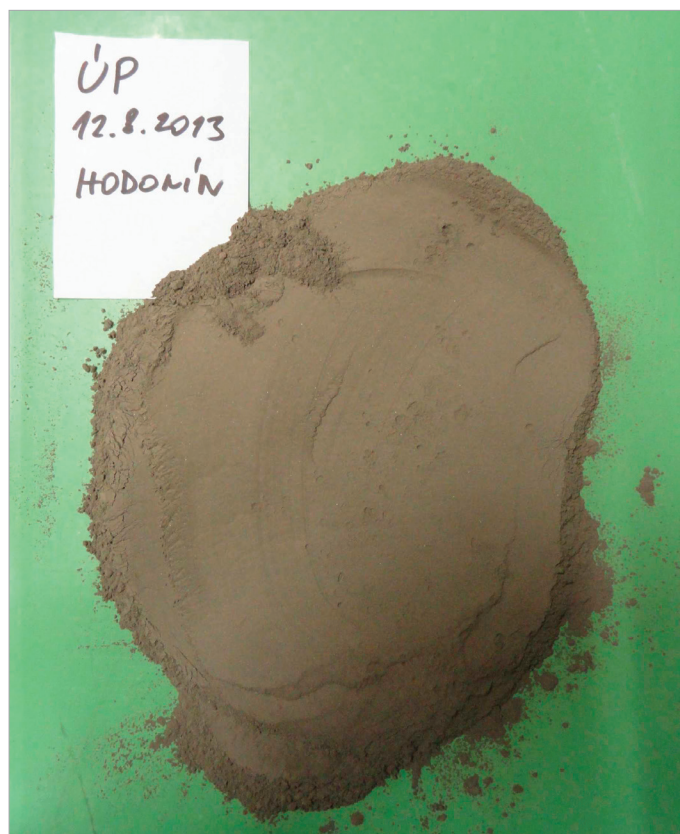
Četné studie poukazují na široký rozsah použití popílku v různých odvětvích a oborech [4,9,11,13]. Jeho potenciální využití v krajině pro růst vegetace se váže především na specifické chemické vlastnosti podporující její růst (půdní reakce, obsahy

přístupných živin K, Ca, Mg, S a P). Uplatnění popílku ze spalování biomasy je v krajině podle [8] racionální řešení a účinný nástroj efektivního hospodaření s těmito produkty spalování.

Vlastnosti popílků ze spalování biomasy se však významně liší. Ve složení úletového popílku převažují prachovité části-



Obr. 1: Ložový popílek.



Obr. 2: Úletový popílek.

ce (0,01-100 μm), popílek má nízkou objemovou hmotnost (0,81-1,16 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), vysokou vodní (retenční) kapacitu, vyšší hodnotu pH a vysoký podíl živin. Hrubší ložový popílek však naopak negativně ovlivňuje retenci vody v půdě. Přídavek popílku do přirozené půdy významně půdu vylehčuje a byly zjištěny převážně pozitivní účinky na fyzikální vlastnosti půdy, především na zlepšení pórovitosti, zpracovatelnosti půdy a propustnosti [1,3,7]. Popílky s vysokým obsahem rozpustné formy Ca mohou významně zlepšit strukturní stav půdy [12]. Příspěvek k retenční kapacitě půd dokumentuje studie [10].

Samotný popílek je však materiál primárně nestabilní, neboť spalováním dochází k rozrušení původních vazeb přítomných ve spalovaném materiálu. Popílek vystavený povětrnostním vlivům bez vegetačního krytu tak snáze podléhá degradaci (erozi) a pro růst rostlin nepředstavuje optimální podmínky umožňující rychlé zapojení porostu, který by mechanicky bránil degradaci povrchu atmosférickými vlivy.

Významnou otázkou využití popílku v krajině je také jejich hygienická nezávadnost. Popílky mohou obsahovat celou řadu rizikových prvků (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V, Zn a další). Aplikace popílku tak může představovat potenciální riziko kontaminace půdy, rostlin, povrchových a podzemních vod. Při hodnocení nezávadnosti, resp. potenciálu popílku pro využití, je důležité zjištění primárního chemického složení konkrétní šarže popílku, neboť jeho kvalita je ovlivněna charakterem spalovaného materiálu [12].

V případě řešení finálních partií popílkovišť vyvstává otázka jak tuto vrstvu popílku optimalizovat pro růst vegetace. Dle zkušeností z aplikace popílku do půdy je jednou z cest mísení samotného popílku s různými organickými i anorganickými

materiály. Právě jeho užití ve směsi s další druhotnou surovinou (kaly, sedimenty, organické látky apod.) vede k produkci kvalitativně vyvážených substrátů. Sdružená aplikace popílku má celou řadu výhod - lepší dostupnosti živin, biologickou stabilizaci rizikových prvků, podporu pufrací schopnosti, doplnění organické složky, podporu mikrobiální aktivity [8].

2 Metodika a materiály

S cílem otestovat možný způsob optimalizace svrchní vrstvy rekultivovaných odkališť byl hledán materiál, který by byl kvalitativně, kvantitativně i ekonomicky vhodný a dostupný. Testovány tak byly směsi popílku ze spalování biomasy a se-



Obr. 3: Odběr vzorku sedimentu.

dimentu z říčního toku. Sediment je tvořen erozí smytými zeminami pocházejícími převážně ze zemědělsky obhospodávaných ploch. Jedná se tedy o zeminy svrchní, orníční vrstvy, které přirozeně vykazují vyšší obsahy organických látek, příznivější hodnotu půdní reakce a vyšší obsahy přijatelných forem živin. Využití těchto materiálů má vysoký potenciál pro účely rekultivace, především s cílovým nezemědělským využitím. Přesto je nutné hodnotit sediment také z pohledu obsahu rizikových látek. U odebraných sedimentů a popílků byly v Laboratoři půdní struktury oddělení Pedologie a ochrany půdy VÚMOP v.v.i. a Centrálních laboratořích VÚMOP v.v.i. analyzovány základní chemické a fyzikální vlastnosti, na jejichž podkladě byly vytvořeny a laboratorně otestovány směsi s cílem definovat nejvýhodnější poměr jednotlivých složek tak, aby byl vytvořen „substrát“ vhodný pro cílové využití (trvalý travní porost - TTP). Po úplnosti byly v laboratoři Aquatest a.s. stanoveny i obsahy rizikových prvků (dále jen RP) a vyhodnoceny dle Vyhlášky č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva ve znění vyhlášek č. 401/2004 Sb., č. 209/2005 Sb., č. 271/2009 Sb. a č. 131/2014 Sb. V článku jsou zmíněny pouze výsledky obsahu RP výsledné doporučené směsi.

2.1 Odběry vzorků pro analýzy

Analyzovány byly vzorky ložového (LP) a úletového (ÚP) popílku z fluidního kotle tepelné elektrárny v Hodoníně (obrázek č. 1 a 2). V kotli se spaluje pouze biomasa. Odběr sedimentu (vzorky H1, H2) byl proveden přímo z toku řeky poblíž této tepelné elektrárny (obrázek č. 3) dle normy [16].

2.2 Laboratorní analýzy – fyzikálně chemická podstata vstupujících materiálů

Rozsahy analýz ukazuje tab. 1. Zrnitost vzorku byla stanovena podle ISO 112 77 [20], výměnná půdní reakce podle ČSN ISO 103 90 [21], celkový obsah uhlíku Cox v souladu s ISO 14235 [19], stanovení kationtové výměnné kapacity podle ISO 112 60 [18] a obsahy přístupných živin - vápníku, hořčíku, draslíku a fosforu byly určeny ve výluhu dle Mehlicha [6].

2.3 Laboratorní testování navržených substrátů - směsí popílku a sedimentu

Návrh směsí a cíl jejich testování primárně respektoval snahu o optimalizaci fyzikálních parametrů vzniklého substrátu bez hodnocení chemických a hygienických vlastností výsledných směsí. Směsi byly testovány v souladu s postupy uvedenými v ČSN EN 13041 [17]. Tato ČSN specifikuje metodu pro



Obr. 4: Odsávání vody při tlakové výšce -5 kPa v pískovém boxu.

stanovení fyzikálních vlastností, tj. objemové hmotnosti vysušeného vzorku, objemu vody, objemu vzduchu a celkové pórovitosti půdních látek a substrátů. S pomocí ČSN je možné odhadnout a popsat fyzikální charakteristiky směsí. Součástí směsí byly míseny v různém hmotnostním poměru, kdy byly vzešlé směsi testovány uvedeným postupem. Veličiny popisující množství zadržené vody, obsah vzduchu, resp. pórovitost, byly stanoveny gravimetricky z dílčích váhových zjištění.

Postup stanovení fyzikálních charakteristik směsí podle výše uvedené ČSN lze shrnout do těchto metodických bodů:

- mísení směsí a jejich sycení ve vodní lázni v plastových trubiciích opatřených na dně sítkem s průměrem ok 0,1 mm;
- odsávání vody ze vzorků při tlakové výšce -5 kPa v plastových trubiciích na pískovém tanku (obrázek č. 4);

Tab. 1: Rozsah analýz.

Vzorek	Analytická stanovení
H1	zrnitost, pH, přístupné živiny, charakteristiky sorpčního komplexu (S, T, V)*, C:N, humus (dopočetem)
H2	zrnitost, pH, přístupné živiny, charakteristiky sorpčního komplexu (S, T, V), C:N [23], humus (dopočetem)
LP	zrnitost, pH, přístupné živiny, charakteristiky sorpčního komplexu (S, T, V), C:N, humus (dopočetem)
ÚP	zrnitost, pH, přístupné živiny, charakteristiky sorpčního komplexu (S, T, V), C:N, humus (dopočetem)

*Pozn: Při ustalování koncentrační rovnováhy živin mezi pevnou a kapalnou fází půdy a v celém systému půda - rostlina - hnojivo jsou důležité veličiny S – suma bazických kationtů, T - kationtová výměnná kapacita, V – stupeň sorpčního nasycení.



Obr. 5: Vlhký substrát před plněním do testovacích válečků.



Obr. 6: Sycení testovacích válečků v laboratoři (fáze s prstenci).

c. plnění směsi s homogenní vlhkostí (obrázek č. 5) do normovaných nerezových válečků a jejich sycení ve vodní lázni – vždy 4 opakování pro každou směs (označeno 1A, 2A...4A apod.);

d. odsávání vody při daných tlakových výškách (obrázek č. 6) a následné vysušení vzorku v sušičce do konstantní hmotnosti;

e. výpočet výsledných veličin.

2.4 Určení vhodného poměru jednotlivých směsí – zrnitostní ráz vstupních materiálů

Pro bližší určení a návrh poměrů jednotlivých součástí testovaných směsí byla zvolena klasifikace půdy podle trojúhelníkového diagramu [14]. Tento postup umožňuje bližší odhad zastoupení důležitých texturních frakcí – jílu ($< 0,002$ mm), prachu ($0,002-0,05$ mm) a písku ($0,05-2$ mm) tab. 2.

Tab. 2: Klasifikace zrnitosti sedimentu a popílku podle trojúhelníkového diagramu.

	Jíl	Prach	Písek	Hodnocení
H1	10,1	61,2	28,7	prachová hlína
H2	7,6	35,3	57,2	písčitá hlína
LP	0	3,3	96,3	písek
ÚP	0	84,7	13,1	prach

Tab. 3: Poměry složek v návrhových směsích podle výpočtů směsné rovnice.

	Jíl	Prach	Písek	Hodnocení
SM A	6,74	40	51,13	písčitá hlína
SM B	2,5	40	53,19	písčitá hlína
SM C	3,62	32,35	63,57	písčitá hlína
SM D	3,93	41,35	54,55	písčitá hlína

Tab. 4: Složení jednotlivých směsí.

Označení	Sedimenty			Popílky			Poměr sediment/ popílek
	H1	H2	Poměr mezi H1/H2	ÚP	LP	Poměr ÚP/LP	
SM A	x				x		2:1
SM B		x		x			10:1
SM C	x	x	1:2	x	x	3:1	1:1,3
SM D	x	x	1:1	x	x	1:1	1:1

Tab. 5: Výsledky laboratorních analýz a jejich popis.

Označení vzorku	< 0,01 mm	Slovní popis	< 0,001 mm	0,01-0,05 mm	0,05-0,25 mm	0,25-2 mm	T(CEC)	S	V
	Zrnitost (%)						mmol+/100g		(%)
H1	38,1	hlinitá	10,1	33,2	26,7	2,0	25,02	23,32	93,2
H2	22,1	písčitohlinitá	7,6	20,8	53,8	3,4	17,81	17,81	100,0
LP	< 4,0	písčitá	<4,0	3,3	56,3	40,0	< 5,00	3,54	x
ÚP	< 4,0	písčitá	<4,0	84,7	13,1	< 1,0	7,70	7,70	100,0

Tab. 6: Výsledky laboratorních analýz a jejich popis.

Označení vzorku	Výměnná půdní reakce	Slovní vyhodnocení	Cox (%)	Obsah humusu (%)	Slovní vyhodnocení	N _{tot} (%)	C/N
H1	7,1	neutrální	2,9	4,9	vysoký	0,34	8,4
H2	7,2	neutrální	1,8	3,2	vysoký	0,20	9,3
LP	12,7	silně alkalická	< 0,12	x		< 0,050	x
ÚP	12,7	silně alkalická	0,21	x	x	< 0,050	x

Tab. 7: Výsledky laboratorních analýz a jejich popis.

Označení vzorku	Přístupné živiny [mg/kg]							
	vápník	popis	hořčík	popis	draslík	popis	fosfor	popis
H1	7 052	velmi vysoký	474	velmi vysoký	232	dobrý	41,3	vyhovující
H2	5 006	velmi vysoký	270	velmi vysoký	138	vyhovující	53,6	dobrý
LP	37 734	velmi vysoký	2 263	velmi vysoký	66	nízký	388,6	velmi vysoký
ÚP	62 747	velmi vysoký	2 792	velmi vysoký	968	velmi vysoký	2,7	nízký

Tab. 8: Výsledky fyzikálních vlast-

Označení vzorku	Objemová hmotnost redukovaná (vysušeného vzorku) [kg.m ⁻³]	Objem zadržené vody W _v (%)	Obsah organických látek (%)	Obsah popela [g]	Hustota částic [kg.m ⁻³]	Celková pórovitost (%)	Objem vzduchu A _v (%)
SM A	1 001,22	56,51	5,34	94,66	2 553,20	60,79	4,27
SM B	1 137,41	53,87	9,70	90,30	2 479,36	54,12	0,25
SM C	1 108,30	52,37	3,94	96,06	2 577,83	55,30	2,93
SM D	1 050,04	56,06	4,75	95,25	2 563,51	57,65	1,59

Ve vzorcích ÚP a LP je dominantní prachová, resp. písčité frakce. Poměry mísení jednotlivých směsí se odvodily pomocí směsné rovnice, kdy bylo cílem vytvořit směs s optimálním a vyváženým zastoupením prachových a písčitých složek. Celkem byly vytvořeny 4 směsi popílku a sedimentu. Pro srovnání byly uvedenou metodou testovány také samotné popílků (tab. 3 a 4).

3 Výsledky a diskuse

3.1 Parametry vstupujících složek substrátu

Výsledky laboratorních analýz jednotlivých komponentů směsí a jejich slovní popis ukazují tab. 5 až 7. Hodnocení zrnitosti a dalších pedologických parametrů bylo provedeno podle [15]. Při hodnocení obsahu přístupných živin sedimentu byly použity materiály ÚKZUZ [5], přičemž byly srovnány s optimy obsahů prvků pro půdy středně těžké (H1 a H2) a kulturu TTP (nezemědělská rekultivace popílkoviště).

3.2 Hodnocení testovaných směsí

Testované směsi A, B prokázaly, že kombinací popílku a sedimentu ve správném poměru lze vytvořit substrát blízký se svou charakteristikou prachové hlíny, zemině s optimálním

zrnitostním složením a vhodnými hydrologickými parametry. Zrnitostně velmi podobné směsi se ve fyzikálních testech chovaly odlišně, a to z důvodu jiného poměru a charakteru obsažených složek popílků a sedimentů.

Směsi C, D byly smíchány tak, aby se charakteristiky směsí optimalizovaly a zároveň došlo k přiblížení praktické proveditelnosti mísení, kdy se předpokládá neselektivní těžbou sedimentů, ale i současným odvozem směsi ložového a úletového popílku, získá směs popílků a sedimentů. Tyto „směsi vstupních surovin“ se dále mísily v poměru zaručujícím nejlepší možné optimum fyzikálních charakteristik. Obě směsi vykazovaly srovnatelné výsledky, vhodnou retenční schopnost směsí, pórovitost; pouze při hodnocení obsahu vzduchu v pórech byla lépe hodnocena směs D.

Směs D byla vybrána jako optimální pro účel rekultivace popílkoviště, a proto se přistoupilo k hodnocení RP v ní obsažených. Vyhodnocení se řídilo limity Vyhlášky č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva. Z hodnot obsahu RP vzorků „D“ byl za rizikový faktor identifikován obsah arsenu. Jeho stanovená hodnota sice překračovala povolený limit, avšak vyskytovala se v limitu laboratorní chyby, což nevylučuje potenciální využití cílové směsi k zamýšlenému účelu.

Tab. 9: Obsahy rizikových prvků směsi D.

Rizikové prvky	Cd	Pb	Hg	As	Cr	Cu	Ni	Zn
	mg/kg sušiny							
Limit dle 474/2000	2	100	1	20	100	100	50	300
směs D	1,88	55	0,131	21,75	70,7	49,1	30,8	246,3

4 Závěr

Mísením složek do směsi a jejich následné testování prokázalo jednoznačně pozitivní vliv na optimalizaci fyzikálních charakteristik a použitelnost směsi coby půdních substrátů vhodných pro cílové ozelenění v krajině. Laboratorním testováním byly stanoveny odlišné fyzikální charakteristiky směsi v závislosti na poměru mísení a kvalitě vstupních součástí. Mísení popílků se sedimentem odstraní především zrnitostní extrémy obou typů popílků mající zásadní vliv na hospodaření s vodou. ÚP je silně vododržný s potenciálem k zamokřování při nadměrných srážkách a podporou eroze (vodní i větrné) nestabilních povrchů. U LP by bylo naopak vhodné zvýšit retenci vody zvýšením jemné zrnitostní frakce.

Z provedených testů vyplývá, že vytvořené směsi jsou sice zrnitostně lehké povahy, ale dokáží zlepšit vododržnost území a díky sedimentům dodat organickou hmotu a přijatelné živiny. Lze tedy říci, že směsi jsou vhodné pro základní přípravu povrchu rekultivovaného odkaliště popíku. Materiál bude nutné mechanizací rovnoměrně aplikovat na pozemek v mocnosti minimálně 0,3 m. Pomocí vhodného osetí travním nebo jetelotravním výsevem se zabrání erozi, zároveň rostliny přispějí k oživení nově vzniklého horizontu, kořenový systém dá prostor pro vznik struktury, která je důležitá především pro pórovitost, provzdušněnost a další stabilitu substrátu.

Studie vlastností těchto materiálů, které jsou vhodné pro konstrukci poslední svrchní biologicky oživené vrstvy rekultivovaných ploch, mají oproti běžným zemědělským půdám jisté fyzikální odlišnosti (nižší obsah jílovité frakce, náchylnost k přísuškům, nižší obsah stabilního humusu a jílovitohumusového komplexu). V praxi by samotné mísení probíhalo na složišti materiálu, kde by se odvodněný sediment pomocí třídících/drtících lopat na nakladači (běžně používaných při rekultivacích zemin, zpracování kompostu, třídění stavební sutě) mísil dle zrnitostního složení s popínkem. Konečná směs by měla být homogenní, zrnitostně vyvážená, o vhodné vlhkosti k aplikaci a zakryta geotextilií pro minimalizaci prašnosti. Pokud splní substrát legislativou dané hygienické limity mikrobiologického a chemického složení, měly by být tyto materiály, dle získaných výsledků, schopné částečně nahradit nedostatkovou „přírodní“ půdu pro rostliny.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory výzkumného projektu č. QJ1520026 - Optimalizace využívání zemědělské půdy z pohledu podpory infiltrace a retence vody s dopady na predikci sucha a povodní v podmínkách České republiky.

Literatura

- [1] ADRIANO, D. ., WEBER, J.T.: Influence of fly ash on soil physical properties and turf grass establishment. *J. Environ. Qual.* 30, 596–601 s., 2001.
- [2] BUCK, Y.K., HUSTON, R.Y., BEINBORN, W.A.: Direct scaling of anthracite refuse using coal ash as a major soil amendment. In: Skowswan, Y. (Ed.). *Proc. Conference "Mining and Reclamation"*. West Virginia University Publications, series no. 2, 603 s., 1990.
- [3] CAMPBELL, D.J., FOX, W.E., AITKEN, R.L., BELL, L.C.: Physical characterization of sands amended with fly ash. *Aust. J. Soil Res.* 21, 147–154 s., 1983.
- [4] CHASSAPIS, K., ROULIA, M., VRETTOU, E., FILI, D., ZERVAKI, M.: Biofunctional Characteristics of lignite fly ash modified by humates: a new soil conditioner. *Bioinorg. Chem. Appl.* <http://dx.doi.org/10.1155/2010/457964>, 2010.
- [5] KLEMENT, V.: Pracovní postupy pro agrochemické zkoušení zemědělských půd v České republice v období 2011 až 2016. Metodický pokyn č. 51/OBK. Brno: UKZUZ, 39 s. 2011.
- [6] MEHLICH, A.: Mehlich No. 3 soil test extractant: A modification of Mehlich No. 2. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.*, 15 s., 1409–1416. 1984.
- [7] PHUNG, H.T., LUND, I.J., PAGE, A.L.: Potential use of fly ash as a liming material. In: Adriano, D.C., Brisbin, I.L. (Eds.). *Proc. the Conference 'Environmental Chemistry and Cycling Processes'*. US Department of Energy, 504 s., 1978.
- [8] RAM, L.C., MASTO, R.E.: Review: an appraisal of the potential use of fly ash for reclaiming coal mine spoil. *J. Environ. Manag.*, 91 s., 603–617 s., 2010.
- [9] SEN, S., KUMAR, V.: The effect of different soil amendments on growth of Mung bean (*Vigna radiata* L.) in coalmine overburden dumps. *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.* 2, 264–270 s., 2012.
- [10] SENEVIRATNE, S.I., CORTE, T., DAVIN, E.L., HIRSCHI, M., JAEGER, E.B., LEHNER, I., ORLOWSKY, B., TEULING, A.J.: Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: a review. *Earth Sci. Rev.* 99, 125–161 s., 2010.
- [11] SRIVASTAVA, N.K., RAM, L.C.: Bio-restoration of coal mine spoil with fly ash and biological amendments. In: Chaubey, O.P., Bahadur, Vijay, Shukla, P.K. (Eds.). *Sustainable Rehabilitation of Degraded Ecosystems*. Avishkar Publishers, Distributors, Jaipur (Rajasthan). ISBN: 978-81-7910-288-6, 77–91 s. (Published by,

- Chapter-7), 2009.
- [12] TLUSTOŠ, P. a kol.: Monitoring kvality popelů ze spalování biomasy, certifikovaná metodika. ČZU, Praha, 22 s. ISBN 978-80-213-2327-8, 2012.
- [13] UKWATTAGE, N.L., RANJITH, P.G., BOUAZZA, M.: The use of coal combustion fly ash as a soil amendment in agricultural lands (with comments on its potential to improve food security and sequester carbon). *Fuel* 109, 400–408 s., 2013.
- [14] USDA. Soil Survey Staff. - Keys to Soil Taxonomy, 11th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC., 2010.
- [15] VALLA, M., KOZÁK, J., NĚMEČEK, J., MATULA, S., BORŮVKA, L., DRÁBEK, O.: Pedologické praktikum. Praha: ČZU, 148 s. ISBN 80-213-0637-8, 2000.
- [16] ČSN EN 14899. Charakterizace odpadů – Vzorkování odpadů – Zásady přípravy programu vzorkování a jeho použití. Český normalizační institut, 28 s., 2006.
- [17] ČSN EN 13041 - Pomocné půdní látky a substráty – Stanovení fyzikálních vlastností – Objemová hmotnost vysušeného vzorku, objem vzduchu, objem vody, součinitel smršťování a celková pórovitost. Český normalizační institut, 16 s., 2006.
- [18] ISO 11260: Soil quality - Determination of effective cation exchange capacity and base saturation level using barium chloride solution. ISO, Geneve, 1994.
- [19] ISO 14235: Soil quality – Determination of organic carbon by sulfochromic oxidation. ISO, Geneve. 1997.
- [20] ISO 11277: Soil quality – Determination of particle size distribution in mineral soil material - Method by sieving and sedimentation. 34 s., 2009.
- [21] ČSN ISO 10390: Soil quality – Determination of pH. 1996. Czech Standard Institute. Prague, 2011.
- [22] ISO 13536: Soil quality -- Determination of the potential cation exchange capacity and exchangeable cations using barium chloride solution buffered at pH = 8,1. 1995.
- [23] ČSN ISO 11261: Soil quality - Determination of total nitrogen - Modified Kjeldahl method. 4 s., 1995.