národní
úložiště
šedé
literatury

Materiálové a energetické využití suchého stabilizovaného čistírenského kalu.

Pohořelý, Michael
2018

Dostupný z http://www.nusl.cz/ntk/nusl-389939

Dílo je chráněno podle autorského zákona č. 121/2000 Sb.

Tento dokument byl stažen z Národního úložiště šedé literatury (NUŠL).

Datum stažení: 27.04.2024

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní nusl.cz .

MATERIÁLOVÉ A ENERGETICKÉ VYUŽITÍ SUCHÉHO STABILIZOVANÉHO ČISTÍRENSKÉHO KALU

Michael Pohořelý[a,b], Jaroslav Moško[a,b], Michal Syc[b], Šárka Václavková[b], Siarhei Skoblia[a], Zdeněk Beňo[a], Karel Svoboda[b]

[a] *Ústav energetiky & Ústav plynných a pevných paliv a ochrany ovzduší, VŠCHT Praha, Technická 5, 166 28 Praha 6*

[b] *Ústav chemických procesů AV ČR, v. v. i., Rozvojová 135/1, 165 02 Praha 6*

ÚVOD

Důvodem nutnosti úpravy kalové koncovky či/a způsobu nakládání s čistírenskými kaly (ČK) je zejména změna stávající legislativy ČR.

V delším časovém horizontu se pak jedná o přejímání způsobů nakládání s čistírenskými kaly od států „západní" Evropy, které pravděpodobně povede k úplnému zákazu skládkování čistírenského kalu, tj. jeho nevyužívání a k zákazu přímé aplikace čistírenského kalu na zemědělskou půdu pro „větší" čistírny odpadních vod. Příkladem uvedeného trendu jsou Holandsko, Švýcarsko, Německo, Rakousko a Slovinsko.

SOUČASNÁ SITUACE V NAKLÁDÁNÍ S ČISTÍRESKÝMI KALY V ČR

Ze statistiky Českého statistického úřadu vyplývá, že v současné době (k roku 2017) se převážná část (76,6 %) vyprodukovaných čistírenských kalů (178 077 tun sušiny) využívá k přímé aplikaci na půdu a k rekultivacím (42,4 %) a ke kompostování (34,2 %), viz Tabulka 1 a 2.

Tabulka 1. Způsoby nakládání s čistírenskými kaly v ČR za období let 2010–2017 v tunách sušiny / rok (ČSÚ 2010–2017)

Rok/Způsob zneškodnění kalu	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
	tuny sušiny / rok							
Přímá aplikace a rekultivace*	60639	61750	51912	54713	47830	63061	62551	75451
Kompostování	45528	45985	53222	50384	60511	67065	65163	60930
Skládkování	6177	9527	9340	7123	5236	6513	10183	11809
Spalování	**3336**	**3538**	**3528**	**3232**	**3400**	**2167**	**4814**	**4736**
Jinak**	55009	43018	50188	38822	42185	34191	30998	25151
Celkem	170689	163818	168190	154274	159162	172997	173709	178077

* přímá aplikace na zemědělskou a lesnickou půdu, **technická vrstva skládky

Tabulka 2. Způsoby nakládání s čistírenskými kaly v ČR za období let 2010–2017 v % (ČSÚ 2010–2017)

Rok/Způsob zneškodnění kalu	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
	%							
Přímá aplikace a rekultivace*	35,5	37,7	30,9	35,5	30,1	36,5	36,0	42,4
Kompostování	26,7	28,1	31,6	32,7	38,0	38,8	37,5	34,2
Skládkování	3,62	5,82	5,55	4,62	3,29	3,76	5,86	6,63
Spalování	**1,95**	**2,16**	**2,10**	**2,09**	**2,14**	**1,25**	**2,77**	**2,66**
Jinak**	32,2	26,3	29,8	25,2	26,5	19,8	17,8	14,1
Celkem	100	100	100	100	100	100	100	100

* přímá aplikace na zemědělskou a lesnickou půdu, **technická vrstva skládky

SOUČASNÁ SITUACE NAKLÁDÁNÍ S ČISTÍRESKÝMI KALY V NĚMECKU A V DALŠÍCH VYBRANÝCH STÁTECH EVROPY

V **Německu byl přijat zákon o zákazu použití kalu nebo kompostu z kalu jako hnojiva na půdu od roku 2029** pro čistírny odpadních vod o kapacitě **100 000 ekvivalentních obyvatel (EO) a více** a **od roku 2032** pro čistírny odpadních vod o kapacitě **50 000 EO a více**. **Dále je zavedena povinnost získávání fosforu z kalu, pokud je jeho obsah v sušině kalu vyšší než 2 %.** Fosfor se bude muset získávat přímo z kalu s minimální výtěžností 50 %, nebo bude nutné kal mono-spalovat (spalovat samostatně bez přídavného pevného paliva). Pokud bude kal spalován, musí být získáno alespoň 80 % fosforu z popelu, nebo bude povoleno popel ukládat pro budoucí využití (Federal Ministry; Bayerische Klärschlammnetz). Způsob nakládání s ČK v Německu v roce 2010–2016 je uveden v Tabulce 3 a 4.

Skládkování kalů a použití kalů a kompostů z kalů na půdu je úplně zakázáno ve Švýcarsku (od roku 2008 včetně přechodného období) a v **Nizozemsku** (od roku 1996), kde jsou kaly spalovány (mono-spalovány nebo spolu-spalovány) (Fahrni, 2012; The Federal Council; European Commission).

V Rakousku se obdobná legislativa jako v Německu připravuje pro čistírny od 20 000 EO, tj. zákaz použití kalu nebo kompostu z kalu jako hnojiva na půdu (navrženo desetileté přechodné období). Dále je zavedena povinnost získávání fosforu z kalu, pokud je jeho obsah v sušině kalu vyšší než 2 %, nebo bude muset být kal mono-spalován. Fosfor se pak bude získávat z popelu vzniklého spálením kalu (European Sustainable Phosphorus Platform).

V posledních letech je jako alternativa k mono-spalování ČK **v některých státech využíván proces pyrolýzy** pro výrobu kalocharu (biocharu na bázi čistírenského kalu).

Hlavním důvodem změny způsobu nakládání s čistírenskými kaly v uvedených evropských státech je zejména:

- zabezpečení **skutečné hygienizace** ČK / komodit na bázi ČK,
- snížení obsahu **organických mikropolutantů**, zejména PPCP (Pharmaceuticals & Personal Care Products – farmaceutika, kosmetika, hormony) a POP (persistentní organické polutanty) v ČK / komoditách na bázi ČK,
- **materiálové a energetické využití** ČK, tj. recyklace fosforu, výroba užitného tepla a/nebo elektrické energie.

Tabulka 3. Způsoby nakládání s čistírenskými kaly v Německu za období let 2010–2016 v tunách sušiny / rok (The Federal Statistical Office Germany 2010–2016)

Rok		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Způsob využití		tuny sušiny / rok						
materiálové využití	v zemědělství	566295	567187	541935	484464	470882	427736	423497
	rekultivace nebo kompostování	259312	254402	235439	203712	216148	190127	169439
	jiné materiálové využití *	58052	61106	58107	60692	35386	33547	31064
	suma	*883659*	*882695*	*835481*	*748868*	*722416*	*651410*	*624000*
termické zpracování	spalování	*1003749*	*1067431*	*1008830*	230581	425108	432516	460411
	spolu-palování				250326	400115	446871	615928
	blíže nespecifikováno				553864	252707	269292	66554
	suma				*1034771*	*1077930*	*1148679*	*1142893*
jiné využití **		-	-	-	4232	2642	2998	6293
suma celkově		1887408	1950126	1844311	1787871	1802988	1803087	1773186

* například jako stavební materiál, k zahušťování, k fermentaci

** zahrňuje množství transportováno do sušících zařízení kde je další zpracování neznámé

Tabulka 4. Způsoby nakládání s čistírenskými kaly v Německu za období let 2010–2016 v % (The Federal Statistical Office Germany 2010–2016)

Rok		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Způsob využití		%						
materiálové využití	v zemědělství	30	29	29	27	26	24	24
	rekultivace nebo kompostování	14	13	13	11	12	11	10
	jiné materiálové využití *	3,1	3,1	3,2	3,4	2,0	1,9	1,8
	suma	*47*	*45*	*45*	*42*	*40*	*36*	*35*
termické zpracování	spalování	*53*	*55*	*55*	13	24	24	26
	spoluspalování				14	22	25	35
	blíže nespecifikováno				31	14	15	4
	suma				*58*	*60*	*64*	*64*
jiné využití **		-	-	-	0,24	0,15	0,17	0,35
suma celkově		100	100	100	100	100	100	100

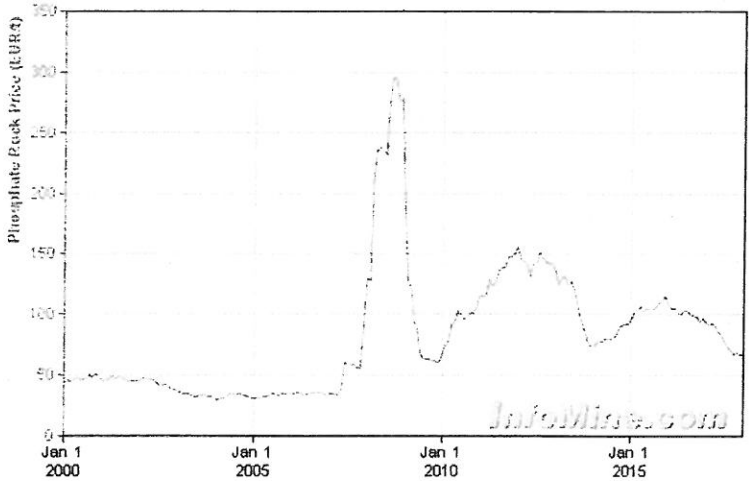
* například jako stavební materiál, k zahušťování, k fermentaci

** zahrňuje množství transportováno do sušících zařízení kde je další zpracování neznámé

HLAVNÍ DŮVODY ZVÝŠENÉHO ZÁJMU O ČISTÍRENSKÉ KALY V ČR:

- Zákaz ukládání směsného komunálního odpadu a recyklovatelného odpadu a využitelného odpadu na skládky od roku 2024 (229/2014 Sb.).
- Nový zákon o odpadech, jehož součástí bude pravděpodobně úplný zákaz skládkování ČK.
- Vyhláška č. 437/2016 Sb. a č. 474/2000 Sb. (novela 237/2017 Sb.), která zásadně zpřísňuje mikrobiologická kritéria pro použití upravených kalů na zemědělskou půdu.
- Recyklace fosforu, dusíku a dalších nutričních prvků. Fosfor byl zařazen na seznam kritických surovin pro EU z důvodu obavy o jeho dostupnost / cenu způsobenou cenovými spekulacemi (Evropská komise, 2017), viz Obrázek 1.

Obrázek 1. Vývoj ceny fosfátové rudy (InfoMine.com)



HYGIENIZACE ČISTÍRESKÉHO KALU – AKTUÁLNÍ PROBLÉM VĚTŠINY PROVOZOVATELŮ ČOV V ČR

Obecně lze k hygienizaci kalů na ČOV s anaerobní fermentací kalu použít všech metod, při kterých dochází k usmrcování mikroorganismů. Hygienizace může probíhat přímo v technologické lince úpravy a zpracování kalů. Technologicky lze zařadit hygienizaci jako součást anaerobní fermentace (stabilizace), dále před anaerobní fermentaci anebo po anaerobní fermentaci.

Mezi technologie schopné zabezpečit uvedené legislativní požadavky na zvýšený stupeň hygienizace kalu jsou zejména pasterizace kalu a mezofilní anaerobní stabilizace kalu, termofilní anaerobní stabilizace kalu, termická hydrolýza kalu a mezofilní anaerobní stabilizace kalu, hygienizace stabilizovaného kalu vápnem, sušení anaerobně stabilizovaného kalu.

Velmi účinným způsobem hygienizace kalu je jeho tepelné sušení, při kterém je kal sušený při teplotě 80–180 °C (dle technologie sušárny) a výsledný obsah vlhkosti ve vysušeném kalu je obvykle do 10 hm. %. U sušení kalu je nutné počítat se zvýšenou energetickou náročností a vyššími investičními náklady. **Sušením kalu se docílí jeho vysokého hygienického zabezpečení a dlouhodobé skladovatelnosti**. Sušení kalu vede též ke značné redukci množství (objemu a hmoty) odpadu, což snižuje nároky na dopravu kalu. Sušení kalu je rovněž vhodná metoda předúpravy kalu před jeho následným dalším termickým zpracováním, o kterém lze s ohledem na výše uvedené důvody předpokládat, že bude v ČR zastávat stále větší podíl na zpracování kalu.

U kalu hygienizovaného výše uvedenými technologiemi, vyjma sušeného kalu, **hrozí opětovný rychlý nárůst obsahu indikátorových mikroorganizmů nad limitní hodnoty.**

MATERIÁLOVÉ A ENERGETICKÉ VYUŽITÍ ČISTÍRESKÉHO KALU

Použitím termických procesů k likvidaci/využití kalu lze s výhodou zredukovat hmotnost tohoto odpadu až o polovinu (vztaženo na suchý kal), zejména pak spalováním jako nejběžnějším termickým procesem pro zpracování čistírenských kalů, a zabezpečit absolutní hygienickou nezávadnost. **Pro termické procesy je ovšem vhodné kaly nejdříve vysušit**, a to nejlépe v místě vzniku kalů, což též snižuje náklady na dopravu kalů do místa zpracování a co může současně zabezpečit energetickou soběstačnost daného procesu. Termickými procesy lze navíc získat druhotné suroviny, které mohou být následným zpracováním využívány např. pro získávání fosforu (popel ze spalování) nebo mohou být použity s výhodou přímo pro aplikaci na půdu (kalochar – biochar na bázi ČK z pyrolýzy). Porovnání termických procesů na odstraňování kalů se zřetelem na pevné zbytky je popsán v Tabulce 5.

Tabulka 5. Porovnání termických procesů s ohledem na pevný zbytek z čistírenského kalu

Stabilizované čistírenské kaly			
Proces (teplota procesu)	Fluidní spalování (850 °C)	Zplyňování (850 °C)	Pyrolýza (600 °C)
Ověřená technologie	ANO	NE	ANO
Nutnost vysušeného kalu	ANO	ANO	ANO
Hmotnostní redukce	ANO, cca na 1/2	ANO, cca na 1/2	ANO, cca na 3/5
Záchyt fosforu	ANO, více jak 95%	ANO, více jak 95%	ANO, více jak 95%
Záchyt ostatních nutrientů	ANO, kromě N	ANO, kromě N	ANO, včetně části N*
Úplné odstranění organického podílu	ANO	NE, pouze částečné	NE, pouze částečné
Odstranění Hg	ANO	ANO	ANO
Odstranění ostatních těžkých kovů a As	NE, částečně polo-těkavé	NE, polo-těkavé ano	NE
Produkt	popel s obsahem P	popel s obsahem P a C	kalochar s obsahem P a N
Kapacita	nad 150 000 EO	nad 150 000 EO	nad 30 000 EO

* obsah N v biocharu je cca 2 hm. % (cca 50% redukce proti obsahu v čistíreském kalu)

SPALOVÁNÍ ČISTÍRESKÉHO KALU

Spalování ČK je vhodné řešit mono-spalováním, aby nedošlo k naředění popela bohatého na fosfor. Pro mono-spalování ČK se využívají dominantně fluidní technologie. Cílem na mono-spalovnách čistírenských kalů v Německu je zejména (Obrázek 2):

- kombinovaná výroba elektrické energie a užitečného tepla,
- úplná stabilizace a hygienizace ČK,
- destrukce veškerých organických látek typu PPCP i POP,
- koncertování nutrientů (fosforu, draslíku, vápníku a hořčíku) v popelu,
- částečné odstranění těkavých a polo-těkavých těžkých kovů.

Složení popela z 24 mono-spaloven čistírenského kalu v Německu za rok 2011–2012 je uvedeno v Tabulce 6 a 7.

Obrázek 2. Přehled mono-spaloven ČK v Německu (Adam a Krüger, 2014)

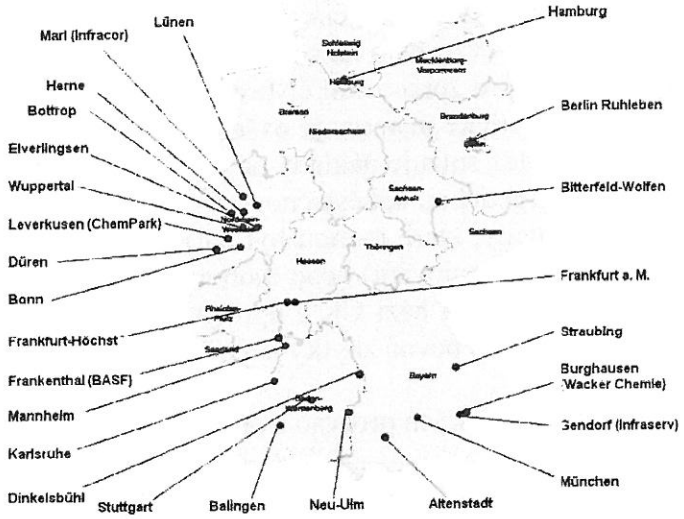


Figure 1. German mono-incineration facilities for sewage sludge.

Tabulka 6. Složení popela (popelotvorné prvky a S) z čistírenského kalu z 24 mono-spaloven ČK v Německu (Adam *et al.*, 2015)

Element	Min	Max	Mean value	Median	Number of samples
Al	0.7	20.2	5.2	4.8	252
Ca	6.1	37.8	13.8	10.5	252
Fe	1.8	20.3	9.9	9.5	252
K	<0.006	1.7	0.9	0.9	227
Mg	0.3	3.9	1.4	1.3	252
Na	0.2	2.6	0.7	0.6	252
P	1.5	13.1	7.3	7.9	252
S	0.3	6.9	1.5	1.0	252
Si	2.4	23.7	12.1	12.1	252
Ti	0.1	1.5	0.4	0.4	252

Využití popela z mono-spalování ČK pro výrobu P-produktů je podmíněno mono-spalováním čistírenského kalu. Popel z mono-spalování kalů je meziprodukt pro další využití. V popelu ze spalování kalu je fosfor v nerozpustné formě (zejména $Ca_3(PO_4)_2$, $Fe_3(PO_4)_2$ a $AlPO_4$). Další využití je zaměřeno na úpravu s cílem:

- separace těžkých kovů a fosforu,
- transfer fosforu v popelu do biologicky dostupné formy pro výrobu hnojiva nebo,
- úprava popelu na kvalitu vhodnou pro zpracovatelský průmysl.

Ve výzkumu jsou jak hydrometalurgické tak pyrometalurgické postupy. Více informací o recyklaci fosforu z popela po mono-spalování ČK lze získat zejména z publikace Egle *et al.* (2016) a v české literatuře Šyc *et al.* (2015). Problematikou spalování čistírenskou kalu se zabývá přehledný článek Werther a Ogada (1999) a v českém jazyce Pohořelý *et al.* (2015), kdy klíčovým polutantem s pohledu dodržení emisních limitů je NO_x.

Spalování kalu – závěr:

- Spalování kalu je technologicky zvládnuté.
- Popel lze dlouhodobě skladovat.
- Přímé využití popela jako hnojiva je nevhodné.
- Získávání fosforu z popela probíhá ve více krocích pomocí pyro- či hydrometalurgických postupů. Technologie jsou v současné době ve vývoji.

Tabulka 7. Složení popela (kovy) z čistírenského kalu z 24 mono-spaloven ČK v Německu (Adam *et al.*, 2015)

Element	Min	Max	Ø	Median	samples	Element	Min	Max	Ø	Median	samples
Sc	0.7	48.5	6.1	4.2	252	La	9.8	269	32.0	25.5	252
V	9.3	1206	136	54.0	252	Ce	15.7	169	49.2	42.8	252
Cr	58	1502	267	159.7	252	Pr	1.37	18.4	4.9	4.2	252
Mn	334	6488	1914	1307	252	Nd	4.71	60.9	17.2	15.6	252
Co	7.3	83.5	28.1	20.7	164	Sm	0.9	20.8	3.3	2.9	252
Ni	8.2	501	105.8	74.8	251	Eu	0.18	2.1	0.7	0.6	252
Cu	162	3467	916	785	252	Gd	0.8	59.1	4.6	2.8	252
Zn	552	5515	2535	2534	252	Tb	0.1	1.8	0.5	0.4	252
Ga	3.2	24.7	11.8	11.6	252	Dy	0.5	11.1	2.4	1.9	252
Ge	2.4	12.8	5.9	5.5	252	Ho	0.1	1.9	0.5	0.4	252
As	4.2	124.0	17.5	13.6	252	Er	0.3	6.1	1.3	1.0	252
Se	0.8	9.9	2.5	2.0	102	Tm	0.0	0.7	0.2	0.2	252
Sr	67	2340	578	493	252	Yb	0.3	5.7	1.3	1.0	252
Y	1.1	53.0	11.6	9.2	252	Lu	0.0	0.9	0.2	0.2	252
Zr	23.9	984	167	106	250	Hf	0.8	25.2	4.4	3.2	252
Nb	0.6	293	19.5	11.0	252	Ta	<0.15	98.7	4.3	1.2	252
Mo	7.5	112	25.3	20.0	252	W	<6.0	336	52.8	41.1	252
Ag	0.5	133.1	12.5	9.1	248	Au	<0.15	8.4	1.2	0.9	252
Cd	<0.1	80.3	3.3	2.7	252	Hg	0.1	3.6	0.6	0.5	143
Sn	7.3	8706	194	76.6	252	Pb	<3.5	1112	151	117	252
Sb	1.5	454	23.0	12.4	252	Th	1.0	19.3	5.2	4.9	252
Ba	128	13650	2173	1057	229	U	1.58	25.5	5.8	4.9	252

PYROLÝZA KALU

Pyrolýza je termický rozklad materiálu za nepřístupu médií obsahujících volný kyslík. Podstatou pyrolýzy je ohřev materiálu nad mez termické stability přítomných organických sloučenin, což vede k jejich štěpení. Produkty pyrolýzy kalu jsou: pyrolýzní plyn, kapalný (kondenzující) podíl a pevný zbytek (kalochar, biochar na bázi ČK). Vzájemný poměr produktů záleží na podmínkách pyrolýzního procesu (hlavně na teplotě a době zdržení). Kapalný podíl se skládá z organické fáze (minoritní část) a vodní fáze (majoritní část). Směs pyrolýzního plynu a kapalného podílu nad teplotou rosného bodu dehtů se nazývá **primární pyrolýzní plyn**. Kapalný podíl obsahuje jak výše-vroucí organické látky vzniklé procesem pyrolýzy, tak i výše-vroucí organické látky volatilizované (odtěkané, odpařené) z ČK. V případě výroby kalocharu lze proces nazvat **karbonizací**, neboť hlavním produktem je uhlíkatý materiál. Celkové tepelné zabarvení procesu je silně endotermní, což znamená, že je nutné do procesu dodat velké množství tepelné energie. Primární pyrolýzní plyn však má dostatek energie pro pokrytí energetických nároků na proces pyrolýzy (Pohořelý *et al.*, 2017).

Hlavní důvodem pyrolýzy ČK je výroba kalocharu pro jeho aplikaci do zemědělské půdy.

Hlavní důvodem aplikace kalocharu do zemědělské půdy je, že **zvyšuje úrodnost půdy.** Zvyšování úrodnosti půdy je způsobeno níže uvedenými procesy (Pohořelý *et al.*, 2017):

- Kalochar zvyšuje zadržování vody v půdě.
- Kalochar snižuje průnik biogenních prvků (N, P, K atd.) z hnojiv do podzemních vod v důsledku jejich retence a postupného uvolňování z kalocharu.
- Kalochar kypří (zlehčuje) půdu.
- Kalochar v prvních měsících po aplikaci (v prvním roce aplikace) částečně nahrazuje kombinovaná hnojiva z důvodu vysokého obsahu biogenních prvků (P, N, K).
- Kalochar v prvních měsících po aplikaci (v prvním roce aplikace) částečně nahrazuje vápenato-hořečnatá hnojiva z důvodu relativně vyššího obsahu Ca, čímž upravuje pH půdy.

Výhody kalocharu proti přímé aplikaci čistírenského kalu do půdy lze shrnout níže uvedenými body (Pohořelý *et al.*, 2017):

- Zadržování vody v půdě.
- Snižování průniku biogenních prvků (N, P, K atd.) z hnojiv do podzemních vod v důsledku jejich retence a postupného uvolňování z kalocharu. Proto kalochar zvyšuje stupeň využití hnojiv.
- Snižování vyluhovatelnosti těžkých kovů a arsenu.
- Snižování obsahu problematických organických látek.
- Kypření půdy.
- Sekvestrace C.
- Snížení emisí skleníkových plynů, zejména CH_4, CO_2 a N_2O.

Pyrolýza kalu – shrnutí

- Pyrolýza kalu je technologicky zvládnutá.
- Výroba kalocharu z čistírenského kalu pyrolýzou je vhodná pro čistírny s anaerobní stabilizací a s nízkým obsahem těžkých kovů z důvodu nutnosti dodržení mezních hodnot pro aplikaci kalocharu na zemědělskou půdu. Česká legislativa pro přímou aplikaci kalocharu vyrobeného z čistírenského kalu na zemědělskou půdu je připravována.

ZÁVĚR

Autoři doporučují řešit stávající legislativní požadavky na nakládání s čistírenskými kaly v ČR doplněním technologie ČOV s anaerobní stabilizací o vhodnou sušárnu kalu a tím zabezpečit nejen jejich hygienizaci, ale i skladovatelnost. Řešení významně usnadní případnou instalaci termického zpracování kalů, které je evropským trendem.

PODĚKOVÁNÍ

Práce vznikla díky finanční podpoře projektu TH03020119 Technologické agentury ČR, projektu QK1820175 Ministerstva zemědělství ČR, projektu AV21 – Účinná přeměna a skladování energie, a z účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum MŠMT 20-SVV/2018.

LITERATURA

Adam C., Krüger O. (2014) Complete Survey of German Sewage Sludge Ashes – Phosphorous Metal Recovery Potential. Symposium Proceedings 2nd *Symposium on Urban Mining*, Bergamo, Italy, 19-21 May.

Adam C., Krüger O., Herzel H (2015) Phosphorus Flows in German Sewage Sludge Ashes and Potential Recovery Technologies. International Workshop. *Mining the Technosphere*. 1.-2. October.

Bayerische Klärschlammnetz. Novelle Klärschlammverordnung 2017. Dostupné online: https://www.klaerschlamm.bayern.de/themen/novelle.jsp (zobrazeno 22. 5. 2018).

Egle L., Rechberger H., Krampe J., Zessner M. (2016) Phosphorus recovery from municipal wastewater: An integrated comparative technological, environmental and economic assessment of P recovery technologies. *Science of The Total Environment*, **571**, 522–542.

Český statistický úřad (ČSÚ): Katalog produktů – Vodovody, kanalizace a vodní toky 2010–2017, Dostupné online? https://www.czso.cz/csu/czso/vodovody-kanalizace-a-vodni-toky-2017 (zobrazeno 21. 5. 2018).

European Commission. Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land - Final Report - Part III: Project Interim Reports. Dostupné online: http://ec.europa.eu/environment/archives/waste/sludge/pdf/part_iii_report.pdf (zobrazeno 22. 5. 2018).

European Sustainable Phosphorus Platform. Austria opts for manadatory phosphorus recovery from sewage sludge. Dostupné online: https://phosphorusplatform.eu/scope-in-print/news/1396-austria-manadatory-p-recovery# (zobrazeno 22. 5. 2018).

Evropská komise. COM(2017) 490 final: SDĚLENÍ KOMISE EVROPSKÉMU PARLAMENTU, RADĚ, EVROPSKÉMU HOSPODÁŘSKÉMU A SOCIÁLNÍMU VÝBORU A VÝBORU REGIONŮ o seznamu kritických surovin pro EU z roku 2017.

Fahrni H.P. (2012) Sewage Sludge Disposal in Switzerland. *Waste Management*, **2**, 673–682.

The Federal Council (Switzerland). Ban on the use of sludge as a fertiliser. Dostupné online: https://www.admin.ch/gov/en/start/documentation/media-releases.msg-id-1673.html (zobrazeno 22. 5. 2018).

Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear. Safety (Germany). Case Study // SDG 6. Dostupné online: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/RCM_Website/SDG_6_Additional_Case_Study2.pdf (zobrazeno 22. 5. 2018).

The Federal Statistical Office (Germany). Environmental surveys; Water supply industry; Waste water disposal – sewage sludge. Dostupné online: https://www.destatis.de/EN/FactsFigures/NationalEconomyEnvironment/Environment/EnvironmentalSurveys/WaterSupplyIndustry/Tables/TableWastWaterDisposalSewageSludge.html (zobrazeno 21. 5. 2018).

InfoMine.com. InvestmentMine; Metal Prices; Phosphate Rock. Dostupné online: http://www.infomine.com/investment/metal-prices/phosphate-rock/all/ (zobrazeno 21. 5. 2018).

Pohořelý M., Durda T., Moško J., Zach B., Svoboda K., Šyc M., Kameníková P., Jeremiáš M., Brynda J., Krausová A., Hartman M., Punčochář M. (2015) Fluidní spalování suchého stabilizovaného čistírenského kalu z čistírny odpadních vod Brno - Modřice. *Paliva*, **7**, 2, 36–41.

Pohořelý M., Moško J., Zach B., Šyc M., Václavková Š., Jeremiáš M., Svoboda K., Skoblia S., Beňo Z., Brynda J., Trakal L., Straka P., Bičáková O., Innemanová P.

(2017) Materiálové a energetické využití suchého stabilizovaného čistírenského kalu – výroba biocharu středně-teplotní pomalou pyrolýzou. *Waste Forum*, (2), 83–89.

Šy M., Kameníková P., Kruml M., Sobek J., Pohořelý M., Svoboda K., Punčochář M. (2015) Možnosti recyklace fosforu z čistírenských kalů. Přehled příspěvků *10. ročníku česko-slovenského symposia Odpadové fórum 2015*, Hustopeče u Brna, 18-20 března. pp. 1-6.

Werther J.,Ogada T. (1999) Sewage sludge combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*, **25**, 1, 55–116.

ASOCIACE PRO VODU ČR

CzWA

The Czech Water Association

ODBORNÁ SKUPINA KALY A ODPADY

ASOCIÁCIA ČISTIARENSKÝCH EXPERTOV SR

ACE

Sborník přednášek a posterů z 28. konference

KALY A ODPADY 2018

20. – 21. června 2018

Brno – hotel Myslivna

Tribun EU
Brno 2018

Prohlášení

Za věcnou správnost, obsahovou, jazykovou a grafickou úroveň příspěvků v tomto sborníku zodpovídají autoři. Stanoviska a doporučení obsažená v příspěvcích jsou názory a doporučení jejich autorů a nemusí nezbytně vyjadřovat stanoviska CzWA.

© kolektiv autorů, 2018

Editor © Michal Dohányos, 2018

This Edition © Tribun EU, 2018

ISBN 978-80-263-1408-0