

SPALOVÁNÍ STABILIZOVANÉHO ČISTÍRENSKÉHO KALU

Michael Pohořelý^{1,2}, Jaroslav Moško^{1,2}, Matěj Hušek¹

¹Ústav energetiky, VŠCHT Praha, Technická 5, 166 28 Praha 6

²Ústav chemických procesů AV ČR, v. v. i., Rozvojová 135/1, 165 02 Praha 6

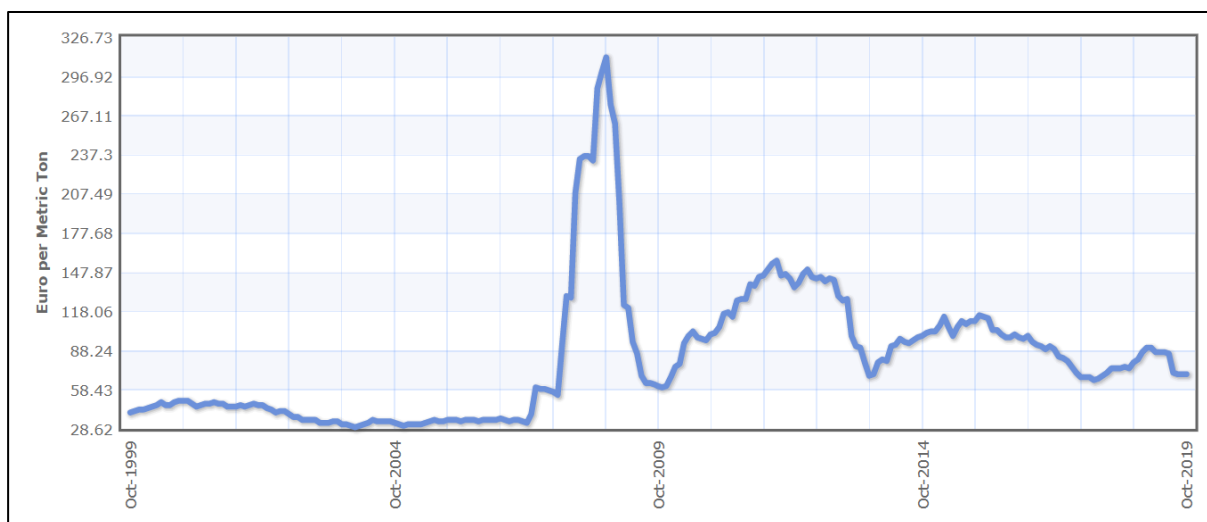
Důvody změn nakládání s čistírenskými kaly

V současné době probíhají v Evropské unii intenzivní diskuze k problematice nakládání s čistírenskými kaly (ČK) z čistíren odpadních vod.

Hlavními důvody změny způsobu nakládání s čistírenskými kaly jsou [1]:

- zákaz skládkování ČK,
- zabezpečení skutečné hygienizace (ČK) / komodit na bázi ČK,
- snížení obsahu organických mikropolutantů, zejména PPCP (Pharmaceuticals & Personal Care Products – farmaceutika, kosmetika, hormony apod.) a POP (persistentní organické polutanty), a snížení obsahu plastů (mikroplastů) v ČK / komoditách na bázi ČK,
- materiálové a energetické využití ČK.

V případě materiálového využití ČK lze předpokládat především důraz na recyklaci fosforu, jenž byl zařazen na seznam kritických surovin pro EU jako fosfátová hornina a fosfor [2], zejména z důvodů, že v EU nejsou žádná ložiska fosfátových hornin (kromě nevýznamných ložisek ve Finsku) a nutnosti dovozu produktů a meziproductů na bázi fosforu z krajín jako Maroko, Rusko, Sýrie, Alžírsko, Kazachstán, Čína a Vietnam. Současně se celosvětové zásoby diskutovaných komodit zmenšují, což spolu s lokalizací ložisek má vliv na cenu fosfátové rudy, jejíž vývoj může být nepředvídatelný a vyústit v extrémny, jako např. v roce 2008 (*Obr. 1*).



Obr. 1 Vývoj ceny fosfátové rudy v období 1999–2019 [3]

Spalování čistírenských kalů

Jako hlavní trend v nakládání s ČK pro „velké“ aglomerace se jeví jeho termochemické zpracování, především procesem spalování. Např. v Nizozemsku nebo Švýcarsku je to již dlouhodobě prakticky jediný způsob nakládání s ČK. Jasný příklon k termochemickému spalování ČK vykazuje taky Německo, kde byl mezi lety 2010 až 2018 (*Tabulka 1*) zaznamenán nárůst termochemického zpracování ČK z 53 na 74 % [4]. S ohledem na současnou legislativu nařizující zákaz použití kalů na zemědělskou půdu a povinnost recyklace fosforu z kalu nebo popelu po spálení lze očekávat, že toto statistické číslo bude nadále růst [5, 6]. Oproti uvedenému trendu se

v ČR v súčasnosti přes 90 % kalů využívá v zemědělství, k rekultivacím nebo je skládkováno (Tabulka 2) [7], což je dlouhodobě neudržitelné.

Tabulka 1 Celková produkce a způsob využití čistírenských kalů v Německu v letech 2010–2018 (hodnoty uvedené po zaokrouhlení po přepočtech z množství v tunách sušiny) [4]

Rok		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Celková produkce (tuny sušiny)		1 887 408	1 950 126	1 844 311	1 787 871	1 802 988	1 803 087	1 773 186	1 711 476	1 747 230
Způsob využití		%								
materiálové využití	v zemědělství	30	29	29	27	26	24	24	18	16
	rekultivace nebo kompostování	14	13	13	11	12	11	10	10	7
	jiné materiálové využití	3	3	3	3	2	2	2	2	2
	suma	47	45	45	42	40	36	35	30	25
termické zpracování	mono-spalování				13	24	24	26	28	28
	spolu-spalování				14	22	25	35	38	44
	blíže nespecifikováno	53	55	55	31	14	15	4	4	2
	suma				58	60	64	64	70	74
jiné využití		-	-	-	0,2	0,1	0,2	0,4	0,4	0,9
suma celkově		100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabulka 2 Celková produkce a způsob využití čistírenských kalů v Česku v letech 2010–2018 (hodnoty uvedené po zaokrouhlení po přepočtech z množství v tunách sušiny) [7]

Rok		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Celková produkce (tuny sušiny)		170 689	163 818	168 190	154 274	159 162	172 997	173 709	178 077	202 358
Způsob využití		%								
materiálové využití	v zemědělství	36	38	31	35	30	36	36	42	44
	kompostování	27	28	32	33	38	39	38	34	32
	skládkování	4	6	6	5	3	4	6	7	9
	suma	66	72	68	73	71	79	79	83	85
termické zpracování	blíže nespecifikováno	2	2	2	2	2	1	3	3	10
	jiné využití	32	26	30	25	27	20	18	14	6
suma celkově		100	100	100	100	100	100	100	100	100

Hlavními výhodami spalování ČK proti jinému způsobu využití/odstranění jsou zejména [1]:

- význačné snížení hmotnosti a objemu odpadu,
- úplná stabilizace a hygienizace kalu,
- destrukce prakticky veškerých organických látek a plastů,
- koncentrování fosforu v popelu,
- kombinovaná výroba užitečného tepla/elektrické energie a popela bohatého na fosfor,
- částečné odstranění tekavých a polo-tekavých těžkých kovů.

Spalování ČK je vhodné řešit mono-spalováním, aby nedošlo k naředění popela bohatého na fosfor nebo k jeho kontaminaci dalšími polutanty či ztrátě v jiných komoditách (např. v případě spolu-spalování v cementárenských pecích).

Převážná většina technologií k mono-spalování komunálních ČK v Evropě je na principu fluidního spalování, a jen několik mono-spaloven využívá roštového spalování či etážových pecí [8, 9]. Výhodou fluidního spalování proti ostatním zmíněným technologiím je, že technologie neobsahuje mechanicky pohyblivé části, lze operovat za nižších přebytků spalovacího vzduchu a je schopna rychlého najíždění a odstavení díky relativně krátkým dobám zahřívání a ochlazování, čímž je zajištěn přerušovaný provoz.

Legislativa s ohledem na spalování ČK = odpadů

S ohledem na hierarchii nakládání s odpady dle Rámcové směrnice o odpadech 2008/98/ES [10] je spalování „suchých“ ČK klasifikováno stupněm 4 – jiné využití (např. energetické). Tato směrnice obsahuje rovnici o

energetické účinnosti (U), jejíž hodnota určuje, zdali je spalování pevného komunálního odpadu považováno za energetické využití nebo odstranění:

$$U = \frac{E_p - (E_f + E_i)}{0,97 \times (E_w + E_f)}$$

kde:

- E_p je energie dodaná do sítě (2,6 x elektřina + 1,1 x teplo),
- E_f je energie z podpůrných paliv pro výrobu teplotnosného média,
- E_w je energie z čistírenského kalu,
- E_i je ostatní dodaná energie kromě E_w a E_f ,

a platí:

- pro $U > 0,65$ – energetické využití odpadu,
- pro $U < 0,65$ – odstranění odpadu spálením.

Dále se spalování odpadů řídí dle Směrnice 2000/76/ES o spalování odpadů [11], která stanovuje podmínky, které je nezbytné splnit pro spalování a spolu-spalování odpadů. Dalším právním předpisem je Směrnice 2010/75/EU o průmyslových emisích [12], která na základě referenčního dokumentu BREF [13] (BAT reference document, referenční dokumenty o nejlepších dostupných technikách) vycházejících z BAT (Best Available Techniques, nejlepší dostupné techniky), stanovuje spektrum sledovaných polutantů, úrovně emisí s nimi spojené a stanovuje lhůty pro implementaci emisních limitů do národních legislativ členských zemí EU. Nutno doplnit, že koncem roku 2019 bylo vydáno Prováděcí rozhodnutí komise (EU) 2019/2010 [14], kterým se stanovily závěry o nejlepších dostupných technikách pro spalování odpadu podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU a podmínky BAT z dokumentu BREF [13] byly přijaty.

Výše uvedené směrnice jsou převedeny do národní legislativy ČR – zákon 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší [15] a vyhlášky 415/2012 Sb. o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší [16].

Porovnání emisních limitů sledovaných polutantů dle BREF [13], Směrnice 2010/75/EU [12] a vyhlášky 415/2012 Sb. [16] je zobrazeno v *Tabulka 3* a *Tabulka 4*. Specifikované hodnoty denních emisních limitů pro zařízení k energetickému využití odpadu jsou vztaženy na normální podmínky (teplota 273,15 K, tlak 101,3 kPa) a přepočteny na suché spaliny při uvažovaném referenčním obsahu kyslíku 11 obj. %.

Tabulka 3 Emisní limity sledovaných polutantů I

	Denní emisní limit [mg.m ⁻³]							
	TZL	NO _x	SO ₂	TOC	HCl	HF	CO	NH ₃
BREF	nová zařízení	50–120	5–30	< 3–10	< 2–6	< 1	10–50	2–10
	stávající zařízení	< 2–5 ⁽¹⁾	50–150 ⁽²⁾	5–40	< 3–10	< 2–8	< 1	10–50
2010/75/EU	10 (150 ⁽⁴⁾)	200 ⁽⁵⁾ /400 ⁽⁶⁾	50	10	10	1	50 ⁽⁷⁾ /100 ⁽⁸⁾ /150 ⁽⁹⁾	–
415/2012 Sb.	10 (150 ⁽⁴⁾)	200/400 ⁽¹⁰⁾	50	10	10	1	50 ⁽⁷⁾ /100 ⁽⁸⁾ /150 ⁽⁹⁾	–

(1) U stávajících zařízení určených ke spalování nebezpečných odpadů, u kterých nelze použít látkový filtr, je horní hranice rozsahu 7 mg.Nm⁻³

(2) Horní hranice rozsahu je 180 mg.Nm⁻³ v případě, že nelze použít SCR

(3) U stávajících zařízení vybavených SNCR bez mokřých technik ke snižování emisí je horní hranice rozsahu 15 mg.Nm⁻³

(4) Celková koncentrace tuhých znečišťujících látek v emisích ze zařízení na spalování odpadu do ovzduší nesmí za

žádných okolností překročit hodnotu 150 mg.Nm⁻³ vyjádřenou jako půlhodinový průměr

(5) Oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý (NO₂) vyjádřené jako NO₂ pro stávající zařízení na spalování

odpadu o jmenovité kapacitě přesahující 6 t.h⁻¹ nebo pro nová zařízení na spalování odpadu

(6) Oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý (NO₂) vyjádřené jako NO₂ pro stávající zařízení na spalování odpadu o jmenovité kapacitě do 6 t.h⁻¹

(7) průměrná denní hodnota: 50

(8) průměrná půlhodinová hodnota: 100

(9) průměrná desetiminutová hodnota: 150

(10) Vztahuje se pouze na stacionární zdroje tepelně zpracovávající odpad o celkové jmenovité kapacitě nižší než 6 t.h⁻¹ povolené pro tepelné zpracování odpadu před 28. listopadem 2002 a uvedené do provozu nejpozději 28. prosince 2003 nebo pokud provozovatel podal úplnou žádost o povolení před 28. prosincem 2002 za podmínky že stacionární zdroj byl uveden do provozu nejpozději 28. prosince 2004. Na tyto stacionární zdroje se nevztahuje povinnost plnit půlhodinové průměry koncentrací NO_x

Tabuľka 4 Emisní limity sledovaných polutantů II

	Emisní limity								
	Cd+Tl	Sb+As+Pb+ Cr+Co+Cu+ Mn+Ni+V	PCDD/F	PCDD/F	PCDD/F + dioxin- like PCBs	PCDD/F + dioxin- like PCBs	Hg	Hg	
	mg.Nm ⁻³	mg.Nm ⁻³	ng I-TEQ.Nm ⁻³	ng I-TEQ.Nm ⁻³	ng WHO-TEQ.Nm ⁻³	ng WHO-TEQ.Nm ⁻³	mg.Nm ⁻³	mg.Nm ⁻³	
BREF	nová zařízení	0,005–0,02	0,01–0,3	< 0,01–0,04	< 0,01–0,06	< 0,01–0,06	< 0,01–0,08	< 0,005–0,02	< 0,005–0,02
	stávající zařízení			< 0,01–0,06	< 0,01–0,08	< 0,01–0,08	< 0,01–0,1	0,001–0,01	0,001–0,01
	měření	2x ročně	2 x ročně	2x ročně	dlouhodobé ⁽¹⁾	2x ročně	dlouhodobé ⁽¹⁾	denní	dlouhodobé ⁽¹⁾
	2010/75/EU	0,05	0,5	0,1	–	–	–	0,05	–
	měření	2x ročně	2 x ročně	2x ročně	–	–	–	2x ročně	–
	415/2012 Sb.	0,05	0,5	0,1	–	–	–	0,05	–
	měření	2x ročně	2 x ročně	2x ročně				2x ročně	

(1) dlouhodobý typ odběru: vzorkování 1x měsíčně do dlouhodobé statistiky

Nařízení (EU) 2019/1009 a STRUBIAS report

Evropský parlament a Rada Evropské unie přijaly nařízení (EU) 2019/1009 [17] jímž se stanoví pravidla pro dodávání hnojivých výrobků EU – hnojivých výrobků obchodovatelných v rámci celé EU označených CE (dále jen CE hnojiva). Toto nařízení ovšem nepovoluje použití čistírenských kalů jako složkového materiálu pro výrobu CE hnojiv. V návaznosti na nařízení byl vydán STRUBIAS report [18], který posuzuje vhodnost použití popelů, vysrážených fosforečných solí a biocharů ze sekundárních odpadních materiálů pro výrobu CE hnojiv, a současně navrhuje podmínky pro procesy spalování, srážení, pyrolýzu a zplyňování a nároky na kvalitu výstupních materiálů, které by mohly být zařazeny do kategorií složkových materiálů (KSM, příloha II nařízení (EU) 2019/1009) pro výrobu CE hnojiv. Na základě STRUBIAS reportu byl vydán návrh na doplnění příloh v nařízení (EU) 2019/1009 [19]. V rámci reportu je už uvažováno o použití popela z komunálního ČK jako složkového materiálu pro výrobu CE hnojiva. Kromě podmínek uvedených v rámci kategorie funkce výrobku (KFV) (Příloha I nařízení (EU) 2019/1009, KFV Jednosložkové tuhé anorganické hnojivo s makroživinami nebo KFV Vícesložkové tuhé anorganické hnojivo s makroživinami [17]) musí popel z ČK použitý pro výrobu CE hnojiva splňovat také následující podmínky:

- obsah celkového organického uhlíku je menší než 3 %,
- obsah PAH₁₆ v sušině nepřekračuje 6 mg.kg⁻¹,
- obsah PCDD/F v sušině nepřekračuje 20 ng WHO-TEQ.kg⁻¹,
- obsah Cl⁻ v sušině nepřekračuje 3 %, v případě, že chlor je původní součástí vstupního materiálu, tato podmínka neplatí,
- neobsahuje více než 400 mg.kg⁻¹ celkového chromu v sušině,
- neobsahují více než 2 mg.kg⁻¹ thalia v sušině.

Lze ovšem předpokládat, že popely z ČK, především z velkých aglomerací, nebudou schopné plnit požadované limity, a za účelem výroby CE hnojiv je bude nutné upravovat vhodnými procesy, jako např. EcoPhos, RecoPhos, AshDec. Proto lze popely z ČK považovat spíše za meziprodukt pro výrobu P-hnojiv nebo jako vstupní surovinu pro zpracovatelský průmysl.

Závěr

Fluidní spalování komunálních čistírenských kalů (ČK) je vhodné pro čistírny se spádovou oblastí nad 150 000 EO. Přímé využití popela, jako hnojiva, je nevhodné. Popel po mono-spalování ČK lze dlouhodobě skladovat. Získávání P-hnojiva, či předčištěné fosforečné suroviny pro zpracovatelský průmysl, je možné realizovat pomocí pyro- či hydrometalurgických postupů. Technologie jsou v současné době ve vývoji.

Poděkování

Práce vznikla díky finanční podpoře projektu TH03020119 Technologické agentury ČR, projektu AV21 – Účinná přeměna a skladování energie a z účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum MŠMT 21-SVV/2010-2020.

Použitá literatúra

1. Pohořelý M., Moško J, Šyc M., Václavková Š., Skoblia S., Beňo, Z., Svoboda, K.: Materiálové a energetické využití suchého stabilizovaného čistírenského kalu. In: Dohányos, M., ed. Sborník přednášek a posterů z 28. konference Kaly a odpady, pp. 29-38. Brno: Tribun EU, 2018, s. 29-38. ISBN 978-80-263-1408-0.
2. Evropská komise. Sdělení komise evropskému parlamentu, radě, evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a výboru regionů o seznamu kritických surovin pro EU z roku 2017. Dostupné na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:52017DC0490> (12. 02. 2020).
3. Indexamundi – commodity prices – rock phosphate. Dostupné na: <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=rock-phosphate&months=240¤cy=eur> (28. 11. 2019).
4. DESTATIS Statistisches Bundesamt. Water management - Disposal of sewage sludge by Land. Dostupné na: https://www.destatis.de/EN/Themes/Society-Environment/Environment/Water-Management/_node.html (29. 12. 2019).
5. Pohořelý M., Moško J.: Materiálové a energetické využití suchého stabilizovaného čistírenského kalu. Jihomoravské EKOLISTY, 2019 16(1), 16-20. ISSN 2533-6681.
6. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. Sewage Sludge Ordinance (AbfKlärV). Dostupné na: <https://www.bmu.de/en/law/sewage-sludge-ordinance/> (12. 02. 2020).
7. Český statistický úřad. Vodovody, kanalizace a vodní toky – 2010–2018. Dostupné na: <https://www.czso.cz/csu/czso/vodovody-kanalizace-a-vodni-toky-2018> (12. 02. 2020).
8. Vlastní statistika a údaje.
9. Roskosch A., Heidecke P. Sewage Sludge Disposal in the Federal Republic of Germany. 104 s. (2019). Dostupné na: <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/sewage-sludge-disposal-in-the-federal-republic-of> (13. 02. 2020).
10. Směrnice Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 98/2008 o odpadech a o zrušení některých směrnic. Dostupné na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0098> (24. 02. 2020).
11. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/76/ES o spalování odpadů. Dostupné na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A32000L0076> (24. 02. 2020).
12. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU o průmyslových emisích (integrováné prevenci a omezování znečištění). Dostupné na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32010L0075#> (24. 02. 2020).
13. Neuwahl F., Cusano G., Benavides J.G., Holbrook S., Roudier S.: Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration. EUR 29971 EN; doi:10.2760/761437.
14. Prováděcí rozhodnutí Komise (EU) 2019/2010, kterým se stanoví závěry o nejlepších dostupných technikách (BAT) pro spalování odpadu podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU. Dostupné na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019D2010> (24. 02. 2020).
15. Zákon o ochraně ovzduší. Dostupné na: <https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/> (24. 02. 2020).
16. Vyhláška o přípustné úrovni znečištění a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. Dostupné na: <https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/> (24. 02. 2020).
17. Nařízení Evropského parlamentu a Rada Evropské unie, kterým se stanoví pravidla pro dodávání hnojivých výrobků EU na trh a kterým se mění nařízení (ES) č. 1069/2009 a (ES) č. 1107/2009 a zrušuje nařízení (ES) č. 2003/2003. Dostupné na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1009> (24. 02. 2020).
18. Huygens D., Saveyn H.G.M., Tonini D., Eder P., Delgado Sancho L.: Technical proposals for selected new fertilising materials under the Fertilising Products Regulation (Regulation (EU) 2019/1009) - Process and quality criteria, and assessment of environmental and market impacts for precipitated phosphate salts & derivatives, thermal oxidation materials & derivatives and pyrolysis & gasification materials. EUR 29841 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-09888-1; doi:10.2760/186684, JRC117856.
19. Phosphorus platform. Proposed STRUBIAS annexes to the EU Fertilising Products Regulation, v. 7/11/2019. Dostupné na: <https://www.phosphorusplatform.eu/activities/regulatory-activities> (25. 02. 2020).